



МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»)

ФАКУЛЬТЕТ ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
КАФЕДРА ХИМИИ, ЭКОЛОГИИ И МЕТОДИКИ ОБУЧЕНИЯ ХИМИИ

## Изучение понятий супрамолекулярной химии в школьном курсе химии и биологии

Выпускная квалификационная работа по направлению  
44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки)

Направленность программы бакалавриата

«Биология. Химия»  
Форма обучения очная

Проверка на объем заимствований:  
78,43 % авторского текста

Выполнила:  
Студентка группы ОФ-501/068-5-1  
Кочкина Ксения Валерьевна

Работа рекомендована к защите  
рекомендована/не рекомендована

« 28 » 05 2021 г.

Зав. кафедрой Химии, экологии  
и методики обучения химии  
(название кафедры)

Сутягин А.А.

Научный руководитель:

Канд. хим. наук, доцент

Сутягин Андрей Александрович

Челябинск  
2021

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ГЛАВА 1. СУПРАМОЛЕКУЛЯРНАЯ ХИМИЯ.....	8
1.1. Основные понятия супрамолекулярной химии .....	8
1.2. Понятие супрамолекулярной химии в содержании школьного образования .....	15
ГЛАВА 2. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ON-LINE РЕСУРСОВ, СВЯЗАННЫХ С ОПИСАНИЕМ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ СИСТЕМ И ОБЪЕКТОВ НАНОХИМИИ .....	33
2.1. Сайт Нанометр.ру. Нанотехнологическое сообщество.....	33
2.2. Органическая химия: веб-учебник .....	34
2.3. Сайт Наноград .....	35
2.4. VirtuLab – Виртуальная образовательная лаборатория .....	36
2.5. Сайт NANO NEWS NET – Нанотехнологии .....	37
2.6. Занимательная химия.....	37
2.7. Сайт ПостНаука.....	38
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКТА ЗАДАНИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ЗНАКОМСТВО С СУПРАМОЛЕКУЛЯРНОЙ ХИМИЕЙ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ .....	40
3.1. Примеры задач и заданий, направленных на расширение представлений о водородной связи и межмолекулярных взаимодействиях .....	40
3.2. Разработка задач и заданий, направленных на изучение объектов, относящихся к области супрамолекулярной химии, а также к их функциональной роли .....	45
3.3. Задания лабораторного характера .....	53
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ВНЕУРОЧНОГО МЕРОПРИЯТИЯ .....	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	65

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Пример задачи по химии для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) .....	70
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Веб-учебник «Органическая химия» .....	71
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Интерактивный ресурс «Наноград» .....	72
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Виртуальная образовательная лаборатория – VirtuLab ..	73
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Информационный ресурс «NANO NEWS NET – Нанотехнологии».....	74
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Информационный ресурс «Занимательная химии» .....	75
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Информационный ресурс «ПостНаука» .....	76

## ВВЕДЕНИЕ

Современный образовательный стандарт в качестве одного из требований к предметным результатам освоения курса «Химия» определяет сформированность представлений о месте химии в современной научной картине мира, понимание ее роли в формировании кругозора и функциональной грамотности человека для решения практических задач. Достижение этой задачи требует не только освоения понятийного аппарата химии, но и формирования представлений о химии, как развивающейся науке с обновляющейся системой знаний, базирующейся на основных классических понятиях. В то же время, несмотря на обновляющийся методический аппарат преподавания химии, обновление содержания курса химии практически не происходит. Современные учебники практически не раскрывают вопросов, связанных с новыми областями химических знаний, лишь поверхностно затрагивая этот вопрос.

