

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 09.08.2023 12:24:39  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП

Феофанова М.А.

28 апреля 2021 г.



Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

Введение в супрамолекулярную химию

**Направление подготовки**

04.03.01 Химия

**Направленность (профиль)**

Перспективные материалы: синтез и анализ

Для студентов 3 курса

Очная форма

Составитель: к.х.н. Вишневецкий Д.В. \_\_\_\_\_

Тверь, 2021

## **I. Аннотация**

### **1. Цели и задачи дисциплины:**

Содержание дисциплины направлено на формирование естественнонаучного мировоззрения студентов, освоение научного стиля мышления, глубокого и правильного понимания принципов построения супрамолекулярных ансамблей.

В результате изучения данного курса студент должен изучить наиболее распространенные примеры супрамолекулярных ансамблей, особенно супрамолекулярных гелей. Студенты должны получить представление об основных видах взаимодействий, возникающих в супрамолекулярных объектах, методах их изучения, возможностях практического использования.

Ознакомление с новой необычной гидрогелевой системой на основе аминокислоты L-цистеина и нитрата серебра, особенностями ее образования, возможностями практического применения, взглядом на дальнейшие перспективы развития данной системы.

### **2. Место дисциплины в структуре ООП:**

Дисциплина «Введение в супрамолекулярную химию» входит в Элективные дисциплины 1 Части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1. «Дисциплины» учебного плана.

Содержательно она закладывает основы знаний супрамолекулярной химии. Особое внимание уделяется химии супрамолекулярных гелей.

Уровень подготовки студента для успешного освоения дисциплины - знание теоретических основ неорганической химии, органической химии.

В результате изучения дисциплины студент должен иметь общее представление о супрамолекулярной химии, как отдельной научной дисциплине, владеть знаниями о различных супрамолекулярных ансамблях и принципах их построения, иметь представления об областях использования супрамолекулярных объектов в реальной жизни.

### **3. Объем дисциплины: 3 зачетные единицы, 108 академических часов, в том числе:**

**контактная аудиторная работа:** лекции 18 часов, лабораторные работы 36 часов;

**контактная внеаудиторная работа:** контроль самостоятельной работы – 10 часов;

**самостоятельная работа:** 44 часа.

### **4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<p>ПК-1 Способен выбирать и использовать технические средства и методы испытаний для решения исследовательских задач химической направленности, поставленных специалистом более высокой квалификации</p>	<p>ПК-1.1 Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР</p> <p>ПК-1.2 Выбирает технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач НИР</p> <p>ПК-1.3 Готовит объекты исследования</p>
<p>ПК-2 Способен оказывать информационную поддержку специалистам, осуществляющим научно-исследовательские работы</p>	<p>ПК-2.1 Проводит первичный поиск информации по заданной тематике (в т.ч., с использованием патентных баз данных)</p> <p>ПК-2.2 Анализирует и обобщает результаты патентного поиска по тематике проекта в выбранной области химии (химической технологии)</p>

### 5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения:

Зачет – 6 семестр.

### 6. Язык преподавания русский.

### II. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

Наименование разделов и тем	Все-го	Контактная работа (час.)			Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Лабораторные/практические занятия	Контроль самостоятельной работы	
Введение.	1	1	-	-	-
Основные понятия.	5	1	2	-	2

Предмет супрамолекулярной химии. История становления как самостоятельной науки. Примеры супрамолекулярных ансамблей. Примеры влияния различных факторов на структуру и свойства супрамолекулярных ансамблей.	10	1	4	1	4
Основные виды межмолекулярных взаимодействий. Методы изучения невалентных взаимодействий. Конкретные примеры научных исследований в области супрамолекулярной химии за последние годы.	15	2	6	1	6
Понятие гелей и их классификация.	8	1	2	1	4
Супрамолекулярные гели.	12	1	6	1	4
Открытие супрамолекулярных гелей на основе L-цистеина и нитрата серебра.	9	2	2	1	4
Особенности процесса самоорганизации в системе L-цистеин-нитрат серебра.	9	2	2	1	4
Влияние электролитов на процесс гелеобразования в системе L-цистеин-нитрат серебра.	11	2	4	1	4
Влияние растворителей на процесс гелеобразования в системе L-цистеин-нитрат серебра.	9	2	2	1	4
Возможности практического использования супрамолекулярных гидрогелей.	11	2	4	1	4
Оценка современного состояния супрамолекулярных полиэлектролитных комплексов.	8	1	2	1	4
<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>10</b>	<b>44</b>

### III. Образовательные технологии

Учебная программа – наименование разделов и тем (в строгом соответствии с разделом II РПД)	Вид занятия	Образовательные технологии
--	-------------	----------------------------

1. Введение.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• лекция</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция, решение упражнений),</li> <li>• информационные (показ презентаций)</li> </ul>
2. Основные понятия.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• лекция</li> <li>• решение задач и упражнений</li> <li>• проверка домашних заданий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция, решение упражнений),</li> <li>• информационные (показ презентаций)</li> <li>• технология модульного и блочно-модульного обучения</li> </ul>
3. Предмет супрамолекулярной химии. История становления как самостоятельной науки. Примеры супрамолекулярных ансамблей. Примеры влияния различных факторов на структуру и свойства супрамолекулярных ансамблей.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• лекция</li> <li>• решение задач и упражнений</li> <li>• проверка домашних заданий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция, решение упражнений),</li> <li>• информационные (показ презентаций)</li> <li>• технология модульного и блочно-модульного обучения</li> </ul>
4. Основные виды межмолекулярных взаимодействий. Методы изучения невалентных взаимодействий. Конкретные примеры научных исследований в области супрамолекулярной химии за последние годы.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• лекция</li> <li>• решение задач и упражнений</li> <li>• проверка домашних заданий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция, решение упражнений),</li> <li>• информационные (показ презентаций)</li> <li>• технология модульного и блочно-модульного обучения</li> </ul>
5. Понятие гелей и их классификация.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• лекция</li> <li>• решение задач и упражнений</li> <li>• проверка домашних заданий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция, решение упражнений),</li> <li>• информационные (показ презентаций)</li> <li>• технология модульного и блочно-модульного обучения</li> </ul>
6. Супрамолекулярные гели.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• лекция</li> <li>• решение задач и упражнений</li> <li>• проверка домашних заданий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция, решение упражнений),</li> <li>• информационные (показ презентаций)</li> <li>• технология модульного и блочно-модульного обучения</li> </ul>

