

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Методические указания к выполнению лабораторных работ**

**По дисциплине:**

**Б1.В.03.06 «Физико-химические методы очистки жидких сред»**

**для направления подготовки : 04.04.01 Химия**

**направленность "Физическая и коллоидная химия»**

**Квалификация выпускника, уровень подготовки:**

**магистр**

**Кафедра-разработчик:**

**кафедра химии**

**Мурманск  
2019**

Составитель - Коновалова Ирина Никандровна, канд.техн.наук., профессор кафедры химии.

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании кафедры-разработчика

Химия

название кафедры

24.06.2019\_\_ протокол № 12\_\_.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

I. Организационно-методические указания	3
II. Перечень лабораторных работ	3
III. Список рекомендуемой литературы	4
IV. Методические указания к лабораторным работам	5

## I. ОРГАНИЗАЦИОННО - МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**Целью дисциплины** является формирование компетенций в соответствии с квалификационной характеристикой магистранта и учебным планом для направления подготовки 04.04.01 «Химия», направленность «Физическая и коллоидная химия»

**Задачи дисциплины:** структура и содержание дисциплины построены так, чтобы обучаемый, прошедший полный курс подготовки, в достаточной степени имел представление о коллоидно-химических закономерностях и методах очистки жидких сред от загрязнений различной природы, был способен использовать полученные знания в научной и практической деятельности.

**В результате изучения дисциплины обучающийся должен:**

**Знать** теоретические основы физико-химических методов очистки водных дисперсий от загрязнений различной природы для решения вопросов, связанных с практической деятельностью.

**Уметь** использовать основные приемы обработки экспериментальных данных; использовать коллоидно-химические закономерности и процессы для очистки жидких водных дисперсий; составлять общий план исследования, детальные планы отдельных стадий; выбирать экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи

**Владеть** современными физико-химическими методами очистки жидких сред от загрязнений различной природы; навыками планирования исследований и обработки экспериментальных данных.

**Содержание разделов дисциплины:** классификация методов очистки жидких сред. Адсорбционная очистка жидких сред. Ионный обмен. Ионообменная адсорбция. Коагуляция, как метод очистки жидких сред от коллоидных и взвешенных загрязнений. Флокуляция. Флотация. Удаление взвешенных веществ из водных дисперсий осаждением.

## II. ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

№ п/п	Темы лабораторных работ	Количество часов
1	Применение процесса адсорбции для очистки жидких сред. Адсорбция ПАВ на границе раздела жидкость- газ. Расчет величины предельной адсорбции и параметров адсорбционного слоя на границе раздела ж/г по изотерме поверхностного натяжения	4
2	Влияние природы адсорбента на степень извлечения веществ из водных дисперсий. Изучение кинетики адсорбции. Расчет адсорбции на границе раздела ж/г. Расчет удельной поверхности адсорбента.	8
3	Коагуляция, как метод очистки жидких сред от коллоидных и взвешенных загрязнений. Определение порога коагуляции электролитов.	4
4	Электрокоагуляция. Определение заряда частиц водных дисперсий методом электрофореза.	4
5	Флокуляция, как метод очистки водных дисперсий.	4
6	Удаление взвешенных веществ из водных дисперсий осаждением. Изучение седиментации и определение размера взвешенных частиц в водной дисперсии.	4
7	Учебно-исследовательская работа: применение физико-химических методов для очистки водных дисперсий, содержащих загрязнения различной природы.	8

### III СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

#### *Основная литература:*

1. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков : учеб. пособие для вузов / Д. А. Кривошеин [и др.]. - Москва : Высш. шк., 2003. - 344 с.
2. Яковлев, С. В. Водоотведение и очистка сточных вод : учебник для вузов / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов; под общ. ред. Ю. В. Воронова. - 2-е изд., доп. и перераб. - Москва : АСВ, 2002. - 704 с.
3. Лозановская, И. Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении : учеб. пособие для хим., химико-технол. и биол. специальностей вузов / И. Н. Лозановская, Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова. - Москва : Высш. шк., 1998. - 287 с.
4. Вурдова, Н. Г. Электролиз природных и сточных вод : учеб. пособие для вузов / Н. Г. Вурдова, В. Т. Фомичев. - Москва : АСВ, 2001. - 144 с.

#### *Дополнительная литература*

1. Фролов, Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы : учебник для вузов / Ю. Г. Фролов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Химия, 1989. - 464 с.
2. Стромберг, А. Г. Физическая химия : учебник для вузов / А. Г. Стромберг, Д. П. Семченко; под ред. А. Г. Стромберга. - 5-е изд., испр. - Москва : Высш. шк., 2003. - 527 с.
3. Практикум и задачник по коллоидной химии : поверхностные явления и дисперсные системы : учеб. пособие для вузов / [В. В. Назаров и др.]; под ред. В. В. Назарова, А. С. Гродского. - Москва : Академкнига, 2007. - 372 с.
4. Коновалова, И. Н. Практикум по коллоидной химии : учеб. пособие для студентов вузов / И. Н. Коновалова, Т. А. Дякина, К. В. Зотова; [под ред. И. Н. Коноваловой]; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации; Федер. агентство по рыболовству, Мурман. гос. техн. ун-т. - [2-е изд., перераб. и доп.]. - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2007. - 131 с.
5. Коновалова, И. Н. Практикум по физической и коллоидной химии (задачи и расчетно-графические задания по физической и коллоидной химии) : учеб. пособие для студентов вузов / И. Н. Коновалова, Г. И. Берестова; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации; Федер. агентство по рыболовству, Мурман. гос. техн. ун-т. - Мурманск : МГТУ, 2005. - 111 с. - Имеется электрон. аналог 2005 г.
6. Воронько, Н. Г. Сборник расчетно-графических заданий и задач по коллоидной химии / Н. Г. Воронько; Федер. агентство по рыболовству, ФГОУ ВПО "Мурман. гос. техн. ун-т". - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2009. - 142 с. : ил. - Имеется электрон. аналог 2009 г. - Библиогр.: с. 124-125.
7. Фролов, Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы : учебник для вузов / Ю. Г. Фролов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Химия, 1989. - 464 с.

### IV. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

#### РАБОТА В ЛАБОРАТОРИИ И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

##### Порядок работы в лаборатории

1. Предварительно прочитать соответствующие разделы учебника, лекции и ознакомиться с содержанием лабораторной работы.
2. При работе точно соблюдать порядок и последовательность операций, указанных в инструкции.
3. Сухие реактивы необходимо брать чистым шпателем или стеклянной ложечкой. При налипании растворов из склянок следует держать последние таким образом, чтобы этикетка была повернута вверх (во избежание ее загрязнения).

4. Если нет указаний о дозировке реактивов для данного опыта, то брать их надо в возможно меньшем количестве: сухие вещества – в количестве, закрывающем дно пробирки, а растворы – не более 1/6 объема пробирки.
5. Излишки реактивов запрещается высыпать (выливать) обратно в сосуды, из которых они были взяты.
6. Крышки и пробки от реактивных банок следует класть на стол поверхностью, которая не соприкасается с реактивом. После употребления реактива банку или склянку тотчас же закрыть пробкой и поставить на место.
7. Внимательно следить за ходом опыта, замечать все изменения и отмечать их в лабораторном отчете. После окончания работы привести в порядок рабочее место.

