

Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Технология и оборудование химических, нефтегазовых и пищевых  
производств»

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСТВОРОВ ПОЛИМЕРОВ МЕТОДОМ СПЕКТРА МУТНОСТИ

Методические указания к лабораторным занятиям  
по дисциплине Б.1.3.5.2 «Структура и свойства полимеров»  
для студентов направлений

18.03.01 «Химическая технология»

очной, заочной формы обучения

Энгельс 2026

**УДК**  
**687.02 ББК**

**Определение структурных характеристик растворов полимеров методом спектра мутности: / Бычкова Е.В.** Методические указания к лабораторным занятиям - Энгельс: Изд-во ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., 2023. - 18 с.

**Рецензент:** доцент кафедры ТОХП кандидат технических наук Левкина Н.Л.

В методических указаниях представлена лабораторная работа по изучению свойств дисперсных систем методом светорассеяния, и в частности спектротурбидиметрия (измерение спектра мутности) дисперсных систем, который позволяет определить размеры и концентрации частиц дисперсной фазы в структурированном растворе полимеров.

**УДК**  
**687.02 ББК**

*Одобрено редакционно-издательским советом ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А.*

*Брошюра издается в авторской редакции*

*Цель работы:* определение размеров и концентрации частиц дисперсной фазы (надмолекулярных частиц) в структурированном растворе полимера.

## **1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ**

### **1.1. Оптические свойства дисперсных полимерных систем**

В физической химии высокомолекулярных соединений, в различных отраслях техники и на производстве важное место занимают дисперсные системы. К их числу относятся надмолекулярные и микрогелевые частицы в растворах и студнях полимеров, коллоидная система осажденной полимерной фазы при турбидиметрическом титровании полимерных растворов (метод турбидиметрии используется для анализа молекулярно-массового распределения полимеров), система мономерно-полимерных частиц при эмульсионной полимеризации, система полимерных частиц, образующихся при полимеризации нерастворимого в мономере полимера и т.д.

Эффективным средством изучения свойств дисперсных систем является метод светорассеяния и, в частности, спектротурбидиметрия (измерение спектра мутности) дисперсных систем. Большинство полимерных дисперсных систем относятся к типу *ill defined systems* («плохо определенных» систем) из-за того, что для них отсутствуют (или очень ограничены) предварительные сведения о структуре системы: диапазоне размеров частиц, их концентрации, показателях преломления частиц дисперсной фазы или дисперсионной среды, степени иммобилизации частицами молекул дисперсионной среды и т.п. Это связано со сложностью структуры таких систем, и, в частности, с возможностью сосуществования различных фаз полимера в растворе: молекулярно-дисперсной фазы и коллоидно-дисперсной фазы надмолекулярных частиц. Количественное соотношение фаз до опыта неизвестно).

Метод спектра мутности, разработанный В.И. Клениным с сотрудниками [1], позволяет характеризовать такие системы, дает возможность определять средние размеры, распределение по размерам частиц дисперсной фазы, определять показатель преломления, числовую и массовую концентрацию коллоидных частиц в структурно-сложных растворах полимеров, при различных воздействиях на систему (изменения температуры, природы растворителя, концентрации полимера в растворе и т.д.).

Метод успешно применяется в практике исследований структуры растворов волокнообразующих полимеров и эпоксидных смол.

## 1.2. Метод спектра мутности (МСМ)

Под методом спектра мутности обычно понимают ряд построений, использующих данные по зависимости мутности  $\tau$  системы от длины волны  $\lambda$  падающего света

$$\tau = f(\lambda), \quad (1)$$

которые позволяют получить информацию о рассеивающих частицах.

В МСМ структурно-сложный раствор полимера моделируется коллоидной системой, в которой за дисперсную фазу принимаются агрегаты макромолекул (надмолекулярные частицы), а за дисперсионную среду – истинный раствор макромолекул. Такая модель оправдана в тем большей степени, чем больше световой энергии рассеивается на низкомолекулярные частицы (НМЧ), по сравнению с рассеянием на флуктуациях концентрации единичных макромолекул в растворе.

Экспериментальным критерием преобладающей роли рассеяния от НМЧ может служить визуально наблюдаемая опалесценция раствора или сама возможность измерения оптической плотности полимерных растворов на спектрофотометрах или колориметрах типа спектрофотометр (СФ) и фотоэлектроколориметр (ФЭК).