<p>7. Открытие супрамолекулярных гелей на основе L-цистеина и нитрата серебра.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• лекция</li> <li>• решение задач и упражнений</li> <li>• лабораторная работа в химической лаборатории</li> <li>• проверка домашних заданий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция, решение упражнений),</li> <li>• информационные (показ презентаций)</li> <li>• технология исследовательской деятельности (химический эксперимент)</li> <li>• технология модульного и блочно-модульного обучения</li> <li>• здоровьесберегающие технологии</li> </ul>
<p>8. Особенности процесса самоорганизации в системе L-цистеин-нитрат серебра.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• лекция</li> <li>• решение задач и упражнений</li> <li>• лабораторная работа в химической лаборатории</li> <li>• проверка домашних заданий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция, решение упражнений),</li> <li>• информационные (показ презентаций)</li> <li>• технология исследовательской деятельности (химический эксперимент)</li> <li>• технология модульного и блочно-модульного обучения</li> <li>• здоровьесберегающие технологии</li> </ul>
<p>9. Влияние электролитов на процесс гелеобразования в системе L-цистеин-нитрат серебра.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• лекция</li> <li>• решение задач и упражнений</li> <li>• лабораторная работа в химической лаборатории</li> <li>• проверка домашних заданий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция, решение упражнений),</li> <li>• информационные (показ презентаций)</li> <li>• технология исследовательской деятельности (химический эксперимент)</li> <li>• технология модульного и блочно-модульного обучения</li> <li>• здоровьесберегающие технологии</li> </ul>

10. Влияние растворителей на процесс гелеобразования в системе L-цистеин-нитрат серебра.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• лекция</li> <li>• решение задач и упражнений</li> <li>• лабораторная работа в химической лаборатории</li> <li>• проверка домашних заданий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция, решение упражнений),</li> <li>• информационные (показ презентаций)</li> <li>• технология исследовательской деятельности (химический эксперимент)</li> <li>• технология модульного и блочно-модульного обучения</li> <li>• здоровьесберегающие технологии</li> </ul>
11. Возможности практического использования супрамолекулярных гидрогелей.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• лекция</li> <li>• решение задач и упражнений</li> <li>• проверка домашних заданий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция, решение упражнений),</li> <li>• информационные (показ презентаций)</li> <li>• технология модульного и блочно-модульного обучения</li> </ul>
12. Оценка современного состояния супрамолекулярных полиэлектролитных комплексов.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• лекция</li> <li>• решение задач и упражнений</li> <li>• проверка домашних заданий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• традиционные (фронтальная лекция, решение упражнений),</li> <li>• информационные (показ презентаций)</li> <li>• технология модульного и блочно-модульного обучения</li> </ul>

#### IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации

### РАССЧЕТ БАЛЛОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ВВЕДЕНИЕ В СУПРАМОЛЕКУЛЯРНУЮ ХИМИЮ» 1 модуль

№	Результат (индикатор)	Вид работы / способ	Критерии оценивания
1	ПК-1.1 ПК-1.2	Лабораторные работы - 2	8 баллов (4 балла за одну работу)
2	ПК-1.3 ПК-2.1 ПК-2.2	Коллоквиум №1	8 баллов (коллоквиум включает решение тестовых заданий – 4 балла, ответы на вопросы – 4 балла)
3		Выполнение домашней работы	10
4		Посещаемость	2

5		Работа на занятии	2
		<b>Итого:</b>	<b>30</b>

### 2 модуль

№	Результат (индикатор)	Вид работы / способ	Критерии оценивания
1	ПК-1.1 ПК-1.2	Лабораторные работы - 2	8 баллов (4 балла за одну работу)
2	ПК-1.3 ПК-2.1 ПК-2.2	Коллоквиум №2	8 баллов (коллоквиум включает решение тестовых заданий – 4 балла, ответы на вопросы – 4 балла)
3		Выполнение домашней работы	10
4		Посещаемость	2
5		Работа на занятии	2
		<b>Итого:</b>	<b>30</b>
6		<b>Зачет</b>	<b>40 (4 задания в билете по 10 баллов)</b>
		<b>Итого за семестр</b>	<b>100 баллов</b>

## Текущий контроль успеваемости

### 1 модуль

#### Лабораторные работы

#### Общий пример подготовки исследуемых систем для анализа

В работе использованы реактивы: L-цистеин 99% и нитрат серебра 99,8% («Acros»), сульфат натрия (х.ч), а также ПВС с молекулярными массами 50 и 100 кДа и количеством остаточных ацетатных групп менее 2 % «Sigma Aldrich», ПЭГ с молекулярными массами 0,4, 6 и 40 кДа «Sigma Aldrich», ПВП с молекулярными массами 20 и 40 кДа «Sigma Aldrich». Все растворы готовили на дистиллированной воде.

Для приготовления ЦСР использовалась следующая методика: готовились по отдельности растворы цистеина ( $10^{-2}$  М) и нитрата серебра ( $10^{-2}$  М). В пустой сосуд сначала наливали воду в определенном количестве, далее добавляли L-цистеин и, наконец, нитрат серебра. Полученный опалесцирую-



ший раствор оставляли на сутки для созревания. В конечном итоге получали прозрачный с желтоватой окраской ЦСР. Гидрогели ЦСР+полимер получали добавлением к раствору ЦСР водного раствора полимера и далее к полученной системе приливали водный раствор электролита  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

### **Лабораторная работа №1. Исследование супрамолекулярных систем методом ДСР (определение размеров частиц)**

Измерение интенсивности светорассеяния в исследуемых системах проводили методом ДСР с использованием анализатора Zetasizer «Nano ZS» (фирма «Malvern») с He-Ne-лазером (633 нм) мощностью 4 мВт. Все измерения осуществлялись при температуре 25 °С в конфигурации обратного рассеяния (173°), обеспечивающей наибольшую чувствительность прибора. Математическая обработка результатов полученных кросс-корреляционных функций флуктуаций интенсивности рассеянного света  $g_2(\tau)$  проводилась в программе Zetasizer Software, где решение полученного уравнения зависимости  $g_2(\tau)$  от коэффициента диффузии производилось методом куммулянтов. Результатом решения являлась функция  $z(D)$ . Гидродинамические радиусы рассеивающих частиц рассчитывались из коэффициентов диффузии по формуле Стокса-Энштейна:  $D = kT/6\pi\eta R$ , где  $D$  – коэффициент диффузии,  $k$  – константа Больцмана,  $T$  – абсолютная температура,  $\eta$  – вязкость среды,  $R$  – радиус рассеивающих частиц.

### **Лабораторная работа №2. Исследование супрамолекулярных систем методом ДСР (измерение дзета-потенциала частиц)**

Измерение электрофоретической подвижности агрегатов в образцах проведено в U-образных капиллярных кюветах. Распределение Z-потенциала рассчитывали по уравнению Генри:  $U_E = 2\varepsilon z f(Ka)/3\eta$ , где  $f(Ka)$  – функция Генри,  $U_E$  – электрофоретическая подвижность,  $z$  – Z-потенциал,  $\varepsilon$  – диэлектрическая постоянная,  $\eta$  – вязкость,  $f(Ka)=1,5$  для водных сред.