#### Меры предосторожности при работе в лаборатории

1. Запрещается проводить эксперименты без разрешения преподавателя.
2. При работе с открытым пламенем (спиртовка) или электроплиткой соблюдать осторожность.
3. Все опыты с ядовитыми, неприятно пахнущими веществами, а также упаривание кислот и кислых растворов производить только в вытяжном шкафу.
4. Опыты с легко воспламеняющимися веществами необходимо проводить вдали от огня.
5. При работе с металлическим натрием и другими щелочными металлами следует остерегаться воды.
6. При нагревании растворов в пробирке всегда следует держать ее таким образом, чтобы отверстие пробирки было направлено от работающего и его соседей по рабочему столу. Особенно важно соблюдать это в тех случаях, когда нагреваемой жидкостью являются концентрированные кислоты или растворы щелочей. Рекомендуется эти опыты проводить под тягой.
7. Не наклонять лицо над нагреваемой жидкостью или сплавляемыми веществами во избежание попадания брызг на лицо.
8. Не следует вдыхать пахучие вещества, в том числе и выделяющие газы, близко наклоняясь к сосуду с этими веществами. Следует легким движением руки направить струю воздуха от отверстия сосуда к себе и осторожно вдохнуть.
9. При разбавлении концентрированных кислот, особенно серной, вливать кислоту в воду (небольшими порциями), а не наоборот.
10. Следует помнить, что концентрированная азотная кислота при действии на некоторые органические вещества (скипидар, промасленная бумага, древесная стружка, ветошь и т.д.) вызывает их воспламенение.
11. При возникновении каких-либо неясностей следует работу прекратить и обратиться за разъяснением к преподавателю.
12. При работе с вредными, едкими или токсичными материалами пользуйтесь защитными перчатками.
13. Нагревайте, смешивайте, взбалтывайте, наливайте реактивы, направляя горло сосуда от себя.
14. Запрещается засасывать жидкость в пипетку ртом, для этого следует пользоваться резиновой грушей.
15. Соблюдайте осторожность при работе с сильными кислотами и щелочами, особенно при их нагревании. Не добавляйте воду к концентрированным кислотам и щелочам.
16. С веществами, выделяющими вредные пары, работайте только в вытяжном шкафу.
17. Отработанные реактивы выливайте только в специальные сосуды с надписью "Слив".

## Оказание первой помощи в лаборатории

1. При попадании на кожу концентрированных кислот (серной, азотной, уксусной и т.д.) следует немедленно промыть сильной струей воды обожженное место в течение 3 – 5 мин., после чего наложить повязку из ваты, смоченной спиртовым раствором танина или 3-% раствором перманганата калия. При сильных ожогах после оказания первой помощи немедленно обратиться к врачу.

2. При ожоге кожи растворами щелочей промывать обожженный участок кожи до тех пор, пока она не перестанет быть скользкой на ощупь, после чего наложить повязку из спиртового раствора танина или 3-% раствора перманганата калия.

3. При попадании брызг кислоты или щелочи в глаза немедленно промыть поврежденный глаз большим количеством воды комнатной температуры, после чего сейчас же обратиться к врачу.

4. При ожогах горячими предметами (стекло, металлы и т.д.) наложить сначала повязку из спиртового раствора танина или раствора перманганата калия, а затем жирную повязку (мазь от ожогов).

5. В случае загорания одежды гасить пламя следует обертыванием в одеяло, которое должно находиться в строго определенном месте.

## Лабораторная работа

**Применение процесса адсорбции для очистки жидких сред. Адсорбция ПАВ на границе раздела жидкость- газ. Расчет величины предельной адсорбции и параметров адсорбционного слоя на границе раздела ж/г по изотерме поверхностного натяжения**

**Цели работы** – определение поверхностного натяжения растворов ПАВ различной концентрации методом втягивания пластины; расчет адсорбции ПАВ.

**Оборудование, реактивы** – весы торсионные, колбы мерные, пипетки; растворы ПАВ различной концентрации (например, растворы олеата калия концентраций 0,0125 – 0,4 моль/дм<sup>3</sup>).

Водные растворы ПАВ готовят в мерных колбах последовательным разбавлением исходного раствора ПАВ известной концентрации (указанной преподавателем). Измерение поверхностного натяжения растворов следует производить последовательно, в порядке возрастания их концентраций, начиная с чистой воды.

### Порядок определения поверхностного натяжения на торсионных весах

Силу втягивания стеклянной пластины под действием поверхностного натяжения жидкости определяют с помощью торсионных весов со шкалой на 1 г .

Исследуемую жидкость (воду или раствор ПАВ) наливают в широкую стеклянную кювету 2 с низкими бортами, кювету устанавливают на столике 3, укрепленном на вертикальной кремальере 4. Горизонтальную стеклянную пластину 1, снабженную крючком для крепления к коромыслу весов, подвешивают к коромыслу и уравнивают поворотом рычага весов 6. Таким образом определяют  $F^0$  – начальное показание шкалы весов. Затем столик 3 с кюветой 2 поднимают до соприкосновения поверхности жидкости с пластиной 1. Под действием сил поверхностного натяжения пластина втягивается в жидкость. Далее рычаг весов 6 медленно поворачивают до тех пор, пока пластина не оторвется от поверхности жидкости, и определяют  $F'$ . Силу  $F$ , под действием которой пластина втягивается в жидкость, вычисляют как разность между значениями  $F'$  и  $F^0$ . Полученное значение  $F$  в мг переводят в ньютоны. Поверхностное натяжение (Н/м) рассчитывают по формуле

$$\sigma = \frac{F + \rho \cdot h \cdot l \cdot d \cdot g}{\Pi},$$

где  $F$  – сила втягивания пластины, измеренная на торсионных весах, Н;  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $h$ ,  $l$ ,  $d$  – высота, длина, толщина погруженной в жидкость пластины, м;  $g$  – ускорение

свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $\Pi = 2(l + d)$  – периметр смачивания, м.

Если не требуется большая точность определения  $\sigma$ , поверхностное натяжение определяют относительным методом, для чего первоначально измеряют силу отрыва пластины  $f_0$  от поверхности стандартной жидкости с известным значением поверхностного натяжения, при этом глубину погружения пластины регулируют с помощью столика 3 (рис. 1.4) – глубина погружения должна быть постоянной, например, равна 1/2 высоты пластины. В качестве стандартной жидкости обычно используют воду.

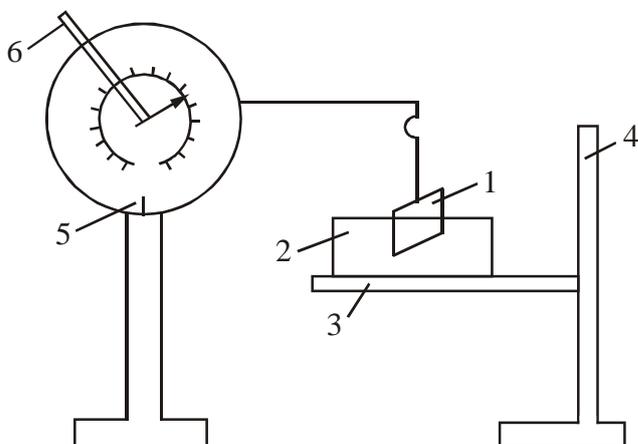


Схема установки для определения поверхностного натяжения методом втягивания пластины: 1 – стеклянная пластина; 2 – кювета с исследуемой жидкостью; 3 – столик; 4 – кремальера; 5 – указатель равновесия; 6 – рычаг весов

Поверхностное натяжение исследуемой жидкости рассчитывают по формуле:

$$\sigma = \sigma_0 \frac{f}{f_0},$$

где  $\sigma_0$  – поверхностное натяжение стандартной жидкости при температуре опыта (берется из справочных данных).