### *Общие положения и определения проблемы рассеяния света коллоидными системами*

При прохождении светового пучка через кювету с коллоидным раствором дисперсных частиц (рис.1) убыль его интенсивности ( $-dl$ ) на пути  $dx$  пропорциональна интенсивности ( $I_x$ ) у границы интервала  $x$  и самому интервалу  $dx$ :

$$-dl \sim I_x \cdot dx \quad (2)$$

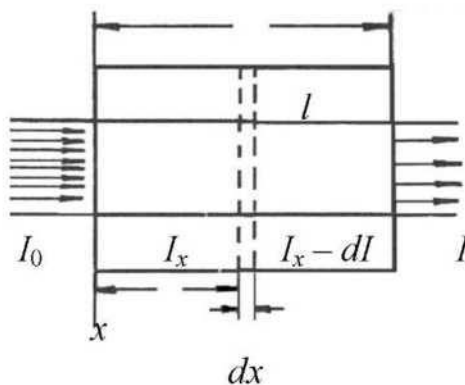


Рис. 1. Схема прохождения света через кювету с коллоидным раствором

При переходе к равенству вводится коэффициент пропорциональности  $\tau$ , называемый мутностью раствора.

$$dI = -\tau \cdot I_x \cdot dx. \quad (3)$$

Интегрирование уравнения (3) в пределах от 0 до  $l$  ( $l$  — длина кюветы) по  $x$  и от  $I_0$  до  $I$  (интенсивности падающего и прошедшего через кювету пучка света, соответственно) по  $I_x$ :

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I_x} = - \int_0^l \tau \cdot dx \quad (3')$$

приводит к уравнению Бугера:

$$I = I_0 \cdot e^{-\tau l}. \quad (4)$$

Физический смысл мутности понятен из уравнения (3): поскольку интенсивность пучка света определяет количество световой энергии, приходящейся на  $1 \text{ м}^2$  сечения пучка в 1 секунду (размерность  $I$  (Дж/м<sup>2</sup>·с), то  $\tau$  определяет долю световой энергии, рассеянной в окружающее пространство  $1 \text{ см}^3$  раствора

$$\tau = - \frac{\Delta I}{I \cdot 1 \text{ см}}. \quad (3'')$$

Из (3'') следует размерность мутности  $\tau, \text{см}^{-1}$ .

Если в  $1 \text{ см}^3$  находится  $N$ ,  $\text{см}^{-3}$  частиц, то доля световой энергии, рассеянной одной частицей, характеризуется величиной

$$R = \frac{\tau}{N}, \quad (5)$$

которая имеет размерность  $\text{см}^2$  площади и называется оптическим сечением частицы. Важной величиной, используемой в расчетах, является фактор эффективности или коэффициент рассеяния  $K$ , который определяется как отношение  $R$  к геометрическому сечению частицы  $Q = \pi r^2$  (для шарообразных частиц):

$$K = \frac{R}{\pi r^2}. \quad (6)$$

Коэффициент рассеяния показывает, насколько эффективно рассеивает данная частица падающую на нее энергию светового потока.

При подстановке выражений  $\tau$  через  $R$  и  $K$  в уравнение (4) получаем:

$$I = I_0 \cdot e^{-R N l}; \quad I = I_0 \cdot e^{-K \pi r^2 N l}. \quad (4')$$

Логарифмирование уравнения (4) приводит к следующему 7

$$\tau = \frac{2,3}{l} \lg \frac{I_0}{I}, \quad (7)$$

где 2,3 – переводной коэффициент от нормальных к десятичным логарифмам.

На спектрофотометрах и фотоэлектроколориметрах измеряется оптическая плотность  $D = \lg \frac{I_0}{I}$ , тогда

$$\tau = \frac{2,3 \cdot D}{l}. \quad (8)$$

**Зависимость мутности от длины волны.** Спектральная зависимость мутности  $\tau$  выражается в общем случае уравнением Ангстрема

$$\tau = A \cdot \lambda^{-n}. \quad (9)$$

Показатель степени длины волны или экспонента длины волны  $n$  является, в свою очередь, функцией относительного размера  $\alpha = \frac{2\pi r}{\lambda}$  (отношение периметра шарообразной частицы к длине световой волны в среде:  $\lambda = \frac{\lambda_{cp}}{\mu_0}$ ) и относительного показателя преломления частиц  $m = \frac{\mu}{\mu_0}$  ( $\mu$  и  $\mu_0$  – показатели преломления частиц и дисперсионной среды, соответственно,  $r$  – эквивалентный радиус частиц,  $\lambda_{cp}$  – среднегеометрическая длина волны использованного диапазона  $\lambda$ ).

Логарифмирование уравнения (9):

$$\lg \tau = \lg A - n \lg \lambda \quad (10)$$

позволяет получить выражение для показателя степени длины волны  $n$ , который определяется как производная

$$n = - \frac{\partial \lg \tau}{\partial \lg \lambda} \quad (11)$$

или как тангенс угла наклона прямоугольного участка построения  $\lg \tau - \lg \lambda$

$$n = - \frac{\Delta \lg \tau}{\Delta \lg \lambda}. \quad (12)$$

Подставляя в уравнение (10) выражение  $\tau$  из (8), получаем

$$\lg \frac{2,3}{l} + \lg D = \lg A - n \lg \lambda. \quad (13)$$

Обозначим  $\lg A' = \lg A - \lg \frac{2,3}{l}$  по аналогии с (10):

$$\lg D = \lg A' - n \lg \lambda. \quad (10')$$

Тогда экспонента выражается

$$n = -\frac{\Delta \lg D}{\Delta \lg \lambda}. \quad (14)$$

Таким образом, если спектр оптической плотности  $D = f(\lambda)$ , экспериментально определенный на спектрофотометре и фотоэлектроколориметре, построить в двойном логарифмическом масштабе, то  $n$  определяется как тангенс угла наклона прямолинейного участка построения  $\lg G - \lg \lambda$  по (14), (рис.2).