В современном научном мире бытует мнение о том, что все фундаментальные открытия, в том числе, формирующие базис изучения химии, уже осуществлены. Так, приводятся данные о том, что с 1901 по 1913 г. Нобелевские премии по химии присуждались за выдающиеся фундаментальные работы, связанные с созданием новых областей химической науки, принципиально новых синтезов и новых химических элементов (основы химической кинетики, теория электролитической диссоциации, теория радиоактивного распада и т.д.). Большинство премий, присужденных в середине XX века также касается великих открытий (синтез аммиака, теория поверхностных явлений, открытие радиоактивности и т.д.), хотя их фундаментальная роль уже ниже, чем предшествующих работ. В конце XX века (с 1981 г.) по мнению автора Нобелевские премии присуждались коллективам авторов за хорошие, но не фундаментальные работы.

Знакомство с данным мнением, подкрепленное неизменностью содержания школьных учебников, может привести к представлению о том, что прогресс химической науки завершен, и происходит лишь внедрение предыдущих открытий в новые процессы, направленные на создание новых технологий (переход от фундаментальной науки к практикоориентированной).

Предотвращение возможности подобных представлений возможно за счет включения в содержание школьного химического образования знаний о новых разделах химической науки, в которых фундаментальный методологический аппарат химии не просто переносится на новые объекты, а приводит к расширению классического понятия и к его переходу на более высокий методологический уровень.

В упомянутой выше статье автор в качестве одного из примеров Нобелевской премии конца XX века (хороших, но не фундаментальных) приводит премию, присужденную в 1987 г группе ученых Д. Краму, Ж.-М. Лену и Ч. Педерсену за открытие краун-эфиров. В то же время, данное открытие нельзя отнести к просто хорошим. Синтез данного класса соединений стал толчком к созданию новых полостных систем и молекулярных ансамблей, переведя химию из молекулярной в надмолекулярную область. Результатом стало возникновение нового направления, переросшего в отдельную химическую науку – супрамолекулярную химию. Эта область химии не только развила свой понятийный аппарат и методы научных исследований. Благодаря супрамолекулярной химии произошел переход от молекулярного уровня на уровень организованных суперсистем, выступающих в качестве носителя молекулярной информации, на котором в абсолютно новом свете выступают известные молекулы и молекулярные агрегаты (ансамбли воды, молекула хлорофилла, ДНК).

Супрамолекулярная химия - это междисциплинарная область науки, включающая химические, физические и биологические особенности

молекулярных ансамблей, имеющих большую сложность, чем сами отдельные молекулы. Это изучение структур и функций супермолекул, которые возникают в результате межмолекулярных связывающих взаимодействий двух или более химических образований. В то время как традиционная химия фокусируется на ковалентной связи, супрамолекулярная химия исследует более слабые и обратимые нековалентные взаимодействия между молекулами. Этот класс взаимодействий охватывает широкий диапазон энергий связи, размеры супрамолекулярных ансамблей могут варьироваться от нанометров до микрометров. Как носитель молекулярной информации, супрамолекулярная химия дала толчок существенному развитию нанохимии – области науки, связанной с получением и изучением различных физико-химических свойств микрочастиц, которые могут иметь размеры в несколько нанометров.

Благодаря появлению супрамолекулярной химии и нанохимии произошло расширение знаний о границах познания мира и большом разнообразии вещественных структур. Это позволило расширить горизонты в направлении историко-научных и философско-методологических исследований в области конвергенции наук и технологий.

Термин «супрамолекулярная химия» отсутствует в школьных учебниках, несмотря на то, что примеры супрамолекулярных систем и супрамолекулярных взаимодействий в различных темах школьного курса химии достаточно распространены. Это дает возможность познакомить обучающихся с общими представлениями об этой относительно новой и бурно развивающейся области химических знаний.

Цель работы: определить место понятий супрамолекулярной химии в содержании школьного химического образования

Для достижения данной цели, необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить литературные источники, связанные с вопросами изучения понятий супрамолекулярной химии в школе.

2. Изучить содержание тем школьного курса химии, выделив в нем основные разделы, раскрывающие понятия супрамолекулярной химии и определить взаимосвязь понятий супрамолекулярной химии с ключевыми понятиями химии.

3. Подготовить комплект методических заданий, способствующих изучению понятий супрамолекулярной химии в различных темах школьного курса химии и биологии.