### **Коллоквиум №1.**

*Пример*

1. Сравните скорости реакции Финкельштейна в воде и ацетоне?
  - а) в воде скорость выше
  - б) в ацетоне скорость выше
  - в) скорости равны
  - г) нельзя ответить однозначно, не зная температуру эксперимента
2. Что такое явление тиксотропии?
  - а) самопроизвольное восстановление структуры после механического разрушения
  - б) восстановление структуры под действием внешних факторов

- в) конформационный переход глобула-стержень
- г) фазовый переход 1-ого рода

3. Супрамолекулярной системой является?

- а) макромолекула полиэтилена
- б) хлорид натрия
- в) магний
- г) молекула ДНК

4. Какой основной вид взаимодействий возникает в супрамолекулярных системах, построенных из бензольных колец?

- а) водородные связи
- б) электростатические;
- в) стэкинг
- г) дипольные

5. К поверхностно-активному веществу можно отнести?

- а) поваренную соль
- б) пищевую соду
- в) глицерин
- г) додецилсульфат натрия

6. Приведите пример супрамолекулярных систем в биохимии человека?

7. С помощью какого спектроскопического метода можно выявить и определить энергию водородной связи в какой-либо супрамолекулярной системе?

8. Почему структура льда высокого давления намного прочнее, чем структура обычного льда?

9. Приведите пример полиморфных модификаций для молекулы ДНК?

10. В каком виде существуют аминокислоты в гидрофобных матрицах и в водных средах и почему?

## 2 модуль

### Лабораторные работы

#### Лабораторная работа №1. Исследование супрамолекулярных систем методом вискозиметрии

Вязкость образцов измеряли на вибрационном вискозиметре SV-10 (A&D Company), в котором вибрация сенсорных пластин осуществлялась с частотой 30 Гц и постоянной амплитудой около 1 мм. Измерение вязкости растворов и гелей осуществляли при комнатной температуре.

## Лабораторная работа №2. Исследование супрамолекулярных систем методом УФ-спектроскопии

Электронные спектры исследуемых образцов регистрировали на УФ-спектрофотометре «Evolution Array» (фирма «Thermo Scientific») в кварцевой кювете с толщиной слоя 1 мм.

### Коллоквиум №2.

*Пример*

- Сравните скорости реакции Меншуткина в гексане и хлороформе?
  - в гексане скорость выше
  - в хлороформе скорость выше
  - скорости равны
  - нельзя ответить однозначно, не зная температуру эксперимента
- Как можно разделить ионы натрия от ионов калия используя супрамолекулярную химию?
  - провести диализ
  - перекристаллизовать
  - добавить необходимый краун-эфир
  - их нельзя разделить
- Близкой к фрактальным структурам можно отнести?
  - ПЭТФ
  - полистирол
  - дендримеры
  - СВМПЭ
- цвиттер-ионы аминокислот образуются в среде?
  - гексан
  - вода
  - диоксан
  - диметилформамид
- К системе гость-хозяин можно отнести?
  - цеолиты
  - интеркаляты
  - ортофосфаты
  - сульфиды
- Что такое мицелла? Нарисуйте схему образования мицеллярной структуры на примере водного раствора додецилсульфата натрия?
- Что такое фрактал? Нарисуйте схему образования фрактального кластера при желировании системы цистеин-нитрат серебра?
- Что такое явление тиксотропии? Какие системы обладают данным явлением?

9. Объясните антибактериальный эффект ионов серебра (механизм действия)?
10. Дайте предположение: почему гель на основе цистеина и нитрата серебра может обладать более выраженными антисептическими и антибактериальными свойствами, чем просто раствор нитрата серебра?

### **Самостоятельная работа + Контроль самостоятельной работы**

#### **по дисциплине «ВВЕДЕНИЕ В СУПРАМОЛЕКУЛЯРНУЮ ХИМИЮ»**

В ходе самостоятельной работы студенты проводят литературный поиск по заданной тематике, анализируют литературу (статьи и патенты) и представляют результаты в виде презентации (выступление на занятии 5-10 минут). Патентный поиск осуществляется на сайте ФИПС ([www1.fips.ru](http://www1.fips.ru)). Предварительно, в течение одного занятия (2 часа) преподаватель обучает студентов работе с данным сайтом. Поиск и анализ статей осуществляется в базах данных YANDEX и GOOGLE. Осуществляется работа с русскими и английскими статьями и патентами.

#### *Пример оформления презентации*

Тема: «Супрамолекулярные гидрогели»

В результате поиска была выбрана статья «Процессы самоорганизации в водном растворе поливинилового спирта, L-цистеина и нитрата серебра». В ходе анализа статьи была составлена презентация.

Слайд 1.

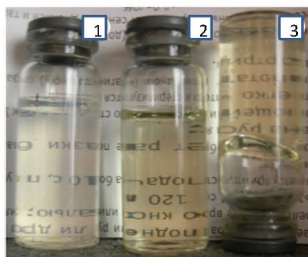
# Супрамолекулярные гидрогели

## Процессы самоорганизации в водном растворе поливинилового спирта, L-цистеина и нитрата серебра

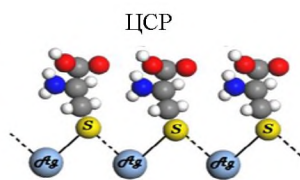
Подготовила: студентка 3 курса  
Химико-технологического  
факультета  
Фаткина А.А.

Слайд 2.

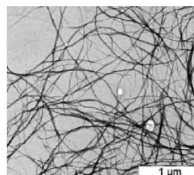
### Мотивация



1. Смешение водных растворов L-цистеина и нитрата серебра
2. Образование цистеин-серебряного раствора (ЦСР)
3. Добавление электролита к ЦСР и формирование геля



гель



*P. M. Pakhomov, S. D. Khizhnyak, et. al. // Colloid Journal, 2004, V. 66, № 1, P. 65.*  
*S. D. Khizhnyak, P. V. Komarov, et. al. // Soft Matter, 2017, V. 30, № 13, P. 5168.*

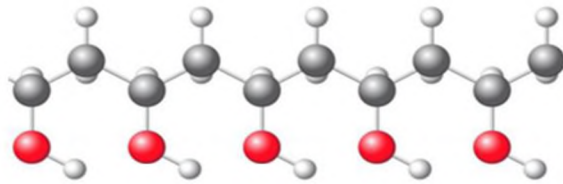
- Образование гидрогеля происходит при крайне низких концентрациях компонентов (0.01% масс.)
- Прекурсоры являются биоактивными нетоксичными компонентами системы
- Гидрогель тиксотропен
- Антибактериальные свойства гидрогеля проявляются в более сильном синергетическом эффекте, чем исходные компоненты по отдельности

!Низкая вязкость и прочностные характеристики

2

Слайд 3.