Силу отрыва пластины измеряют 5–6 раз. Для получения достоверных результатов поверхность пластины должна хорошо смачиваться жидкостью. Для каждого раствора ПАВ поверхностное натяжение определяют через 15 мин после помещения жидкости в кювету (таким образом определяют равновесное поверхностное натяжение). Интервалы между параллельными измерениями составляют 3–5 мин. Результаты измерений и расчеты заносят в таблицу.

На основе полученных экспериментальных данных строят график зависимости поверхностного натяжения от концентрации (изотерму поверхностного натяжения):  $\sigma - C$ . Графически определяют  $(d\sigma/dC)$  при  $C \rightarrow 0$  (поверхностную активность).

Таблица

Определение поверхностного натяжения растворов ПАВ различной концентрации

Раствор ПАВ

Номер опыта	Концентрация раствора ПАВ $C$ , моль/ $\text{м}^3$	Сила отрыва пластины, измеренная на торсионных весах $F$ , Н	Среднее значение $F$ , Н	Поверхностное натяжение $\sigma$ , Дж/ $\text{м}^2$

Адсорбцию исследуемого ПАВ на границе раздела раствор – воздух при низких концентрациях рассчитывают по уравнению графическим или аналитическим способом.

Величину предельной адсорбции ( $\Gamma_\infty$ ) рассчитывают по уравнению Ленгмюра. Для

этого полученные данные по адсорбции при низких концентрациях представляют в виде зависимости  $\left(\frac{1}{G} - \frac{1}{C}\right)$ . Эта зависимость представляет собой прямую, отсекающую на оси ординат отрезок, равный  $1/G_{\infty}$ .

Далее строят график зависимости  $G - C$ . Величине  $G_{\infty}$  соответствуют концентрации ПАВ, при которых поверхностное натяжение достигает постоянных минимальных значений

Рассчитывают толщину адсорбционного слоя (длину одной молекулы) и площадь поперечного сечения полярной группы одной молекулы исследуемого ПАВ, Полученные данные заносят в таблицу:

Таблица

Экспериментальные и расчетные данные для определения адсорбции ПАВ на границе раздела раствор ПАВ – воздух

ПАВ \_\_\_\_\_

Температура, при которой проводились измерения \_\_\_\_\_ К

№ п/п	Концентрация раствора ПАВ, соответствующая точке, в которой проведена касательная, моль/м <sup>3</sup>	Адсорбция $G$ , моль/м <sup>3</sup>	Максимальная адсорбция $G$ , моль/м <sup>3</sup>	Толщина адсорбционного слоя $\delta$ , м	Площадь поперечного сечения полярной группы одной молекулы $S$ , м <sup>2</sup>

### Лабораторная работа

#### Влияние природы адсорбента на степень извлечения веществ из водных дисперсий.

#### Изучение кинетики адсорбции. Расчет адсорбции на границе раздела ж/т. Расчет удельной поверхности адсорбента

**Цели работы** – изучение кинетики адсорбции уксусной кислоты и определение величины адсорбции уксусной кислоты на различных адсорбентах; расчет констант в уравнении Фрейндлиха. Сделать вывод о влиянии природы адсорбента на степень извлечения органических веществ из водных дисперсий.

**Оборудование, реактивы** – адсорбенты: активированный уголь, древесный уголь, древесные опилки, каменный уголь (по указанию преподавателя); 0,4 н. раствор уксусной кислоты; фенолфталеин; весы; колбы плоскодонные емкостью 100 см<sup>3</sup>; колбы мерные емкостью 100 см<sup>3</sup>, пипетки Мора; воронки для фильтрования; бумага фильтровальная; гидроксид натрия (0,1 н.); цилиндр мерный емкостью 50 см<sup>3</sup>; фарфоровая ступка с пестиком; штатив с бюреткой для титрования; стакан для навески; пробки.

Адсорбцию уксусной кислоты на адсорбенте, например, активированном угле, определяют по разности ее концентраций до и после адсорбции. Для этого из исходного 0,4 н. раствора уксусной кислоты в мерных колбах емкостью 100 см<sup>3</sup> готовят растворы с концентрацией 0,2; 0,1; 0,05; 0,025; 0,0125 н. Методом титрования определяют точную концентрацию этих растворов, включая исходный. Титруют щелочью, точная концентрация которой известна, в присутствии фенолфталеина.

Шесть навесок активированного угля по 1,5 г взвешивают на теххимических весах, каждую навеску растирают пестиком в фарфоровой ступке и помещают в шесть сухих плоскодонных колб. В колбы с углем приливают по 50 см<sup>3</sup> ранее приготовленных растворов

кислоты. Колбы закрывают пробками и оставляют на 30 мин, периодически помешивая.

Для определения концентрации растворов до адсорбции мерными пипетками Мора берут по 5 см<sup>3</sup> 0,4 н. и 0,2 н. растворов кислоты, 10 см<sup>3</sup> 0,1 н. раствора и по 20 см<sup>3</sup> остальных растворов кислоты. После адсорбции для титрования берут 5 см<sup>3</sup> 0,4 н., 10 см<sup>3</sup> 0,2 н. и по 20 см<sup>3</sup> остальных растворов. В том и другом случаях титрование начинают с самого разбавленного раствора, затем переходят к более концентрированным.

Равновесную концентрацию растворов кислоты после адсорбции также определяют титрованием щелочью в присутствии фенолфталеина. Для этого каждый раствор кислоты отфильтровывают от угля на воронках со складчатыми фильтрами в чистые колбы или стаканы. При этом первыми 3-5 см<sup>3</sup> фильтрата ополаскивают колбочки, фильтрат отбрасывают.

*Изучение кинетики адсорбции уксусной кислоты на различных адсорбентах.*

Для одного из приготовленных растворов кислоты изучают кинетику адсорбции уксусной кислоты на различных адсорбентах. Для этого измеряют равновесную концентрацию кислоты через 30, 60, 90 и 120 мин после приливания раствора к адсорбенту. Таким образом определяют время достижения адсорбционного равновесия.

Результаты измерений заносят в таблицу.

Таблица

Данные для определения исходной и равновесной концентрации уксусной кислоты

Концентрация раствора кислоты  $C_1=0,4$  моль/дм<sup>3</sup>

Адсорбент \_\_\_\_\_

Концентрация раствора щелочи \_\_\_\_\_

Номер колбы	Время контакта кислоты адсорбентом, мин	Объем кислоты, взятый на анализ, см <sup>3</sup> (аликвота)	Объем щелочи, пошедший на титрование, см <sup>3</sup>	концентрация кислоты после адсорбции $C_2$ , моль/дм <sup>3</sup>
1	30	5		
2	60	5		
3	90	5		
4	120	5		

Адсорбцию уксусной кислоты рассчитывают по формуле

$$\frac{x}{m} = \frac{C_1 - C_2}{m} \cdot v \cdot 1000,$$

где  $C_1$  – концентрация кислоты до адсорбции, моль/дм<sup>3</sup>;  $C_2$  – концентрация кислоты после адсорбции (равновесная концентрация), моль/дм<sup>3</sup>;  $v$  – объем раствора кислоты, взятый для адсорбции, дм<sup>3</sup>; 1000 – коэффициент, позволяющий получить величину адсорбции в ммоль/г;  $m$  – масса адсорбента, г.

По полученным результатам строят график зависимости адсорбция-концентрация и определяют время, необходимое для достижения адсорбционного равновесия.