4. Изучить возможности использования ресурсов сети Интернет для изучения понятий супрамолекулярной химии.

Предмет исследования: изучение вопросов супрамолекулярной химии в школе.

Объект исследования: понятия супрамолекулярной химии в содержании школьного химического образования.

Практическая значимость работы заключается в подборе различных заданий и разработке списка онлайн – ресурсов для более подробного изучения понятий супрамолекулярной химии.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованных источников и приложения.

Работа изложена на 73 страницах, содержит 5 таблиц и 32 рисунка.

# ГЛАВА 1. ПОНЯТИЕ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНОЙ ХИМИИ В СОДЕРЖАНИИ ШКОЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

## 1.1. Основные понятия супрамолекулярной химии

Традиционная химия рассматривает вопросы, связанные с планированием и реализацией синтеза различных соединений и изучением их свойств на микроуровне видения объекта (молекулярный уровень). Развитие супрамолекулярной химии и нанохимии существенно расширило познание в предмете химия и всех смежных областей, выведя их на надмолекулярные представления.

Супрамолекулярная химия – это химия мультимолекулярных или полимолекулярных, устойчивых образований, создаваемых на основе нековалентных взаимодействий. Для супрамолекулярных систем выделяют три главных свойства – это кооперативность, селективность и распознавание. Для наносистем, связанных с супрамолекулярной химией, кроме этого выделяют размерные эффекты [9].

Началом возникновения супрамолекулярной химии как самостоятельной науки со своими объектами, понятиями и задачами считают 1978 г., когда были подробно изучены первые ионофорные соединения – комплексы полостных систем с ионами металлов. Дальнейшее развитие супрамолекулярной химии привело к созданию молекулярных и супрамолекулярных устройств – структурно-организованных и функционально интегрированных химических систем, базирующихся на определенной пространственной организации специфических компонентов, встроенных в супрамолекулярные структуры. Супрамолекулярные устройства образуются из компонентов, которые связаны между собой ковалентными и нековалентными связями [8].

Объектами изучения супрамолекулярной химии могут быть различные супрамолекулярные ансамбли, которые могут самопроизвольно строиться из практически одинаковых фрагментов в клетке. Супрамолекулярные



образования могут обобщаться различным пространственным расположением своих компонентов и видами межмолекулярных взаимодействий, которые удерживают эти компоненты вместе. Супрамолекулярные ассоциаты могут быть менее стабильными в термодинамическом аспекте и более гибкими в динамическом из-за того, что межмолекулярные взаимодействия слабее чем ковалентные связи [16].

Как и в любой другой области знания супрамолекулярная химия сформировала свои понятия. Если в молекулярной химии образование одной молекулы происходит за счет пары электронов, объединяющей атомы в молекулу (ковалентное связывание), то в супрамолекулярной химии ансамбли и молекулярные агрегаты образуются за счет нековалентных взаимодействий, при которых ковалентно организованные структуры объединяются в системы супрамолекул (супермолекул) (рисунок 1).



Рисунок 1 – Объекты молекулярной (а) и супрамолекулярной (б) химии

Исходными компонентами, взаимодействующими друг с другом при образовании супрамолекулы, выступают субстрат и рецептор (лиганд). Если в качестве рецептора выступает полостная система, а субстрат представляет собой молекулу, встраивающуюся внутрь этой полости, то говорят о взаимодействии гостя и хозяина. Например, при образовании молекулы порфирина происходит связывание катиона металла (субстрата, гостя) с кольцом протопорфирина (рецептор, хозяин), как показано на рисунке 2:

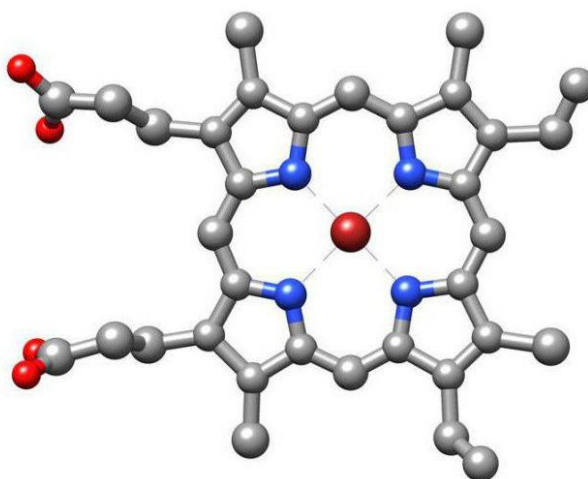


Рисунок 2 – Схема порфирина

Через координацию с центральным атомом металла может происходить ассоциация других органических молекул, при этом образуется молекулярный ансамбль или молекулярный агрегат. Например, таким путем могут образовываться ассоциации с полимерными молекулами, которые содержат аминогруппы, карбоксильные и карбонильные группы. Процесс образования комплексов между органическими молекулами (субстраты) и белками (рецепторы) носит название интеркаляция (рисунок 3):

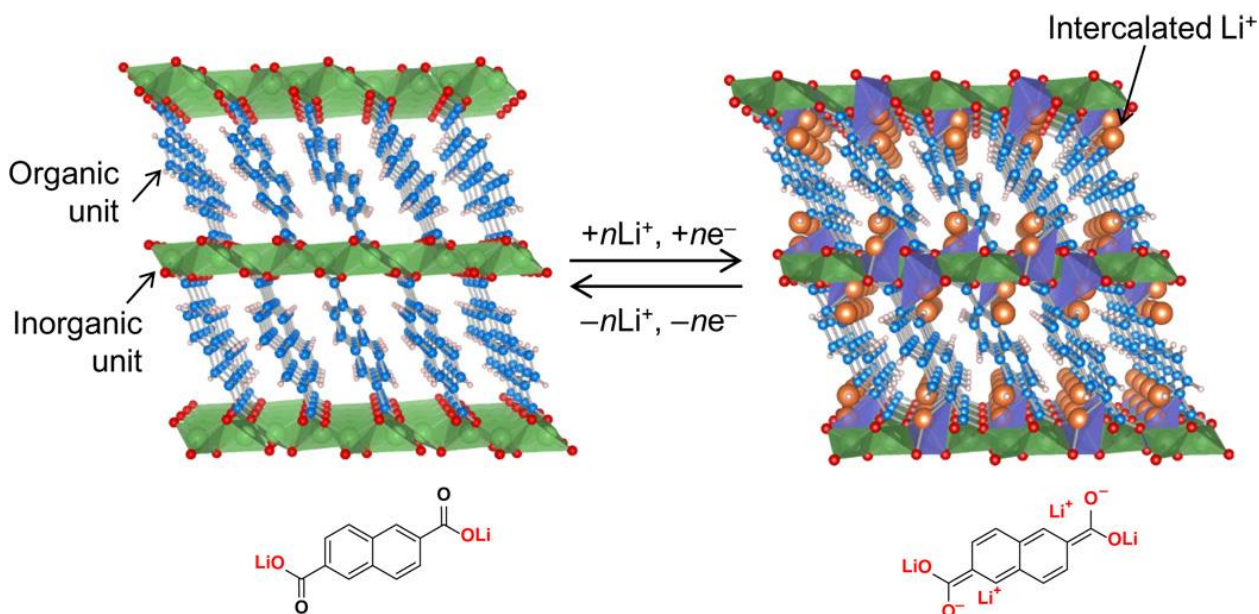


Рисунок 3 – Схема интеркалирования ионов лития

Образование супрамолекулярных комплексов – это самопроизвольный процесс, при котором происходит взаимодействие компонентов, самопроизвольно организующихся в комплексы с определенной

архитектурой. Следствием такого процесса является формирование продуктов самоорганизации – клатратов и кавитатов.