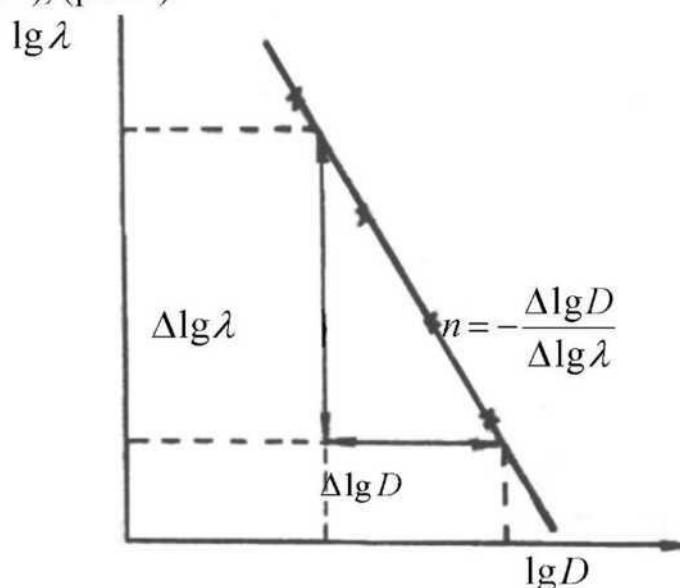


Рис. 2. Пример определения  $n$  по зависимости  $\lg G - \lg \lambda$

При определении размеров НМЧ по  $n$  не требуется знания концентрации рассеивающих свет частиц (она входит в величину  $\lg A'$ , не влияющую на наклон прямой). Кроме того, в диапазоне размеров  $r \leq 0,3$  мкм  $n$  не зависит от  $m$ , что также важно при характеристике НМЧ в полимерных системах.

**Определение размера НМЧ.** Для определения размера  $r$  используют теоретическую зависимость  $n$  от  $\alpha$  и  $m$  (рис.3). Зависимость дана в монографии В.И. Кленина, С.Ю. Щеголева, В.И. Лаврушина [1] для диапазона  $1,0 \leq m \leq 1,30$ .

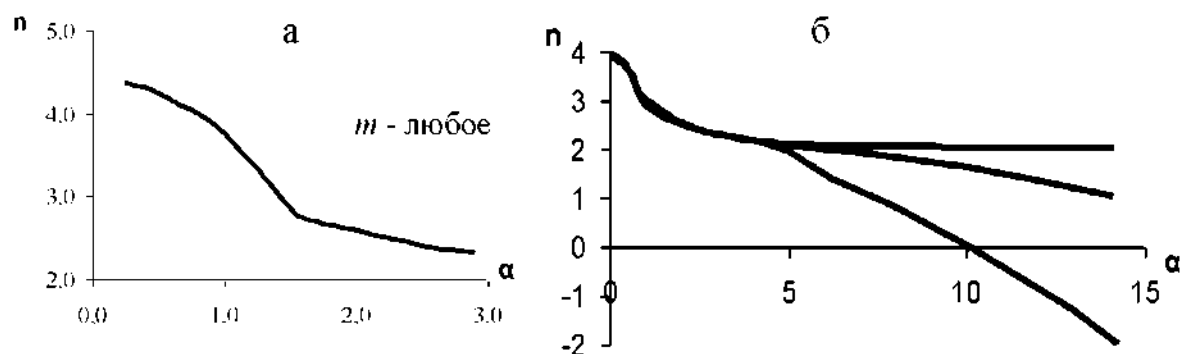


Рис. 3. Зависимость волновой экспоненты  $n(\alpha)$ :  
а –  $m = \text{любое}$ ; б –  $m = 1,05 / 0,05 / 1,20$

По экспериментально определяемому  $n$ , используя калибровки  $n(\alpha)$  при известном  $m$ , находят  $\alpha$  и рассчитывают радиус частиц по формуле:

$$\bar{r}_\lambda = \frac{\lambda_{cp} \cdot \alpha}{2\pi\mu_0} \quad (\text{мкм}), \quad (15)$$

где  $\bar{r}_{cp}$  – так называемый «лямбда-средний» радиус частиц, близкий к среднемассовому  $\bar{r}_w$ .