*Определение величины адсорбции уксусной кислоты на различных адсорбентах*

После установления времени адсорбционного равновесия определяют величину адсорбции уксусной кислоты на различных адсорбентах.

Экспериментальные данные заносят в таблицу:

Адсорбент \_\_\_\_\_

Время, необходимое для установления адсорбционного равновесия \_\_\_\_\_

Концентрация щелочи \_\_\_\_\_, моль/дм<sup>3</sup>

Номер колбы	Примерная исходная концентрация приготовленных растворов $C_1$ , моль/м <sup>3</sup>	До адсорбции			После адсорбции		
		Объем кислоты, взятый на анализ, см <sup>3</sup>	Объем щелочи, пошедшей на титрование, см <sup>3</sup>	Концентрация кислоты до адсорбции $C_1$ , моль/дм <sup>3</sup>	Объем кислоты, взятый на анализ, см <sup>3</sup>	Объем щелочи, пошедшей на титрование, см <sup>3</sup>	Концентрация кислоты после адсорбции $C_2$ , моль/дм <sup>3</sup>
1	0,4	5			5		
2	0,2	5			10		
3	0,1	10			20		
4	0,05	20			20		
5	0,025	20			20		
6	0,0125	20			20		

Адсорбцию уксусной кислоты рассчитывают по формуле

$$\frac{x}{m} = \frac{C_1 - C_2}{m} \cdot v \cdot 1000,$$

где  $C_1$  – концентрация кислоты до адсорбции, моль/дм<sup>3</sup>;  $C_2$  – концентрация кислоты после адсорбции (равновесная концентрация), моль/дм<sup>3</sup>;  $v$  – объем раствора кислоты, взятый для адсорбции, дм<sup>3</sup>; 1000 – коэффициент, позволяющий получить величину адсорбции в ммоль/г;  $m$  – масса адсорбента, г.

По полученным данным строят изотерму адсорбции – зависимость  $(x/m) - C$ , а также зависимость величины адсорбции от равновесной концентрации в логарифмических координатах  $\lg(x/m) - \lg C$ . По изотерме адсорбции определяют величину предельной адсорбции, рассчитывают удельную поверхность адсорбента

Определяют константы  $K$  и  $n$  в эмпирическом уравнении Фрейндлиха. Делают вывод о влиянии природы адсорбента на процесс адсорбции. Результаты расчетов заносят в таблицу.

Таблица

Данные для определения констант в уравнении Фрейндлиха  
Адсорбент \_\_\_\_\_

№ п/п	Равновесная концентрация кислоты $C_2$ , моль/дм <sup>3</sup>	Адсорбция кислоты $x/m$ , ммоль/г	$\lg C$	$\lg x/m$	Значения $K$ и $n$ , определенные графически

## Лабораторная работа

**Коагуляция, как метод очистки жидких сред от коллоидных и взвешенных загрязнений.**

### Определение порога коагуляции электролитов

**Цели работы** – определить порог коагуляции электролитами водной дисперсии гидроксида железа (III) и гексацианоферрата (II) железа (III) визуальным и турбидиметрическим методом; проверить правило Шульце–Гарди; изучить процесс взаимной коагуляции дисперсий с противоположно заряженными частицами; изучить коагуляцию электролитами сточной воды.

**Оборудование, реактивы** – спектрофотометр; колбы плоскодонные; бюретки; пробирки; стаканы; золь гидроксида железа (III); золь гексацианоферрата (II) железа (III); сточная вода; набор электролитов различной концентрации (KCl, NaCl – 2 М; K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 0,05

M;  $K_3[Fe(CN)_6]$  – 0,005 M;  $CaCl_2$ ,  $MgCl_2$  – 0,02 M;  $AlCl_3$  – 0,002 M; NaCl,  $CaCl_2$  – 10 %-е); вода морская.

*Опыт 1. Определение порога электролитной коагуляции золя гидроксида железа (III)*

Частицы золя гидроксида железа (III) заряжены положительно. Этот золь получают методом гидролиза хлорида железа (III), при этом роль стабилизатора выполняют молекулы  $FeCl_3$ . В связи с этим для определения порога коагуляции  $C_k$  и проверки правила Шульце–Гарди используют три электролита, содержащих одно-, двух- и трехвалентные анионы-коагуляторы (в данном опыте  $KCl$ ,  $K_2SO_4$ ,  $K_3[Fe(CN)_6]$ ).

Для определения порогов коагуляции электролитов в три плоскодонные колбы наливают по 25 см<sup>3</sup> золя. Содержимое первой колбы титруют раствором хлорида калия, второй – раствором сульфата калия, третьей – раствором гексацианоферрата (III) калия до появления первых признаков коагуляции. Для определения  $C_k$  каждого электролита проводят по три параллельных опыта (каждый раз с новой порцией золя). Для расчета берут среднее значение результатов трех опытов. Полученные данные заносят в таблицу:

Таблица

Экспериментальные данные определения порогов коагуляции золя гидроксида железа (III)

Электролит	Коагулирующий ион	Концентрация электролита, моль/дм <sup>3</sup>	Объем раствора электролита, пошедший на коагуляцию, дм <sup>3</sup>	Порог коагуляции, моль/дм <sup>3</sup>
KCl	Cl <sup>-</sup>	2,0		
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,05		
K <sub>3</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	[Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup>	0,005		

Рассчитывают порог коагуляции. По полученным данным находят отношение порогов коагуляции для исследованных электролитов. Для этого найденные значения порогов коагуляции делят на наименьшее значение  $C_k$ . Полученные результаты сравнивают с теоретическими.

*Опыт 2. Определение порога электролитной коагуляции золя гексацианоферрата (II) железа (III)  $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ , полученного методом пептизации*

2.1. Частицы золя берлинской лазури несут отрицательный заряд, поэтому для определения  $C_k$  и проверки правила значности берут электролиты, содержащие одно-, двух- и трехвалентные катионы-коагуляторы:  $KCl$ ,  $MgCl_2$ ,  $AlCl_3$ .

Опыты по коагуляции проводят в пробирках. Готовят три серии пробирок по четыре штуки в каждой. Первая серия пробирок используется для определения порога коагуляции  $KCl$ , вторая – для  $MgCl_2$ , третья – для  $AlCl_3$ . В каждую пробирку наливают по 5 см<sup>3</sup> золя берлинской лазури. Воду и электролит добавляют в пробирки из бюреток в соотношениях, указанных в таблице. Содержимое пробирок тщательно перемешивают. Перемешивание проводят с одинаковой интенсивностью, так как от скорости перемешивания зависит интенсивность процесса коагуляции.

Через 30 мин после введения электролита в золь отмечают, в каких пробирках наблюдается видимый эффект коагуляции. Если ни в одной из пробирок коагуляции не происходит, то опыт повторяют с более концентрированным раствором электролита.

Рассчитывают порог коагуляции  $C_k$  для каждого электролита. Для расчета  $C_k$  берут минимальный объем электролита, при введении которого в золь наблюдается коагуляция. Проверяют выполнимость правила Шульце–Гарди.

2.2. Для коагуляции золя берлинской лазури используют электролиты NaCl,  $CaCl_2$ , морскую воду.