## Мотивация



Поливиниловый спирт (ПВС)

*FL. Bucholz, N.A. Peppas. // Superabsorbent polymer. Science and technology. American Chemical Society, 1994, P. 573.*

*VI. Lozinsky, A.L. Zubov, E.F. Titova // Enzyme and Microbial Technology, 1997, V.20, P.182.*

- Гелеобразующий водорастворимый полимер
- Биоактивен и нетоксичен

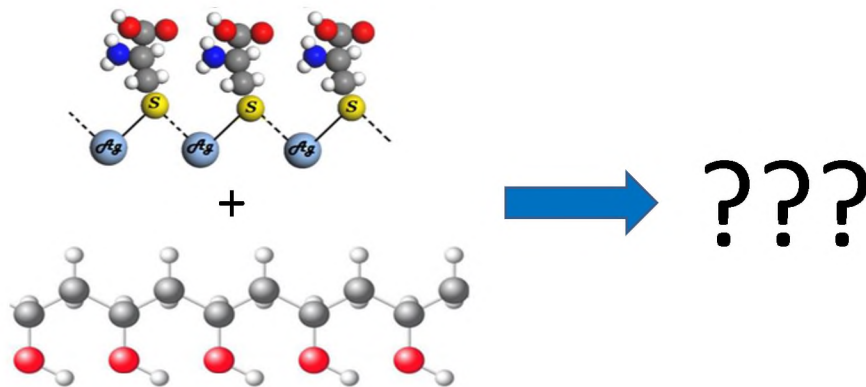
!Высокие концентрации для формирования геля

3

## Слайд 4.

### Цель

В связи с вышесказанным, целью настоящей работы является изучение процесса самоорганизации в смешанных водных растворах ПВС, L-цистеина и нитрата серебра, а также обсуждение возможности практического использования новых получаемых систем. Еще раз подчеркнем, что супра- и макромолекулярная системы обладают биоактивными свойствами, нетоксичны и биосовместимы с организмом.

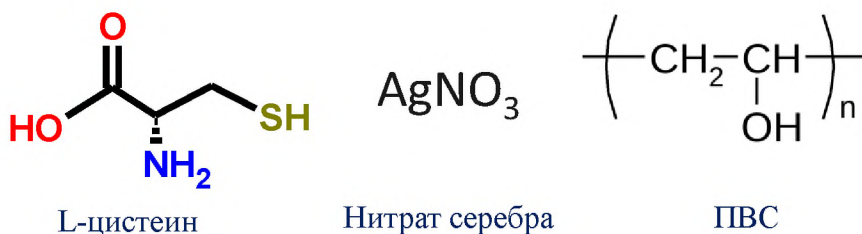


4

## Слайд 5.

### Объекты исследования

В работе использованы реактивы: L-цистеин 99% и нитрат серебра 99,8% («Acros»), сульфат натрия (х.ч), а также ПВС с молекулярной массой  $5 \cdot 10^4$  г/моль и количеством остаточных ацетатных групп менее 2 % производства «Нева Реактив», Санкт-Петербург. Все растворы готовили на дистиллированной воде.



5

Слайд 6.

### Методика приготовления образцов



**1** - Фото гидрогелей на основе ЦСР (0.01 % масс.) + Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.0001% масс.) - контроль и ЦСР (0.01 % масс.) + раствор ПВС (0.002, 0.01, 0.02, 1.0 и 2.0 % масс.) + Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.0001% масс.) через 30 минут после приготовления;

6

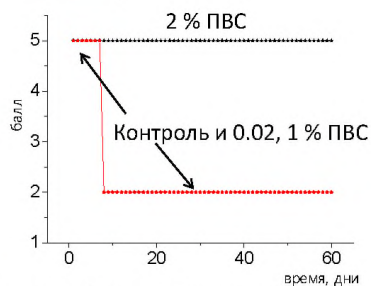
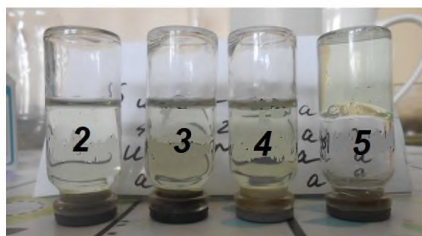
Слайд 7.

## Тиксотропные свойства в системе Цистеин- $\text{AgNO}_3$ -ПВС- $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Шкала прочности гелей

Балл (оценка)	Описательная характеристика полученного геля
5	Гель прочный – при переворачивании не деформируется
4	Гель образует куполообразный мениск, но не стекает
3	Гель медленно стекает по стенкам
2	Гель не прочный – легко срывается вниз
1	Гель очень слабый
0	Нет геля

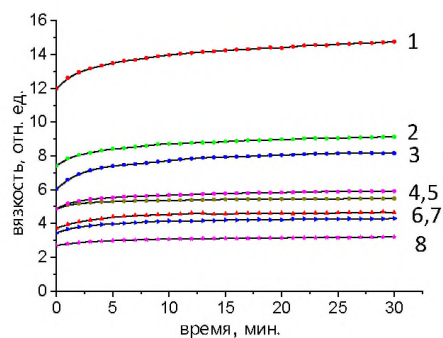
*Овчинников М.М.,  
Хизияж С.Д., Пахомов П.М.  
// Физико-химия полимеров  
– Тверь: ТвГУ, 2007. Вып.  
13. -с. 140-147.*



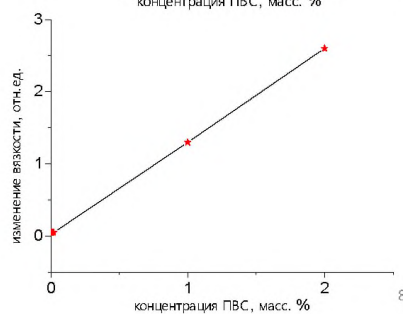
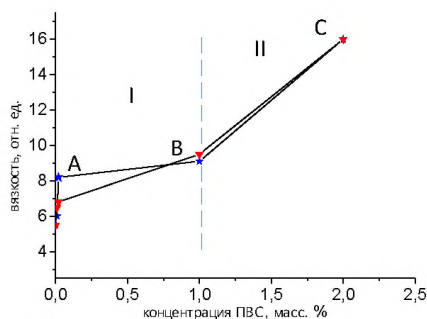
При ежедневном разрушении гелей в течение 2-х месяцев наблюдений восстановление прежней структуры протекало для всех гелей. Однако их прочность сильно зависела от содержания ПВС в геле. 5 баллов в течение 2-х месяцев дала система с ПВС – 2 % (5). Остальные – контроль (2) и 0.02 (3) и 1 % (4) дали 5 баллов в течение 7 дней, далее – 2 балла.