Размерность  $\lambda_{cp}$  в формуле (15) в мкм или нм.

**Определение числовой концентрации НМЧ.** Для определения числа рассеивающих частиц в единице объема используют следующее выражение для  $N$ :

$$N = \frac{12,6 \cdot \tau \cdot \mu_0^2}{\lambda_{cp}^2 \cdot K \cdot \alpha^2} \quad (\text{см}^{-3}) \quad (16)$$

Размерность в формуле (16) должна быть в см.

Зависимость  $K$  также приведена в монографии В.И. Кленына и др. [1], (рис.4). В формуле (16) значение  $\tau$  должно соответствовать мутности при выбранной длине волны  $\lambda_{cp}$ .

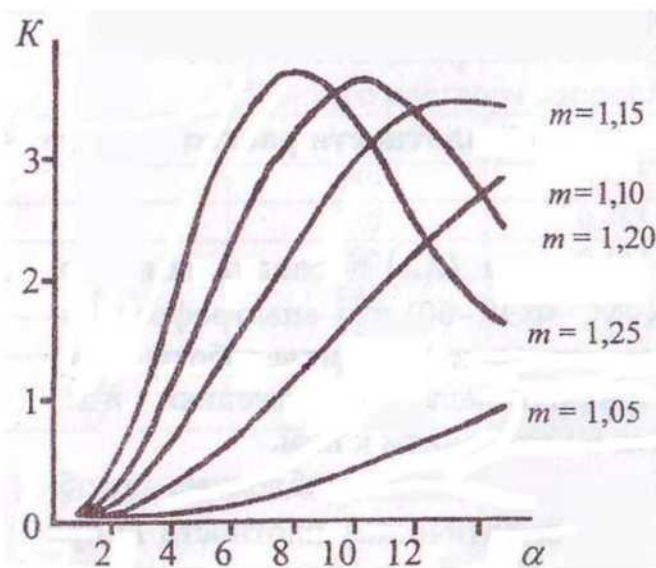


Рис. 4. Зависимость фактора эффективности рассеяния  $K$  от  $\alpha$  для дискретных значений  $m = 1,05 / 0,05 / 1,20$

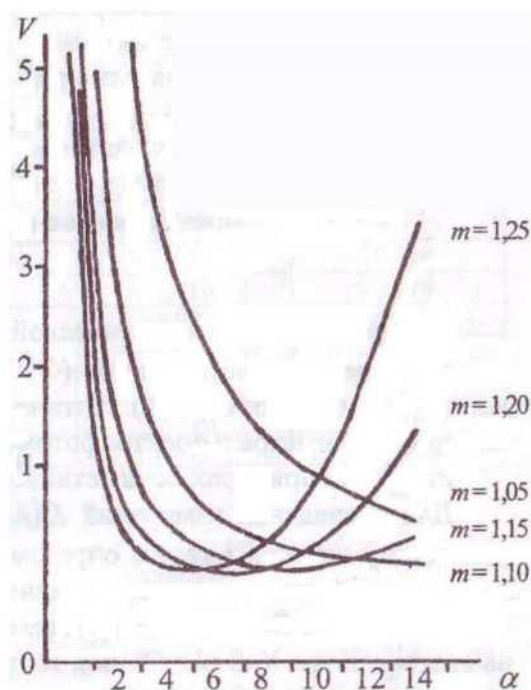


Рис. 5. Зависимость структурного фактора  $V$  от  $\alpha$  для дискретных значений  $m = 1,05 / 0,05 / 1,20$

**Определение массовой концентрации НМЧ.** Массовая концентрация частиц в (г/дл) может быть рассчитана по формуле:

$$\tilde{M} = SV\tau \quad (\text{г/дл}). \quad (17)$$

где  $S = \frac{d \cdot \lambda_{cp}}{2302,4 \cdot \mu_0 (m-1) \cdot \lambda_0}$  – функция физических констант системы;

$d$  – плотность полимера, г/см<sup>3</sup>;

$\tau$  – мутность, см<sup>-1</sup>; при  $\lambda_{cp}$ ;

$\lambda_0 = 409,4$  нм – длина волны зеленой линии ртути в воде при 25<sup>0</sup>С ;

$V$  – структурный фактор (рис.5). При расчете  $S$ ,  $\lambda_{cp}$  выражается в нм.

## 2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### 2.1. Получение концентрированного раствора полимера

Отмерить 100 мл растворителя (например, концентрированной муравьиной или серной кислоты). Взвесить 20 г полимера (например, поли-ε-

капроамида). Растворить полимер, перемешивая, при комнатной температуре. Определить показатель преломления дисперсионной среды  $\mu_0$ , измерив показатель преломления раствора на рефрактометре ИРФ-22.