Клатрат – это продукт взаимодействия молекулы – хозяина с субстратом - гостем, при котором последний координируется определенным образом во внутримолекулярной полости (рисунок 4):

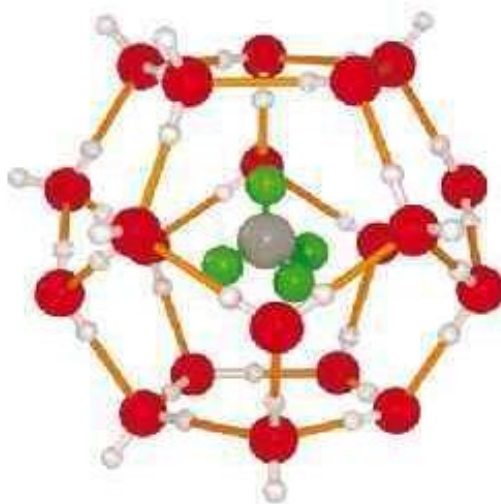


Рисунок 4 – Клатрат метана в структуре льда

Кавитат – «молекулы-хозяева», координирующие субстрат в межмолекулярных плоскостях (рисунок 5):

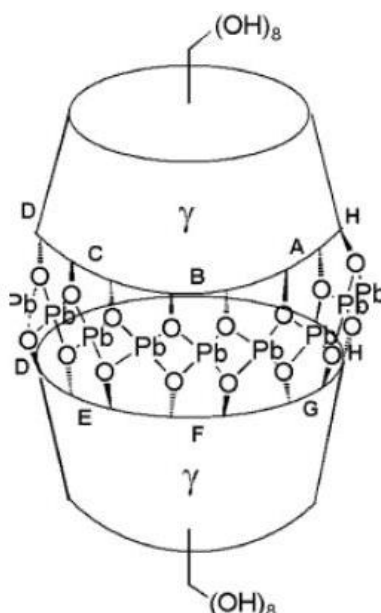


Рисунок 5 – Структура кавитата циклодекстрина с оксидом свинца

Клатраты и кавитаты в литературе также называют как соединения включения, комплексы, ассоциаты, соединения типа «гость-хозяин», супрамолекулярные ансамбли.

Связывание молекул в ансамбли происходит за счет нековалентных связей:

- электростатическое взаимодействие,
- водородные связи,
- Ван-дер-Ваальсовы силы,
- стэкинг-взаимодействия,
- координационные связи.

При образовании металлоорганических комплексов большую роль играет координационная связь, при образовании которой центры одной молекулы выступают в качестве доноров электронной пары, а центр другой молекулы – источник вакантной орбитали (акцептор).

Одним из видов координационной связи является водородная связь. Благодаря ее образованию, атомы водорода могут связываться с атомами сильно электроотрицательного элемента (кислород, азот, галогены). Например, при образовании водородной связи между протонами аммония и атомами кислорода в краун-эфире происходит координация атома азота в составе четвертичной аммониевой соли с краун-эфирным макроциклом (рисунок б):

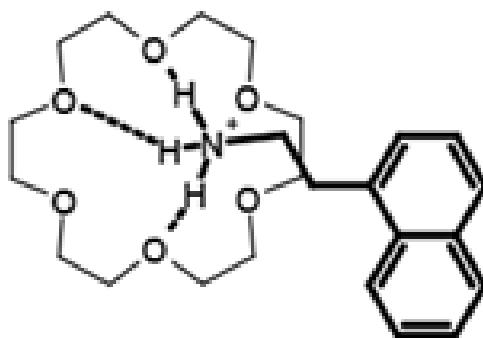


Рисунок б– Комплекс катиона аммония с краун-эфиром

Важную роль при образовании супрамолекулярных систем играют диполь-дипольные взаимодействия, вызванные наличием в полярной

молекуле большого дипольного момента, формирующего разноименные заряды на различных полюсах молекулы. Дипольный момент можно определить как зависимую величину заряда от длины молекулы. Положительные концы одной молекулы могут ассоциироваться с отрицательными концами другой молекулы, связываясь межмолекулярными диполь-дипольными взаимодействиями (рисунок 7). Энергия диполь-дипольного взаимодействия находится в пределах 5-50 кДж/моль.