Слайд 8.

## Вискозиметрические исследования системы Цистеин- $\text{AgNO}_3$ -ПВС- $\text{Na}_2\text{SO}_4$



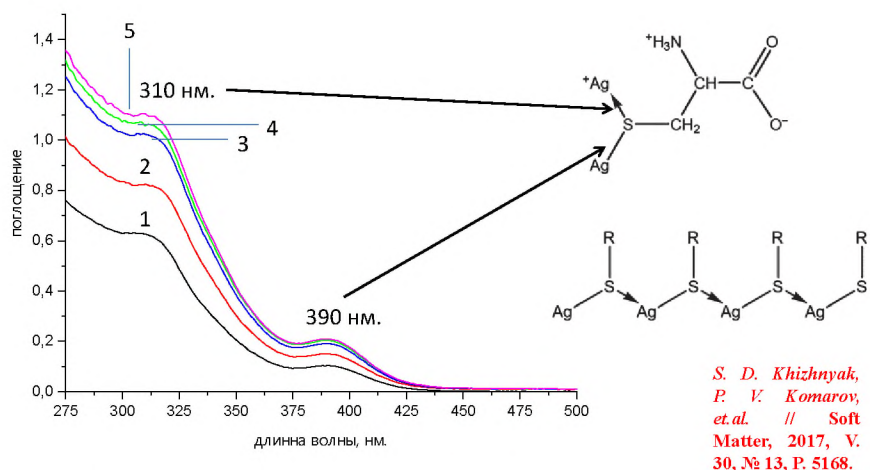
- 1 – ЦСП+ПВС(2.0%)+ $\text{Na}_2\text{SO}_4$
- 2 – ЦСП+ПВС(1.0%)+ $\text{Na}_2\text{SO}_4$
- 3 – ЦСП+ПВС(0.02%)+ $\text{Na}_2\text{SO}_4$
- 4 – ЦСП+ПВС(0.01%)+ $\text{Na}_2\text{SO}_4$
- 5 – ЦСП+ПВС(2.0%)
- 6 – ЦСП+ПВС(0.002%)+ $\text{Na}_2\text{SO}_4$
- 7 – ЦСП+ $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – контроль
- 8 – ЦСП



Слайд 9.



### УФ анализ системы Цистеин- $\text{AgNO}_3$ -ПВС- $\text{Na}_2\text{SO}_4$

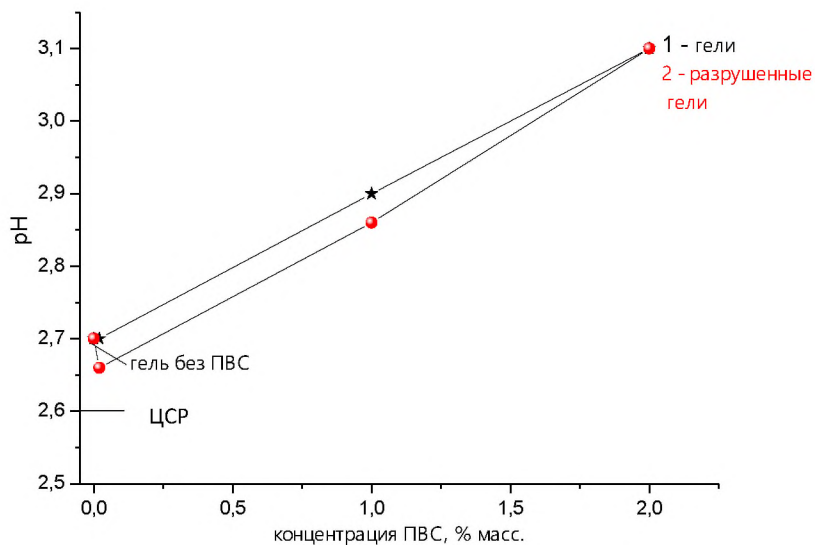


1 – ЦСП;  
 2 – ЦСП (0.01 % масс.) +  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (0.0001% масс.) – контроль;  
 3,4,5 – ЦСП (0.01 % масс.) + раствор ПВС (1.0, 0.02 и 2.0 % масс., соответственно) +  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (0.0001% масс.).

9

### Слайд 10.

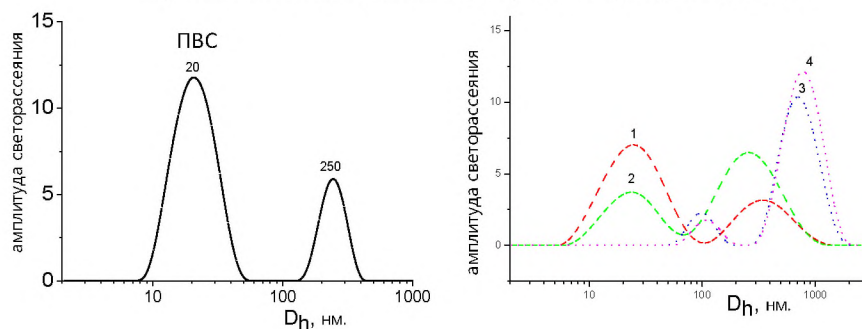
### рН метрия системы Цистеин- $\text{AgNO}_3$ -ПВС- $\text{Na}_2\text{SO}_4$



10

### Слайд 11.

### Изучение системы Цистенин- $\text{AgNO}_3$ -ПВС- $\text{Na}_2\text{SO}_4$ методом ДСР



Образец	$D_h$ , нм
ЦСР- $\text{Na}_2\text{SO}_4$	25 340
ЦСР-ПВС(0.02%)- $\text{Na}_2\text{SO}_4$	25 250
ЦСР-ПВС(1%)- $\text{Na}_2\text{SO}_4$	100 800
ЦСР-ПВС(2%)- $\text{Na}_2\text{SO}_4$	100 800

1 – ЦСР (0.01 % масс.) +  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (0.0001% масс.) – контроль  
 2,3,4 – ЦСР (0.01 % масс.) + раствор ПВС (1.0, 0.02 и 2.0 % масс., соответственно) +  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (0.0001% масс.).

11

Слайд 12.