## 2.2. Измерение спектров оптической плотности растворов

Измерение спектров оптической плотности  $D(\lambda)$  проводят на приборах: фотоэлектроколориметрах (ФЭК-М, ФЭК-60) или спектрофотометрах (СФ-4, СФ-16, СФ-26). Оптические схемы и принципы работы фотоэлектроколориметра и спектрофотометра приведены в приложениях 1 и 2.

Работа на приборах осуществляется по описаниям к ним.

Для проведения измерений  $D(\lambda)$  предварительно необходимо подобрать длину кюветы  $l$  таким образом, чтобы оптическая плотность  $D$  при минимальной длине волны (наименьший номер светофильтра) не превышала величины  $D = 1,5$ . Например, если измерения проводят на ФЭК-60, на светофильтре № 3 ( $\lambda = 50$  нм), то при  $l = 10$  мм значение  $D > 1,5$  следует считать непригодным для последующих измерений. Следует перелить раствор в кювету меньшей длины:  $l = 5$ ; 3 или 1 мм. Подобрав нужную длину кюветы, проводят измерения  $D$  при светофильтрах № 3–9 ( $\lambda = 450–980$  нм).

Измерения на ФЭК-60 проводят следующим образом. Проверить правильность установки фотоэлемента СЦВ 4. Включить прибор в сеть. Дать прогреться прибору 15–20 минут. Установить нуль прибора по гальванометру, предварительно закрыв диафрагму левого пучка вращением барабана к себе до упора. Установить в кюветодержатели кюветы с раствором и растворителем. Установить светофильтр № 3. Ввести в правый пучок света кювету с раствором. Стрелка гальванометра отклонится. Вращением левого барабана от себя установить шель, соответствующую нулевому показателю гальванометра. Вращением правого барабана ввести в пучок света кювету с растворителем. Стрелка гальванометра отклонится. Затем вращением отсчетного (центрального) барабана вывести стрелку гальванометра на нуль. Записать соответствующее значение  $D$ , считываясь с отсчетного барабана. Аналогично провести измерения  $D$  для светофильтров № 4 и № 5.

Для проведения дальнейших измерений нужно сменить фотоэлемент. Для этого необходимо выключить прибор из сети. Открыть крышку, отвернуть 3 винта и осуществить доступ к фотоэлементу. Снять металлический кожух (предохранитель) с фотоэлемента. Осторожно вынуть фотоэлемент СЦВ 4 и вставить фотоэлемент ЦВ 4 (положительным (+) электродом вверх). Одеть металлический предохранитель на фотоэлемент. За-

вернуть болтами крышку. Включить прибор в сеть. Дать прогреться 5–10 минут. Вновь установить ноль прибора и проводить измерения для светофильтров № 6 – 9 так же, как описано выше. Экспериментальные данные записывают в таблицу по приведенной форме.

Результаты измерения спектров оптической плотности  
15%-ного раствора капрона (из волокна) в HCOOH

| № светофильтра | $\lambda$ , нм | $D$   | $\lg \lambda$ | $\lg D$ |
|----------------|----------------|-------|---------------|---------|
| 3              | 450            | 0,611 | 2,653         | –0,214  |
| 4              | 520            | 0,485 | 2,716         | –0,314  |
| 5              | 590            | 0,432 | 2,771         | –0,364  |
| 6              | 670            | 0,430 | 2,826         | –0,366  |
| 7              | 750            | 0,410 | 2,875         | –0,387  |
| 8              | 870            | 0,382 | 2,940         | –0,418  |
| 9              | 980            | 0,380 | 2,991         | –0,420  |

Длина кюветы в данном опыте составляла 1 см.

### 2.3. Расчет размеров и концентрации НМЧ

На основе данных таблицы покажем пример расчета  $\bar{r}_\lambda$ ,  $N$  и  $\tilde{M}$ . На миллиметровой бумаге строят график зависимости  $\lg D - \lg \lambda$ . Практика показывает, что наиболее удобным масштабом для такого построения является для  $\lg D - 0,1$  ед. в 1 см, а для  $\lg \lambda - 0,2$  ед. в 5 см. При массовых измерениях спектров оптической плотности и большом числе соответствующих построений, целесообразно предварительно провести на миллиметровке тонкие линии, соответствующие значениям  $\lg \lambda$  и на них нанести точки, соответствующие значениям  $\lg D$ .

По наклону прямой  $\lg D - \lg \lambda$  находят экспоненту длины волны  $n = -\frac{\Delta \lg D}{\Delta \lg \lambda}$  (рис.2). Экспериментальное значение  $n - 0,32$  (по данным таблицы).