Опыты по коагуляции проводят в пробирках. Воду и соответствующие электролиты добавляют в пробирки из бюреток в соотношениях, указанных в таблицу:

Таблица

**Изучение коагуляции золь берлинской лазури визуальным методом**

Электролит	Концентрация электролита, моль/дм <sup>3</sup>	Номер пробирки	Объем золь, см <sup>3</sup>	Объем воды, см <sup>3</sup>	Объем электролита, см <sup>3</sup>	Общий объем системы, см <sup>3</sup>	Наблюдаемый эффект коагуляции (изменение цвета, образование осадка)	Порог коагуляции, моль/дм <sup>3</sup>
KCl	2,0	1	5	4,5	0,5	10		
		2	5	4	1	10		
		3	5	3	2	10		
		4	5	1	4	10		
MgCl <sub>2</sub>	0,02	1	5	4,5	0,5	10		
		2	5	4	1	10		
		3	5	3	2	10		
		4	5	1	4	10		
AlCl <sub>3</sub>	0,002	1	5	4,5	0,5	10		
		2	5	4	1	10		
		3	5	3	2	10		
		4	5	1	4	10		

Рассчитывают  $C_k$  для хлорида натрия и хлорида кальция. Сравнивают эти значения с порогами коагуляции для KCl и MgCl<sub>2</sub>. Делают вывод о влиянии природы коагулирующего иона на порог коагуляции и о возможности использования в качестве электролита-коагулянта морской воды, содержащей, как известно, соли кальция и магния.

*Опыт 3. Изучение взаимной коагуляции золь с противоположно заряженными частицами*

Для проведения опыта берут золь Fe(OH)<sub>3</sub> с положительно заряженными частицами и золь берлинской лазури Fe<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]<sub>3</sub>, частицы которого заряжены отрицательно.

В пять пробирок из бюретки наливают соответственно 10, 8, 6, 4 и 2 см<sup>3</sup> золь Fe(OH)<sub>3</sub>. Затем из другой бюретки в каждую из пробирок добавляют золь берлинской лазури таким образом, чтобы общий объем раствора в каждой из пробирок составил 10 см<sup>3</sup>. Содержимое пробирок тщательно перемешивают и оставляют на 30 мин. Затем отмечают пробирки, в которых произошла полная взаимная коагуляция золь. Результаты опыта заносят в таблицу.

Таблица

**Взаимная коагуляция золь с противоположно заряженными частицами**

Золь	Объем золь, мл				
	Fe(OH) <sub>3</sub>	10	8	6	4
Fe <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sub>3</sub>	0	2	4	6	8
Эффект коагуляции					

По данным таблицы рассчитывают процентное соотношение золь, при котором они смешиваются без нарушения устойчивости или же происходит полная взаимная коагуляция.

*Опыт 4. Определение порога электролитной коагуляции сточной воды*

В опыте используют сточную воду предприятий переработки гидробионтов, содержащую рыбный белок, жир, минеральные соли. Предварительно методом макроэлектрофореза определить знак заряда частиц, содержащихся в сточной воде.

В качестве электролитов для коагуляции используют сульфат алюминия, сульфат железа и хлорид алюминия концентрации  $0,02 \text{ моль/дм}^3$ . Опыты по коагуляции сточной воды выполняют так же, как описано в опыте 2.1. По полученным результатам рассчитывают порог электролитной коагуляции для исследуемой сточной воды. Делают вывод о влиянии природы коагулирующего иона на порог коагуляции.

*Опыт 5. Определение порога коагуляции на спектрофотометре по зависимости оптическая плотность системы – концентрация электролита*

Коагуляцию золя гидроксида железа  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  при введении в него электролитов, содержащих ионы-коагуляторы различного заряда, изучают путем измерения оптической плотности системы золь – электролит. Поскольку частицы золя  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  заряжены положительно, то в качестве коагулирующих ионов выступают ионы  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ .

Оптическую плотность  $A$  измеряют на спектрофотометре. Измерения проводят в диапазоне длин волн  $400 - 600 \text{ нм}$ , в качестве раствора сравнения («нулевого» раствора) используют дистиллированную воду.

Для каждого электролита готовят по 11 проб. Сначала в пробирки наливают золь и воду в соотношениях, указанных в таблице.

Экспериментальные данные по определению порогов коагуляции

Электролит \_\_\_\_\_

Исходная концентрация электролита \_\_\_\_\_

Номер пробы	Золь, $\text{см}^3$	Вода, $\text{см}^3$	Электролит, $\text{см}^3$	Общий объем	Оптическая плотность через 1 мин после смешения золя и электролита
1	5	10	0	15	
2	5	9	1	15	
3	5	8	2	15	
4	5	7	3	15	
5	5	6	4	15	
6	5	5	5	15	
7	5	4	6	15	
8	5	3	7	15	
9	5	2	8	15	
10	5	1	9	15	
11	5	0	10	15	

После добавления электролита общий объем раствора должен быть одинаковым во всех пробирках.

Для того чтобы получить сравнимые результаты порогов коагуляции, электролит добавляют в золь непосредственно перед измерением оптической плотности раствора. Интервал времени между введением электролита в золь и измерением  $A$  всегда должен быть одинаковым, например 1 мин (нельзя электролит добавлять сразу во все пробирки!).

Измерение оптической плотности начинают с первой пробирки, не содержащей электролита. Затем берут вторую пробирку (в соответствии с табл. в ней содержится  $5 \text{ см}^3$  золя и  $9 \text{ см}^3$  воды), пипеткой отбирают  $1 \text{ см}^3$  электролита, вводят его в пробирку с золем и ровно через 1 мин после введения электролита в золь (время определяют по секундомеру) измеряют оптическую плотность раствора. После введения электролита в золь содержимое пробирки необходимо тщательно перемешать, причем интенсивность перемешивания должна быть одинаковой во всех опытах.

Таким образом последовательно определяют оптическую плотность в каждой пробе.

По полученным данным для трех исследованных электролитов строят график зависимости оптической плотности от объема электролита, введенного в золь. По графику  $A - V_{\text{эл}}$  для  $\text{KCl}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  находят  $V_k$  – пороговый объем электролита, при котором оптическая плотность золя достигает максимального значения. Рассчитывают порог коагуляции для каждого электролита. По полученным значениям  $C_k$  проверяют

выполнимость правила Шульце–Гарди.

## Лабораторная работа

### Электрокоагуляция. Определение заряда частиц водных дисперсий методом электрофореза.

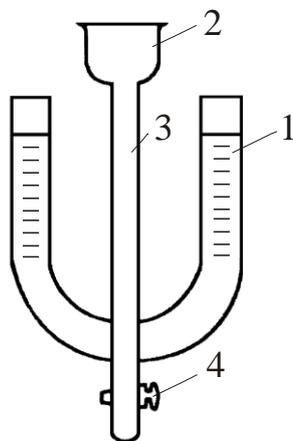
**Цели работы** – расчет электрокинетического потенциала частиц водной дисперсии гидроксида железа на основе электрофоретических измерений, электрокоагуляция и определение знака частиц, содержащихся в сточной воде предприятий переработки гидробионтов.

**Оборудование, реактивы** – ячейка Кена электрофоретическая; U-образная трубка; источник постоянного ток; золь гидроксида железа (III); сточная вода предприятий переработки гидробионтов, боковая жидкость: раствор  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (1 %-й); раствор  $\text{CuSO}_4$  (20 %-й); солевые мостики, заполненные агаровым студнем; индикаторная бумага, электроды медные; секундомер.

*Опыт 1. Определение электрокинетического потенциала частиц водной дисперсии гидроксида железа на основе электрофоретических измерений.*

Для определения электрофоретической подвижности (скорости электрофореза) коллоидных частиц используют электрофоретические ячейки различных конструкций. Наиболее простой по устройству является ячейка Кена.