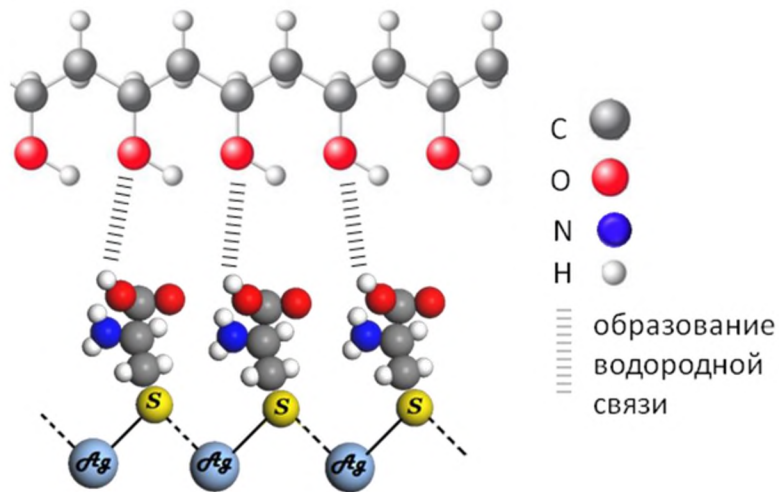
### Измерение электрохимических величин системы Цистенин- $\text{AgNO}_3$ -ПВС- $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Образец	$\xi$ , мВ	$\mu_p$ , мМсМ/Vs	$\sigma$ , мСМ/см
ЦСР	57,8	4,53	0,279
ЦСР+ $\text{Na}_2\text{SO}_4$	29,7	2,33	0,225
ЦСР+ПВС(0.02%)+ $\text{Na}_2\text{SO}_4$	30,9	2,42	0,240
ЦСР+ПВС(1.0%)+ $\text{Na}_2\text{SO}_4$	28,2	2,20	0,177
ЦСР+ПВС(2.0%)+ $\text{Na}_2\text{SO}_4$	34,3	2,69	0,157

12

Слайд 13.

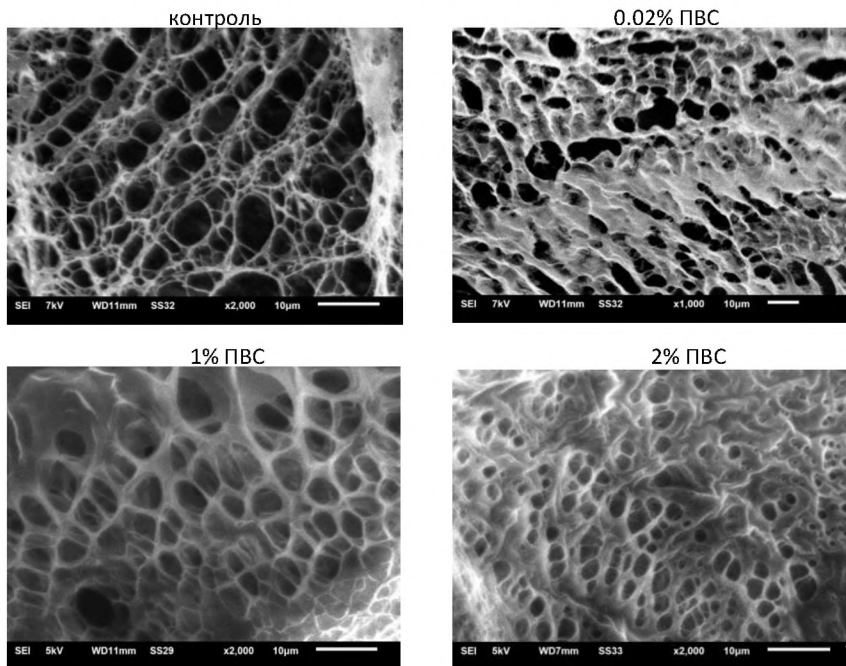
Предположительный механизм взаимодействий в системе Цистеин- $\text{AgNO}_3$ -ПВС- $\text{Na}_2\text{SO}_4$



14

Слайд 14.

Морфология (REM) системы Цистеин- $\text{AgNO}_3$ -ПВС- $\text{Na}_2\text{SO}_4$



Слайд 15.



Актуальным направлением является применение таких образцов в тканевой инженерии. Обычно они используются как переносчики для клеток и/или ростовых факторов, а их первоначальной задачей является поддержка роста и развития здоровой ткани, а также интеграция в окружающие ткани. В этой связи подложки должны быть биосовместимы с тканями хозяина, не выделять токсичных веществ или не вызывать явного воспалительного ответа.

Кроме того, макропористая структура гидрогеля может использоваться для адресной доставки различных биологически активных веществ к тканям организма. Например, мы можем инкапсулировать различные полианионы (ДНК, миРНК) путем их связывания положительно-заряженными частицами ЦСР, а уже образуемая структура будет инкапсулирована в матрице ПВС. При этом, доставку лекарственных веществ к определенным органам можно добиться, например, путем введения в поры нашего образца магнитных частиц.

16

Слайд 16.

### ВЫВОДЫ

- ✓ Установлена хорошая совместимость цистеинсеребряного раствора (ЦСР) с водным раствором поливинилового спирта (ПВС).
- ✓ Комплексным подходом, а именно методами вискозиметрии, УФ-спектроскопии, рН-метрии, динамического светорассеяния (ДСР), ИК-спектроскопии исследованы процессы самоорганизации в водном растворе L-цистеина, нитрата серебра и ПВС под действие сульфата натрия.
- ✓ Показано, что макромолекулы ПВС взаимодействует с супрамолекулами ЦСР путем образования водородных связей, при этом увеличение концентрации ПВС ведет к росту вязкости гидрогелей, более выраженным тиксотропным свойствам, росту интенсивности основных пиков, отвечающих за образование супрамолекулярных структур в ЦСР, увеличению значений рН, росту средних гидродинамических размеров частиц, падению электропроводности системы.
- ✓ Изучение морфологии полученных гидрогелей методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) выявило образование регулярной макропористой структуры. При этом, было показано, что увеличивая концентрацию ПВС, можно регулировать как плотность пространственной сетки геля, так и пористость композиции.
- ✓ Для самой высокой концентрации ПВС в системе (2 %) обнаружено образование суперпористой структуры. Обсуждаются возможности использования полученных объектов в качестве биоактивных композиций для инкапсулирования различных веществ.

17

**Шкала оценивания выполнения индикаторов:**

Индикатор считается выполненным, если либо во время текущей, аттестации студент набрал как минимум пороговое количество баллов за те виды активности, которые отвечают за данный индикатор.

№	Индикатор	Текущая аттестация		Зачет	
		Порог	Максимум	Порог	Максимум
1	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3 ПК-2.1 ПК-2.2	20	60	20	40

### **Шкала и критерии выставления оценок за дисциплину:**

Шкала и критерии выставления оценок «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно» описаны в локальной нормативной документации Тверского государственного университета (Положение о рейтинговой системе обучения студентов ТвГУ). Положительная оценка может быть выставлена только в том случае, если выполнены все индикаторы.