Для проведения дальнейших расчетов и применения нужных калибровок необходимо знание (или оценка) относительного показателя преломления. Показатель преломления ( $\mu = 1,53$ ) и плотность капрона

( $d = 1,13 \text{ г/см}^3$ ) известны из литературы (см., например: Энциклопедия полимеров - М.: Советская энциклопедия, 1977. В 3 т. Т.1. С.937). Измерение показателя преломления дисперсионной среды дает значение  $\mu_0 = 1,41$ . Тогда относительный показатель преломления:

$$m = \frac{\mu}{\mu_0} = \frac{1,53}{1,41} = 1,08.$$

Из графиков на стр. 6-7 для  $m = 1,08$  при  $n = 0,32$  находим:  $\alpha = 23,5$ ;  $K = 3,354$ ;  $V = 1,121$ .

$\tau$  для средней длины волны  $\lambda = 670 \text{ нм}$ :

$$\tau = \frac{2,3 \cdot D}{l} = \frac{2,3 \cdot 0,43}{1,0} = 0,99 \text{ (см}^{-1}\text{)}.$$

Полученные значения  $\alpha$ ,  $K$ ,  $V$ ,  $\tau$ ,  $\lambda_{cp}$  в  $\mu_0$  подставляем в формулы (15–17) расчета  $\bar{r}_\lambda$ ,  $N$ ,  $\tilde{M}$ :

$$\bar{r}_\lambda = \frac{\alpha \cdot \lambda_{cp}}{2\pi\mu_0} = \frac{23,5 \cdot 670}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,41} = 1780 \text{ (нм)} = 1,78 \text{ (мкм)}.$$

$$N = \frac{12,6 \cdot \tau \cdot \mu_0^2}{\lambda_{cp}^2 \cdot K \cdot \alpha^2} = \frac{12,6 \cdot 0,99 \cdot (1,41)^2}{(670 \cdot 10^{-7})^2 \cdot 3,354 \cdot (23,5)^2} = \frac{24,77}{83,15 \cdot 10^{-7}} = 3,0 \cdot 10^6 \text{ (см}^{-3}\text{)}.$$

$$\begin{aligned} \tilde{M} = S \cdot V \cdot \tau &= \frac{d \cdot \lambda_{cp}}{2302,4 \cdot \mu_0(m-1) \cdot \lambda_0} \cdot V \cdot \tau = \frac{1,13 \cdot 670}{2302,4 \cdot 1,41 \cdot 0,08 \cdot 409,4} \cdot 1,121 \cdot 0,99 = \\ &= 0,007 \cdot 1,121 \cdot 0,99 = 0,00776 = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ (г/дл)}. \end{aligned}$$

В заключение следует обратить внимание на возможность применения метода спектра мутности для исследования дисперсности гетерофазных эпоксидных композиций и процессов фазового разделения системы эпоксидный полимер – модификатор.

### 3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Письменный отчет о работе должен содержать описание методики проведения опытов, таблицу результатов измерений и значения всех характеристических функций светорассеяния и параметров ПМЧ в растворе.

2. Устный отчет проводится в объеме вопросов для самопроверки и списка цитируемой литературы.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. К разряду каких физических методов относится метод спектра мутности?
2. Для каких систем применяется метод спектра мутности?
3. Какая модель системы принята в методе?
4. Что такое мутность, оптическая плотность, и как они связаны между собой?
5. Каковы размерности мутности среднего радиуса и концентрации частиц?
6. Как определяется относительный показатель преломления?  
На каких приборах осуществляется определение спектров мутности?