Ячейка Кена представляет собой широкую U-образную трубку 1. Верхние части обоих колен трубки имеют градуировку. В оба колена ячейки вставляют электроды. Коллоидный раствор вводят в прибор с помощью воронки 2, соединенной с нижней частью ячейки узкой стеклянной трубкой 3, снабженной краном 4.



*Рис. Ячейка Кена для измерения скорости электрофореза методом подвижной границы: 1 – U-образная трубка с градуированными коленами; 2 – воронка; 3 – стеклянная трубка; 4 – кран*

Порядок заполнения электрофоретической ячейки следующий: при открытом кране 4 через воронку 2 наливают золь так, чтобы он заполнил трубку 3 ячейки до крана, кран закрывают, доливают золь в узкую трубку и воронку. В U-образную трубку 1 наливают боковую жидкость на 2/3 объема. При заполнении прибора необходимо следить за тем, чтобы в нем не оставалось пузырьков воздуха.

Схема подключения ячейки в электрическую цепь приведена на рисунке. В U-образные колена ячейки 1 вводят концы агаровых мостиков 2 (стеклянные трубочки, заполненные агаровым студнем с небольшой добавкой насыщенного раствора  $\text{KCl}$ ). Другие концы мостиков погружают в стаканы с раствором сульфата меди (II) (массовая доля сульфата меди 20 %) и медными электродами 4, соединенными с источником постоянного тока 5. Необходимо следить за тем, чтобы в боковую жидкость всегда погружался один и тот

же конец агарового мостика, так как раствор сульфата меди (II) пропитывает агаровый студень и при погружении его в боковую жидкость ионы меди могут диффундировать в золь.

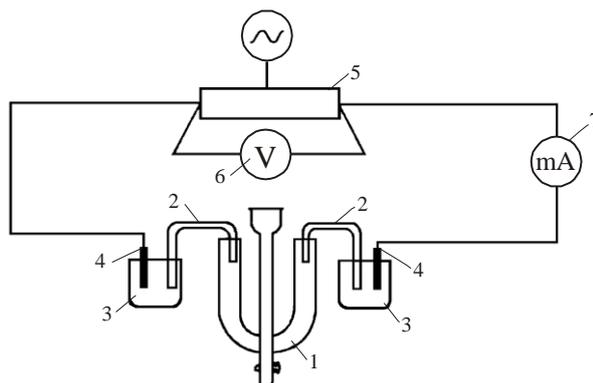


Рис. Схема установки для макроэлектрофореза:  
 1 – ячейка для макроэлектрофореза; 2 – стеклянные мостики;  
 3 – стаканчики с раствором  $CuSO_4$ ; 4 – электроды; 5 – выпрямитель;  
 6 – вольтметр; 7 – миллиамперметр

После заполнения прибора и подключения его в цепь осторожно, чтобы не размыть границу, открывают кран ячейки 4, при этом золь, поднимаясь вверх по коленам U-образной трубки, вытесняет из них боковую жидкость. Границу раздела устанавливают чуть ниже середины шкалы с делениями колен U-образной трубки. После этого к ячейке подводят постоянный ток требуемого напряжения ( $\sim 100$  В). Пользуясь секундомером или часами, определяют скорость передвижения границы раздела золь – боковая жидкость. Наблюдение ведут либо за поднимающейся, либо за опускающейся границей в зависимости от того, какая из них окажется более четкой. Скорость электрофореза (скорость перемещения границы раздела) измеряют три раза, каждый раз наблюдая за перемещением границы на расстояние 5 мм.

По окончании измерений прибор выключают и с помощью гибкой проволоки определяют вдоль трубки расстояние  $z$  между концами агаровых мостиков, погруженных в боковую жидкость.

Экспериментальные и расчетные данные заносят в таблицу:

Золь, каким методом получен, строение мицеллы золя	Разность потенциалов на электродах $U$ , В	Расстояние между электродами (расстояние между концами агаровых мостиков) $z$ , м	Напряженность электрического поля $E = U/z$ , В/м	Перемещение границы раздела $h$ , м	Время перемещения границы раздела $t$ , с	Линейная скорость перемещения границы раздела $U_v = h/t$ , м/с	Электрофоретическая подвижность	Электрофоретический потенциал

*Опыт 2. Электрокоагуляция и определение знака заряда частиц, содержащихся в сточной воде предприятий переработки гидробионтов*

Способность сточной воды предприятий переработки гидробионтов к коагуляции и электрофорезу объясняется содержанием в ней заряженных частиц белковой природы. Молекулы белков в водной среде содержат основные и кислотные группы, поэтому являются амфотерными соединениями. Условно молекулу белка можно изобразить так;



Изоэлектрическая точка для большинства белков лежит в кислой области при  $\text{pH} < 7$ . В изоэлектрическом состоянии число ионизированных основных групп равно числу ионизированных кислотных групп, поэтому молекула белка в целом электронейтральна. В сильнокислой среде молекула белка ведет себя как основание, приобретает положительный заряд и при электрофорезе движется к катоду. В щелочной среде молекула белка ведет себя как кислота, приобретает отрицательный заряд и движется к аноду.

Сточную воду помещают в U-образную трубку для электрофореза, вводят в оба колена каждой трубки электроды, подключают их к источнику тока и в течение 5 мин через электрофоретическую ячейку пропускают электрический ток. При пропускании электрического тока через дисперсную систему наблюдается коагуляция частиц дисперсной фазы. По осветлению пробы у одного из электродов и отложению частиц дисперсной фазы на другом электроде определяют знак заряда частиц, содержащихся в пробе воды, взятой на анализ.

Если при электрофорезе не наблюдаются видимых изменений у электродов, то делают вывод об электронейтральности частиц дисперсной фазы и проводят опыт еще раз, предварительно изменив  $\text{pH}$  исследуемой пробы. Для этого пробу подкисляют 0,1 н. раствором соляной кислоты или подщелачивают 0,1 н. раствором гидроксида натрия, определяют величину  $\text{pH}$  с помощью универсальной индикаторной бумаги и проводят электрофорез.

Делают вывод о знаке заряда частиц, содержащихся в сточной воде, о влиянии  $\text{pH}$  на заряд частиц и возможности применения электрофореза для осаждения заряженных частиц, содержащихся в сточной воде, с целью ее очистки.

### Лабораторная работа

#### **Флокуляция, как метод очистки водных дисперсий. Изучение агрегативной устойчивости водных дисперсий в присутствии высокомолекулярных флокулянтов.**

**Цели работы** – изучить процесс флокуляции водной дисперсии, содержащей белковые и жировые вещества, высокомолекулярными флокулянтами

**Оборудование, реактивы** – спектрофотометр; колбы плоскодонные; бюретки; пробирки; стаканы; водная дисперсия (сточная вода); флокулянты различной природы (полиакриламид, природные полисахариды-крахмал, хитозан, хондроитина сульфат- по указанию преподавателя)

Флокуляцию водной дисперсии при введении в нее различных флокулянтов изучают путем измерения оптической плотности системы водная дисперсия – флокулянт. Предварительно определяют заряд частиц, содержащихся в дисперсии, методом электрофореза (см. лаб. раб. «Электрокоагуляция. Определение заряда частиц водных дисперсий методом электрофореза»)

Оптическую плотность  $A$  измеряют на спектрофотометре. Измерения проводят в диапазоне длин волн 400 – 600 нм, в качестве раствора сравнения («нулевого» раствора) используют дистиллированную воду.

Для каждого флокулянта готовят несколько проб. Исходная концентрация растворов флокулянта предварительно подбирается (1-5% масс) Сначала в пробирки наливают водную дисперсию. После добавления флокулянта общий объем раствора должен быть одинаковым во всех пробирках.