### ***Техника безопасности при работе в химической лаборатории***

1. Необходимо точно выполнять все указания преподавателя и лаборанта. Строго воспрещается проводить работы, не предусмотренные планом.
2. Не разрешается в лаборатории находиться в верхней одежде. В лаборатории необходимо быть в халате.
3. На рабочем столе должны находиться только те предметы, которые нужны в данное время для работы.
4. Студентам не разрешается оставлять реактивы на своих рабочих местах.
5. Все опыты с ядовитыми, неприятно пахнущими веществами, а также с концентрированными кислотами и щелочами производить только в вытяжном шкафу.
6. Опыты с легко воспламеняющимися веществами необходимо производить вдали от огня.
7. При нагревании растворов в пробирки всегда следует держать ее таким образом, чтобы отверстие пробирки было направлено в сторону 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 производить в вытяжном шкафу.
8. Не наклонять лицо над нагреваемой жидкостью или сплавляемыми веществами во избежание попадания брызг на лицо.
  9. Не следует вдыхать пахучие вещества, в том числе и выделяющиеся газы, близко наклоняясь к сосуду с этими веществами. Следует легким движением руки направить струю воздуха от отверстия сосуда к себе и осторожно вдохнуть.
  10. Брать щелочь разрешается только шпателем, щипцами или пинцетом. Необходимо тщательно убирать остатки щелочи с рабочего места. Те же меры необходимо соблюдать при работе с фосфорным ангидридом.
  11. При разбавлении концентрированных кислот, особенно серной, вливать кислоту в воду, а не наоборот.
  12. Остатки соединений редких и ценных металлов сливать в особые банки (взять у лаборанта).
  13. В раковину выливать только воду. Отходы следует сливать в специальные склянки.
  14. Нельзя ничего пробовать на вкус.
  15. Запрещается в лаборатории пить и употреблять пищу.

### ***Оказание первой помощи в лаборатории***

1. При попадании на кожу брызг кислоты или щелочи следует немедленно промывать сильной струей воды обожженное место в течение 5-10 минут. Затем обработать поверхность 2%-ным раствором гидрокарбоната натрия (при ожоге кислотой) или 1%-ным раствором уксусной кислоты (при ожоге щелочью).
2. Если кислота или щелочь попадут в глаза, то их немедленно нужно промыть водой, после чего разбавленным раствором питьевой соды (при попадании кислоты) или борной кислотой (при попадании щелочи).
3. При ожоге горячими предметами (стекло, металлы и т. п.) пораженное место следует смочить 1%-ным раствором перманганата калия.

### **V. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины:**

1.

#### ***а) Основная литература***

1. Супрамолекулярная химия: учеб. Пособие / О. А. Федорова. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2010. – 204 с. – Электронный ресурс. –

Режим доступа: [https://eknigi.org/estestvennye\\_nauki/136729-supramolekulyarnaya-ximiya.html](https://eknigi.org/estestvennye_nauki/136729-supramolekulyarnaya-ximiya.html)

2. Супрамолекулярные гели / П. М. Пахомов, С. Д. Хижняк, М. М. Овчинников, П. В. Комаров. — Тверской гос. университет Тверь, 2011. — 272 с. <https://istina.msu.ru/publications/book/51432016/>

#### **б) Дополнительная литература**

1. Супрамолекулярная химия. Пер. с англ. В 2-х томах. / Джонатан В. Стивд, Джерри Л. Этвуд. – М: ИКЦ «Академкнига», 2007 – Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://bookre.org/reader?file=485877>

#### **2. Программное обеспечение**

а) Лицензионное программное обеспечение:

- Microsoft Office профессиональный плюс 2013
- Microsoft Windows 10 Enterprise
- HyperChem
- Origin 8.1
- ISISDraw 2.4 Standalone

б) Свободно распространяемое программное обеспечение  
Google Chrome

#### **3. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

- ЭБС «ZNANIUM.COM» [www.znanium.com](http://www.znanium.com);
- ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <https://biblioclub.ru/>;
- ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com>

#### **4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины:**

1. Виртуальная образовательная среда ТвГУ (<http://moodle.tversu.ru>)
2. Научная библиотека ТвГУ (<http://library.tversu.ru>)

- <http://library.tversu.ru>
- <http://www.iprbookshop.ru/>
- <https://biblioclub.ru/>
- <https://www.nature.com/>
- <https://rd.springer.com/>

## VI. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины Учебная программа

*Введение.* Предмет курса.

*Тема 1.* Основные понятия. Основные направления и примеры супрамолекулярной химии.

*Тема 2.* Предмет супрамолекулярной химии. История становления как самостоятельной науки. Примеры супрамолекулярных ансамблей. Примеры влияния различных факторов на структуру и свойства супрамолекулярных ансамблей.

*Тема 3.* Основные виды межмолекулярных взаимодействий. Методы изучения невалентных взаимодействий. Конкретные примеры научных исследований в области супрамолекулярной химии за последние годы.

*Тема 4.* Понятие гелей и их классификация.

*Тема 5.* Супрамолекулярные гели.

*Тема 6.* Открытие супрамолекулярных гелей на основе L-цистеина и нитрата серебра.

*Тема 7.* Особенности процесса самоорганизации в системе L-цистеин-нитрат серебра.

*Тема 8.* Влияние электролитов на процесс гелеобразования в системе L-цистеин-нитрат серебра.

*Тема 9.* Влияние растворителей на процесс гелеобразования в системе L-цистеин-нитрат серебра.

*Тема 10.* Возможности практического использования супрамолекулярных гидрогелей.

*Тема 11.* Оценка современного состояния супрамолекулярных полиэлектролитных комплексов.

### Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Сравните скорости реакции Финкельштейна в воде и ацетоне? Где она больше и почему?
2. Сравните скорости реакции Меншуткина в гексане и хлороформе? Где она больше и почему?
3. Чем отличается супрамолекулярная химия от обычной?
4. Приведите пример супрамолекулярных систем в биохимии человека?
5. С помощью какого спектроскопического метода можно выявить и определить энергию водородной связи в какой-либо супрамолекулярной системе?