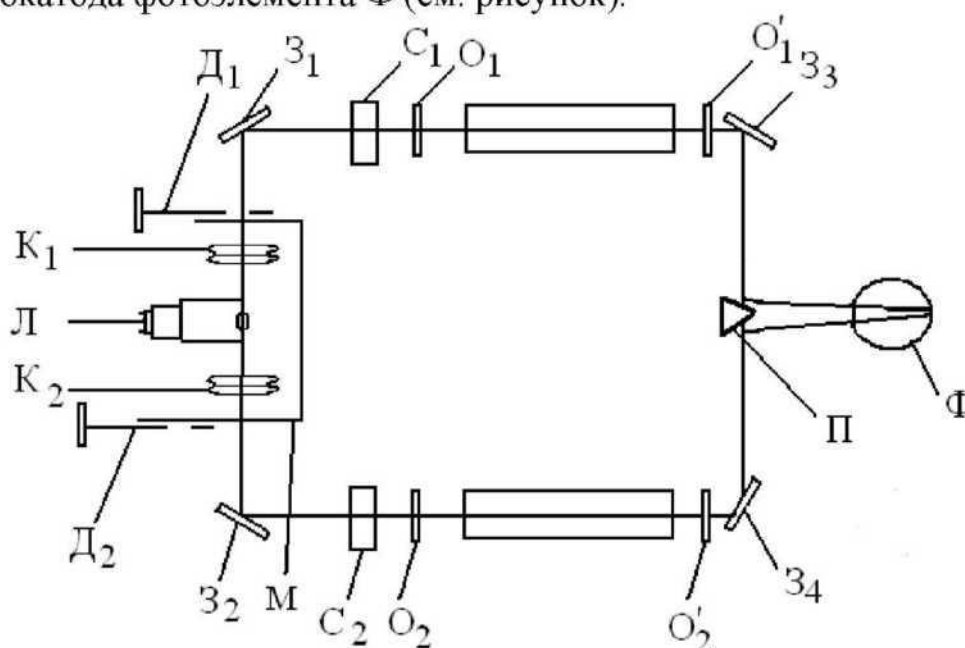
## ЛИТЕРАТУРА

1. Луков, В. В. Физические методы исследования в химии [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. В. Луков, И. Н. Щербаков. — Электрон. текстовые данные. — Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2016. — 216 с. — 978-5-9275-2023-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/78713.html>
2. Каныгина, О. Н. Физические методы исследования веществ [Электронный ресурс] : учебное пособие / О. Н. Каныгина, А. Г. Четверикова, В. Л. Бердинский. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. — 141 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/33663.html>
3. Ананьев, М. В. Теоретические и экспериментальные методы исследования в химии [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / М. В. Ананьев ; под ред. Ю. П. Зайков. — Электрон. текстовые данные. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 76 с. — 978-5-7996-1468-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/65989.html>
4. Латышенко, К. П. Методы исследований процессов и материалов [Электронный ресурс] : практикум / К. П. Латышенко. — 2-е изд. — Электрон. текстовые данные. — Саратов : Вузовское образование, 2019. — 197 с. — 978-5-4487-0400-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/79646.html>
- Аскадский, А. А. Структура и свойства полимерных строительных материалов : учебное пособие / А. А. Аскадский, М. Н. Попова. — Москва : Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2013. — 203 с. — ISBN 978-5-7264-0726-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/20038.html>

## ОПТИЧЕСКАЯ СХЕМА И ПРИНЦИП РАБОТЫ ФОТОЭЛЕКТРОКОЛОРИМЕТРА

### Оптическая схема

Нить лампы  $L$  с помощью двух конденсоров  $K_1$  и  $K_2$  и двух зеркал  $Z_1$  и  $Z_2$  изображается на линзах  $O_1$  и  $O_2$ . Эти изображения нити лампы проектируются линзами  $O_1$  и  $O_2$ , сводятся зеркалами  $Z_3$  и  $Z_4$  и призмой  $\Pi$  в плоскость фотокатода фотоэлемента  $\Phi$  (см. рисунок).



Оптическая схема фотоэлектроколориметра ФЭК-60

Модулятор  $M$ , помещенный за конденсаторами, модулирует световые потоки, правый и левый, в противофазе. Модулированные световые потоки, пройдя светофильтры и кюветы, попадают на фотокатод фотоэлемента и возбуждают переменный электрический ток, пропорциональный разности световых потоков левой и правой ветвей прибора.

В правый световой пучок включаются последовательно одна или другая кюветы (с раствором и с растворителем).

Для уменьшения чувствительности прибора в оба плеча включаются нейтральные светофильтры из прилагаемого комплекта. В этом случае светофильтр в оправе надевается на оправу линз  $O_1$  и  $O_2$ .

Щелевая диафрагма  $D_1$ , расположенная в правом пучке (измерительном), при вращении связанного с ней барабана изменяет свою площадь и тем самым изменяет интенсивность правого светового потока, падающего на фотоэлемент. Щелевая диафрагма  $D_2$ , расположенная в левом пучке, служит для ослабления интенсивности левого светового потока, падающего на тот же фотоэлемент.

### Принцип работы

Прибор ФЭК-60 относится к типу объективных приборов, в основу действия которых положен принцип уравнивания интенсивности двух световых модулированных потоков при помощи переменной щелевой диафрагмы. Правый световой пучок является измерительным, левый - компенсационным.

Коэффициент светопропускания среды ( $\tau$ ) определяется отношением величины светового потока излучения длиной волны  $\lambda$  ( $\Phi \times \lambda$ ), вышедшего из среды, к величине светового потока излучения той же длины волны  $\lambda$  ( $\Phi_0 \times \lambda$ ), вошедшего в среду:

$$\tau = \frac{\delta \times \lambda}{\delta_0 \times \lambda} \times 100\%.$$

В случае работы с растворами на всех фильтровых колориметрах-нефелометрах измеряется светопропускание исследуемого раствора по отношению к растворителю или контрольному раствору; при этом измерение светопропускания исследуемого раствора по отношению к растворителю называется абсолютным измерением, а измерение величины светопропускания исследуемого раствора по отношению к контрольному раствору – относительным измерением.

На приборе это отношение определяется следующим образом.