Для того чтобы получить сравнимые результаты флокулянт добавляют непосредственно перед измерением оптической плотности раствора. Интервал времени между введением флокулянта и измерением оптической плотности ( $A$ ) всегда должен быть одинаковым, например 1 мин-15 мин.

После введения флокулянта в дисперсию содержимое пробирки необходимо тщательно перемешать, причем интенсивность перемешивания должна быть одинаковой во всех опытах. Таким образом последовательно определяют оптическую плотность в каждой пробе. Экспериментальные данные по определению порога флокуляции заносят в таблицу

Экспериментальные данные по определению порога флокуляции  
 Флокулянт \_\_\_\_\_  
 Исходная концентрация флокулянта \_\_\_\_\_

Номер пробы	дисперсия см <sup>3</sup>	Флокулянт см <sup>3</sup>	Общий объем	Оптическая плотность через, мин после смешения дисперсии и флокулянта.
1	15	0	15	
2	14	1	15	
3	13	2	15	
4	12	3	15	
5	11	4	15	
6	10	5	15	
7	9	6	15	
8	8	7	15	
9	7	8	15	
10	5	9	15	
11	5	10	15	

По полученным данным строят график зависимости оптической плотности от объема флокулянта, введенного в дисперсию. По графику  $A - V$  находят  $V_k$  – пороговый объем флокулянта, при котором оптическая плотность дисперсии достигает максимального значения.

Для оценки степени агрегации определяют изменение оптической плотности дисперсии после внесения флокулянта. Получают экспериментальные данные и строят графики зависимости оптической плотности раствора от концентрации и времени добавления флокулянта. Скорость агрегации рассчитывают как величину изменения оптической плотности раствора  $D$  за единицу времени  $\tau$  на начальном прямолинейном участке графика зависимости оптическая плотность-время.

Флокулирующую способность флокулянтов ( $\Phi$ ) при данной концентрации дисперсной фазы рассчитывают как отношение максимальной скорости флокуляции ( $V_{max}$ ) и минимально необходимой для этого концентрации флокулянта ( $C_{min}$ )

$$\Phi = \frac{V_{max}}{C_{min}}$$

Сделать вывод о флокулирующей способности исследуемых флокулянтов

### Лабораторная работа

#### Удаление взвешенных веществ из водных дисперсий осаждением. Изучение седиментации и определение размера взвешенных частиц в водной дисперсии.

**Цели работы** – на основе седиментационного анализа построить седиментационную, интегральную и дифференциальную кривые распределения частиц суспензии; определить минимальный, максимальный и наиболее вероятный радиусы частиц в суспензии.

**Оборудование, реактивы** – весы торсионные; суспензия мела, угля, глины (по указанию преподавателя) в воде (концентрация дисперсной фазы 0,6 %); чашечка легкая металлическая для взвешивания осадка; стакан емкостью 500 см<sup>3</sup> с миллиметровой лентой; ступка фарфоровая с пестиком; секундомер.

Для седиментационного анализа используются торсионные весы.

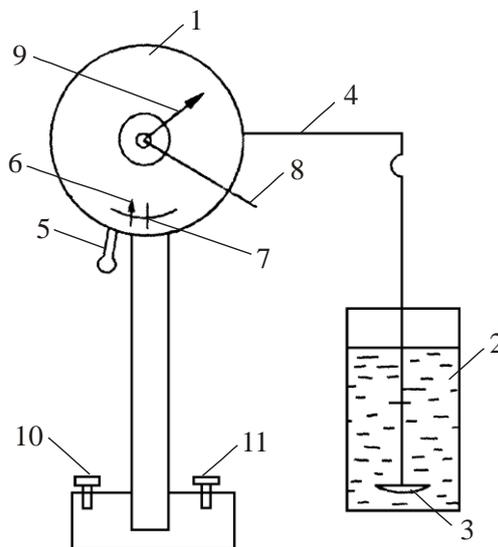


Рис. Схема установки для проведения седиментационного анализа:  
 1 – корпус весов; 2 – стакан с суспензией; 3 – чашечка для взвешивания осадка; 4 – крючок для подвешивания чашечки; 5 – арретир; 6 – стрелка (относится к указателю равновесия); 7 – указатель равновесия; 8 – рычаг; 9 – стрелка на шкале весов; 10, 11 – опорные винты

#### Порядок работы на торсионных весах

Основной частью торсионных весов является спиральная пружина, расположенная в корпусе прибора. Один конец ее неподвижно закреплен, а другой связан с крючком 4, на который подвешивают чашечку для взвешивания осадка 3. При поднятом арретире 5 ("закрыто") весы показаний не дают, но как только арретир 5 опущен ("свободно"), стрелка 6 отклоняется от черты указателя равновесия 7 влево. Поворотом рычага 8 вправо от нуля стрелку 6 заставляют передвигаться вправо до тех пор, пока она не установится против черты 7. Тогда вес груза в миллиграммах определяют на циферблате весов по положению стрелки 9.

Выполнение работы. Устанавливают весы с помощью опорных винтов по уровню. Взвешивают легкую алюминиевую чашечку в чистом растворителе. Для этого наливают в стакан 2 500 см<sup>3</sup> воды, опускают в воду чашечку 5 и подвешивают ее на крючок 4 торсионных весов. При этом стрелка 6 отклоняется от указателя равновесия 7. Поворотом рычага 8 стрелку 6 устанавливают против указателя равновесия 7. Записывают  $P_0$  – вес чашечки в чистом растворителе. Далее измеряют глубину погружения чашечки (H), т. е. расстояние, которое будут проходить частицы за время оседания (t). После этого чашечку вынимают из растворителя, растворитель выливают из стакана.

Готовят суспензию мела (или крупы) в воде. Для этого в фарфоровой ступке 3 г мела тщательно растирают с небольшим количеством воды (1-2 см<sup>3</sup>) до однородной консистенции. Образовавшуюся кашу переносят в стакан, добавляют в стакан воду до объема 500 см<sup>3</sup>. Стакан с суспензией устанавливают под рычаг торсионных весов, суспензию тщательно перемешивают стеклянной палочкой. После перемешивания суспензии в стакан осторожно опускают чашечку, открывают арретир 5, включают секундомер (арретир не закрывают в продолжение всего опыта). Порошок начинает оседать на чашечке весов, при этом стрелка 6 будет постоянно отклоняться влево. Через определенные промежутки времени поворотом рычага 8 стрелку 6 подводят к указателю равновесия 7. Вес чашечки с осадком записывают в табл. 1. Опыт проводят до тех пор, пока масса чашечки не будет изменяться в течение 8 – 10 мин.

По данным таблицы строят седиментационную кривую  $P - t$ .

Находят минимальный и максимальный радиусы частиц в суспензии.

Экспериментальные данные седиментационного анализа заносят в таблицу:

Вес чашечки в чистом растворителе  $P_0 =$  \_\_\_\_\_ мг.

Глубина погружения чашечки  $H =$  \_\_\_\_\_ см.