6. Почему структура льда высокого давления намного прочнее, чем структура обычного льда?
7. Приведите пример полиморфных модификаций для молекулы ДНК?
8. В каком виде существуют аминокислоты в гидрофобных матрицах и в водных средах и почему?
9. Что такое системы «гость-хозяин», приведите примеры?
10. Как можно разделить ионы натрия от ионов калия используя супрамолекулярную химию?
11. По какому принципу укладываются молекулы, в которых основным видом взаимодействий служат Ван-дер-Ваальсовы взаимодействия?
12. Какой основной вид взаимодействий возникает в супрамолекулярных системах, построенных из бензольных колец?
13. Что такое кооперативные взаимодействия? Объясните на примере структуры молекулы ДНК?
14. Что такое так называемая «сернистая молния»?
15. Нарисуйте полиморфные модификации парацетамола? В какой из них можно легко спрессовать порошок парацетамола в таблетку и почему?
16. Почему комплекс  $\text{Cu}^{2+}$  с водой менее прочный, чем с аммиаком?
17. Почему растворимость сложных супрамолекулярных систем в смесях растворителей обычно выше, чем в каком-то одном из них?
18. У вас есть супрамолекулярная система – интерполиэлектролитный комплекс полиакриламида с молекулой ДНК. На каком свойстве основана доставка ДНК в раковые клетки живого организма в случае данного комплекса, если известно, что рН здоровых клеток – 7,15, а в раковых среда закислена?
19. По какому принципу аккумулируется световая энергия в процессе фотосинтеза?
20. В чем заключаются преимущества так называемых соКРИСТАЛЛОВ в сравнении с обычными кристаллами?
21. Какую химическую природу должны иметь хозяева, если гостем является мочевины?
22. Что такое гель? Приведите примеры гелей природного и синтетического происхождения?
23. Перечислите области использования гелей в медицине и промышленности?
24. Нарисуйте зависимость степени набухания от времени для ограниченного и неограниченного набухания?
25. Объясните принцип действия ПАВов на примере их использования в качестве моющих средств?

26. В чем недостаток неэластичного геля с точки зрения морфологии?
27. Гель агар-агара является обратимым или необратимым гелем и почему?
28. Что такое химический и физический гели, приведите примеры?
29. Почему добавление ПАВ к растворам высокомолекулярных соединений понижает процесс гелеобразования последних?
30. Что такое тиксотропия?
31. Вязкость какой системы будет выше: глобулярные или фибриллярные белки в водном растворе и почему?
32. Где может использоваться процесс тиксотропии в промышленности и быту?
33. При каком значении pH размеры агрегатов биополимеров имеют наибольшую величину и почему?
34. Почему 5 % раствор поливинилового спирта в воде не желируется при комнатной температуре, а при температурах ниже нуля практически мгновенно?
35. На каком свойстве геля основано разделение веществ при диализе?
36. Как можно сконструировать из геля агар-агара батарейку?
37. Из чего производят мармелад? Суть образования геля в данном случае?
38. Почему полиэлектролитные гели обладают сверхпоглощением воды?
39. Что такое коллапс геля? Какие факторы его вызывают?
40. На чем основана доставка лекарств с использованием гелей в качестве носителей?
41. В чем механизм действия гидрогеля, останавливающего кровь?
42. Что добавляют в гидрогель НЕМА (гидроксиэтилметакрилат) для увеличения кислородопропускаемости?
43. Какие гели используют для эффективной добычи нефти и в чем механизм их действия?
44. Почему сверхвысокомолекулярный полиэтилен перерабатывают методом гель-формования?
45. В чем преимущество волокон, полученных из сверхвысокомолекулярного полиэтилена?
46. Каким показателям должен соответствовать материал в условиях работ на дальнем севере? Приведите пример такого материала?
47. Почему сверхвысокомолекулярный полиэтилен нельзя получить с помощью обычной радикальной полимеризации?
48. Что такое мицелла? Нарисуйте схему образования мицеллярной структуры на примере водного раствора додецилсульфата натрия?
49. Что такое фрактал? Нарисуйте схему образования фрактального кластера при желировании системы цистеин-нитрат серебра?

50. Что такое явление тиксотропии? Какие системы обладают данным явлением?
51. Объясните антибактериальный эффект ионов серебра (механизм действия)?
52. Дайте предположение: почему гель на основе цистеина и нитрата серебра может обладать более выраженными антисептическими и антибактериальными свойствами, чем просто раствор нитрата серебра?
53. Приведите полный поэтапный механизм процессов, происходящих при смешении водных растворов цистеина и нитрата серебра определенных концентраций и соотношений?
54. Почему цистеин способен желироваться в системе цистеин-нитрат серебра, а метионин нет?
55. Каким экспериментальным методом можно оценить прочность пространственной гель-сетки?
56. Какую информацию дает метод ИК-спектроскопии при изучении процесса гелеобразования в системе цистеин-нитрат серебра?
57. Какую информацию дает метод динамического светорассеяния при изучении процесса гелеобразования в системе цистеин-нитрат серебра?
58. Каким методом можно напрямую доказать образование фрактальных структур при гелеобразовании?
59. Известно, что L-цистеин может образовывать гели при смешении с нитратом серебра, а D-цистеин нет, с чем это может быть связано?
60. Какую информацию можно получить методом УФ-спектроскопии при изучении процесса гелеобразования в системе цистеин-нитрат серебра?
61. Какие взаимодействия могут возникать при взаимодействии цистеин-серебряного раствора с водным раствором полиэтиленгликоля?
62. Почему смешение полиакриловой кислоты и цистеин-серебряного раствора ведет к выпадению осадка?
63. Каков механизм гелеобразования при введении в систему цистеин-нитрат серебра электролитов, например сульфата или хлорида натрия?
64. С помощью какого метода можно установить участие сульфат аниона в процессе гелеобразования в системе цистеин-нитрат серебра?
65. С чем может быть связана причина образования геля в системе цистеин-нитрат серебра при введении хлорид аниона, в то время как при введении иодид аниона гель не образуется?
66. С чем может быть связан факт более долгого времени жизни гелей в системе цистеин-нитрат серебра при введении сульфат аниона по сравнению с хлорид анионом?

67. Почему при введении в водную систему цистеин-нитрат серебра-сульфат натрия, например диметилсульфоксида ухудшает процесс гелеобразования?
68. Какие гели используют для эффективной добычи нефти и в чем механизм их действия?
69. Почему сверхвысокомолекулярный полиэтилен перерабатывают методом гель-формования?
70. В чем преимущество волокон, полученных из сверхвысокомолекулярного полиэтилена?
71. Каким показателям должен соответствовать материал в условиях работ на дальнем севере? Приведите пример такого материала?
72. Почему сверхвысокомолекулярный полиэтилен нельзя получить с помощью обычной радикальной полимеризации?
73. Какими способами можно улучшить реологические характеристики гидрогелей на основе цистеина и нитрата серебра?
74. Какие процессы могут протекать при введении ДНК в систему цистеин-нитрат серебра?
75. Что можно ожидать при замене цистеина на цистин в процессе гелеобразования данной системы?

## **VII. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине:**

В ходе изучения дисциплины используется приборная база для проведения научных исследований физико-химическими методами анализа, которым располагают лаборатории кафедры физической химии химико-технологического факультета.

- компьютеры
- столы
- стулья
- доска учебная
- проектор

## **VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины**

№п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Реквизиты документа, утвердившего изменения
1.	Раздел V. Учебно-методическое и ин-	Дополнен список основной и дополнительной литера-	Протокол №11 от 28.04.21г. заседания уче-

	формационное обеспечение дисциплины	туры	ного совета химико- технологического факультета
2.			