В правый световой пучок помещают кювету с исследуемым раствором. Правая измерительная диафрагма при этом полностью открыта (отсчет 100 по шкале светопропускания). Изменяя площадь левой щелевой диафрагмы, уравнивают интенсивности обоих световых потоков, при этом стрелка микроамперметра приводится в нулевое положение. Затем кювета с раствором в правом плече заменяется такой же кюветой с растворителем или контрольным раствором, но более прозрачным, чем измеряемый раствор. Вращая барабан измерительной диафрагмы, уменьшают интенсивность правого светового потока до первоначальной, то есть вновь подводят стрелку микроамперметра к нулевому положению. Получаемый отсчет по шкале измерительной диафрагмы будет соответствовать отношению величины светового потока, прошедшего через растворитель или контрольный раствор ( $\Phi_0 \times \lambda$ ), и дает значение светопропускания раствора по отношению к растворителю или контрольному раствору.

Использование прибора для нефелометрических определений основано на принципе измерения направленного светопропускания исследуемого раствора. Другими словами, определение светорассеяния осуществляется косвенно по светопропусканию мутного раствора по отношению к прозрачному растворителю или к воде.

Светорассеяние растворов со слабой мутностью, светопропускание которых незначительно отличается от светопропускания растворителя, на данном приборе определить нельзя.

## Приложение 2

### ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И СХЕМА СПЕКТРОФОТОМЕТРА

#### Принцип действия

Спектрофотометр СФ-26 служит для измерения коэффициента пропускания исследуемого образца  $T$ , равного отношению интенсивности потока излучения  $J$ , прошедшего через измеряемый образец, к интенсивности потока излучения  $J_0$  падающего на измеряемый образец (или прошедшего через контрольный образец, коэффициент пропускания которого принимается за единицу, например, воздух ) и выражается формулой:

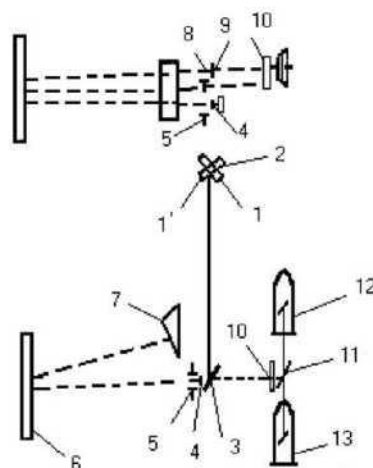
$$T = \frac{J}{J_0}.$$

Измерение производится по методу электрической автокомпенсации. В монохроматический поток излучения поочередно вводятся контрольный и измеряемый образцы. При введении контрольного образца стрелка измерительного прибора устанавливается на деление 100% регулировкой ширины щели, и величину установившегося при этом светового потока принимают за 100% пропускания. При введении в поток излучения измеряемого образца стрелка измерительного прибора отклоняется пропорционально изменению потока, величина коэффициента пропускания отсчитывается по шкале, отградуированной в процентах пропускания или единицах оптической плотности.

#### Оптическая схема

Оптическая схема монохроматора – автоколлимационная.

Излучение от источника 1 (см. рисунок) или  $I'$  попадает на зеркальный конденсор 2, который направляет его на плоское поворотное зеркало 3 и дает изображение источника излучения в плоскости линзы 4, расположенной вблизи входной щели 5. Прошедшее через входную щель излучение падает на зеркальный объектив 6 и, отразившись, параллельным пучком направляется на призму 7. Пройдя через призму под углом, близким к углу наименьшего отклонения, и отразившись от ее апомишированной грани, диспергированный пучок направляется обратно на объектив и фокусируется им на выходной щели 8, расположенной над входной щелью. При вращении призмы монохроматическое излучение различных длин волн проходит измеряемый образец, линзу 10 и с помощью поворотного зеркала 11 собирается на светочувствительном слое из фотоэлементов 12 или 13.



Оптическая схема спектрофотометра Сф-26

Объектив представляет собой сферическое зеркало с фокусным расстоянием 500 мм.

Диспергирующая призма имеет преломляющий угол  $30^\circ$ , основание 30мм и эффективный диаметр 44 мм. Призма, линзы и защитные пластинки изготовлены из кварцевого стекла с высоким коэффициентом пропускания в ультрафиолетовой области спектра.

Для обеспечения работы спектрофотометра в широком диапазоне спектра используются два фотоэлемента и два источника излучения сплошного спектра. Сурьмяно-цезиевый фотоэлемент с окном из кварцевого стекла применяется для измерения в области спектра от 186 до 650нм, кислородно-цезиевый фотоэлемент - для измерения в области спектра от 600 до 1100 нм. Длина волны, при которой следует переходить от измерения с одним фотоэлементом к измерениям с другим фотоэлементом, указывается в паспорте спектрофотометра.

Дейтериевая лампа предназначена для работы в области спектра от 186 до 350 нм, лампа накаливания для работы в области спектра от 340 до 1100 нм. Для проверки градуировки используется ртутно-гелиевая лампа.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
РАСТВОРОВ ПОЛИМЕРОВ  
МЕТОДОМ СПЕКТРА МУТНОСТИ**

Методические указания