	Время оседания от начала опыта $t$ , мин																		
	0.5	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	
Вес чашечки с осадком $P$ , мг																			
Вес осадка $P$ , мг																			

Для построения интегральной кривой седиментационную кривую обрабатывают методом построения касательных. Данные для построения интегральной кривой распределения заносят в таблицу:

Значение времени оседания для точки, в которой проведена касательная, $t$ , мин	Масса фракции осадка, определенная по седиментационной кривой $P$ ( $SP = P_{max}$ )	Процентное содержание фракции $Q$ , % ( $SQ = 100$ %)	Нарастающее суммарное процентное содержание частиц начиная с самых мелких $Q_{sum}$ , %	Эквивалентный радиус $r$ , мкм ( $r = K\sqrt{H/\tau}$ , где $t$ – значение времени оседания для точки, в которой проведена касательная)

При построении интегральной кривой распределения последняя ордината должна соответствовать максимальному радиусу частиц в суспензии и составить 100 %.

Далее обрабатывают интегральную кривую для построения дифференциальной кривой. Результаты обработки заносят в таблицу:

$r$ , мкм	$Dr$ , мкм	$DQ$ , %	Функция распределения $DQ/Dr$
2	2		
4	2		
6	2		
и т.д. до $r_{max}$	и т.д. до $r_{max}$		

Строят дифференциальную кривую распределения и определяют по ней радиус частиц, преобладающих в данной суспензии (наиболее вероятный радиус частиц в суспензии).

### Лабораторная работа\*

#### Применение физико-химических методов для очистки водных дисперсий, содержащих загрязнения различной природы.

**Цель работы:** предложить физико-химический метод очистки водной дисперсии, содержащей загрязнения различной природы (органические кислоты, ПАВ, ВМС, взвеси - по заданию преподавателя), выполнить очистку.

#### Задание:

-составить общий план выполнения работы и детальный план выполнения отдельных стадий работы;

- выбрать экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи;
  - подобрать необходимые реактивы и оборудование;
  - выполнить очистку водной дисперсии выбранным методом;
  - представить расчетные данные и полученные графические зависимости;
  - сделать выводы о проделанной работе
- \* работа выполняется как учебно-исследовательская

## **Примерный перечень вопросов и заданий для защиты лабораторных работ**

**Лабораторная работа** Применение процесса адсорбции для очистки жидких сред. Адсорбция ПАВ на границе раздела жидкость- газ. Расчет величины предельной адсорбции и параметров адсорбционного слоя на границе раздела ж/г по изотерме поверхностного натяжения

1. Чем обусловлены поверхностные явления на границе раздела фаз?
2. В каких единицах измеряется поверхностное натяжение?
3. Дайте краткое описание методов определения поверхностного натяжения: отрыва кольца, втягивания пластины, сталагмометрического.
4. Как определяют поверхностное натяжение с помощью торсионных весов?
5. Что такое изотерма поверхностного натяжения и изотерма адсорбции ПАВ?
6. Как определяют кинетику изменения поверхностного натяжения растворов?
7. Дайте определение понятий: адсорбция, десорбция.
8. Какие факторы влияют на адсорбцию?
9. Как можно экспериментально определить адсорбцию ПАВ на границе раздела жидкость – газ?
10. Каким уравнением описывают адсорбцию на границе раздела жидкость – газ?

**Лабораторная работа** Влияние природы адсорбента на степень извлечения веществ из водных дисперсий. Изучение кинетики адсорбции. Расчет адсорбции на границе раздела ж/т. Расчет удельной поверхности адсорбента

1. Какими уравнениями описывают адсорбцию на твердом теле?
2. Какие адсорбенты применяют для извлечения веществ различной природы из водных дисперсий?
3. Как на основе экспериментальных данных по уравнению Ленгмюра определяют величину предельной адсорбции?
4. Как рассчитывают коэффициенты  $K$  и  $n$  в уравнении Фрейндлиха?
5. Как рассчитывают толщину адсорбционного слоя и площадь поперечного сечения молекулы ПАВ на границе раздела фаз?
6. В каких единицах измеряют адсорбцию газообразных и растворенных веществ на твердой поверхности?
7. Какие вещества называют поверхностно-активными? В чем состоит особенность их строения?
8. Адсорбент А адсорбирует из водных растворов солянокислый хинин при малых концентрациях хуже, а при больших концентрациях лучше, чем адсорбент В. Приведите изотермы адсорбции для адсорбента А и адсорбента В.

**Лабораторная работа** Коагуляция, как метод очистки жидких сред от коллоидных и взвешенных загрязнений. Определение порога коагуляции электролитов.

1. Перечислите факторы устойчивости дисперсных систем.
2. Дайте определение понятий: коагуляция, быстрая коагуляция, медленная коагуляция.
3. Что называется порогом коагуляции? Как его определяют?
4. Перечислите факторы, при действии которых может наступить коагуляция .
5. Каковы особенности коагуляции частиц в первичном энергетическом минимуме? В чем сущность явления дальней агрегации?
6. Сформулируйте правило Шульце–Гарди и приведите примеры, иллюстрирующие его.
7. Что такое взаимная коагуляция?
8. В чем сущность явления перезарядки коллоидных частиц?
9. Какое явление называется коллоидной защитой? Как определяют защитное число?
10. Какие электролиты используют для очистки водных дисперсий методом коагуляции?

**Лабораторная работа** Электрокоагуляция. Определение заряда частиц водных дисперсий методом электрофореза.

1. Что называют электрокоагуляцией?
2. Какие электроды применяют для электрокоагуляции?
3. Что такое электрофорез? Каковы причины возникновения электрокинетических явлений?
4. Каким образом методом электрофореза определяют заряд коллоидных частиц?
5. Какую формулу используют для расчета электрокинетического потенциала?
6. Каким образом используют правило Шульце-Гарди для выбора электролита при использовании метода коагуляции для очистки водных дисперсий?

**Лабораторная работа** Флокуляция, как метод очистки водных дисперсий. Изучение агрегативной устойчивости водных дисперсий в присутствии высокомолекулярных флокулянтов.

1. Каковы особенности агрегации частиц во вторичном энергетическом минимуме?
2. Поясните суть процесса мостикообразования при флокуляции.
3. Поясните механизм флокулирующего действия ВМС.
4. Объясните нейтрализационный механизм флокуляции.
5. Приведите классификацию флокулянтов
6. Приведите примеры флокулянтов: природных, синтетических, органических, неорганических

**Лабораторная работа** Удаление взвешенных веществ из водных дисперсий осаждением. Изучение седиментации и определение размера взвешенных частиц в водной дисперсии

1. Какими методами определяют размер частиц в дисперсных системах.
2. Приведите методы удаления загрязнений из водных дисперсий в зависимости от размера частиц дисперсной фазы.
3. Для очистки каких дисперсных систем применяется метод осаждения?
4. На чем основан метод седиментационного анализа?
5. Какова зависимость между размером частицы и скоростью ее оседания?
6. Какой вид имеет кривая седиментации для монодисперсной, бидисперсной и полидисперсной систем?

7. Каковы принципы построения интегральной кривой распределения? Что она показывает?
8. Каковы принципы построения дифференциальной кривой распределения?
9. Что характеризует максимум на дифференциальной кривой распределения частиц по размерам?
10. Как по кривой седиментации определить минимальный и максимальный радиусы частиц?

**Учебно-исследовательская лабораторная работа** Применение физико-химических методов для очистки водных дисперсий, содержащих загрязнения различной природы.

1. Какие экспериментальные и расчетно-теоретические методы были использованы для очистки водной дисперсии?
2. Опишите теоретические основы выбранного физико-химического метода очистки.
3. Сопоставьте полученные результаты с имеющимися в литературе данными по очистке водной дисперсии выбранным методом
4. Охарактеризуйте современные разработки, приведенные в патентной литературе по физико-химическим методам очистки водных дисперсий.
5. Каковы перспективы и возможности использования выбранного метода очистки в производственных условиях?