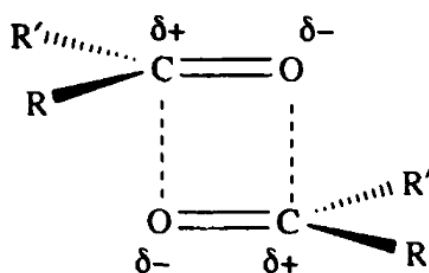


Рисунок 7 – Молекулярная ассоциация карбонильных соединений за счет диполь-дипольных взаимодействий

Между нейтральными молекулами так же могут возникнуть силы притяжения и отталкивания – взаимодействия Ван-дер-Ваальса. Все нейтральные молекулы под действием внешних факторов могут в какой-либо степени поляризоваться и в этом состоянии взаимодействовать с другой молекулой. Поляризуемость молекул обуславливается способностью деформации внешнего электронного облака. В результате может возникнуть притяжение с выделением энергии (рисунок 8):

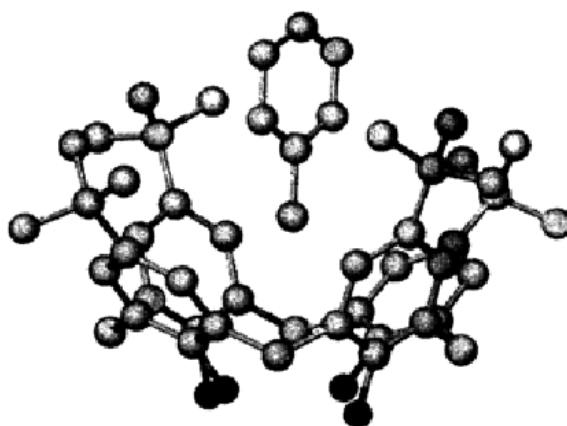


Рисунок 8 – Образование комплекса каликсарена с толуолом за счет сил Ван-дер-Ваальса

Для построения супрамолекулярных ансамблей используются и слабые взаимодействия, например, гидрофобные взаимодействия.

Амфифильными называются вещества, которые в своей структуре имеют полярные и неполярные группы. Например, жиры, фосфолипиды и желчные кислоты (рисунок 9):

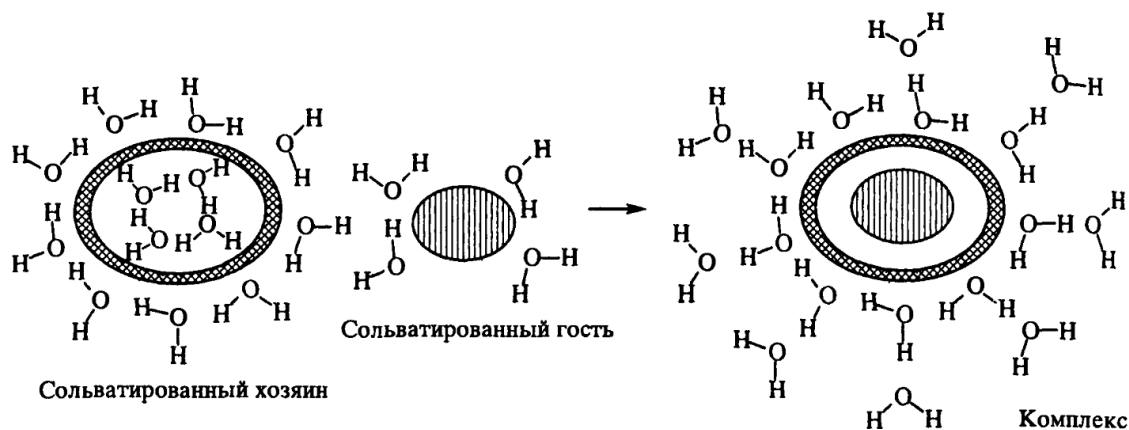


Рисунок 9 – Гидрофобное связывание органического гостя полостной молекулой из водного раствора

Слабое электростатическое взаимодействие, характеризующееся очень низкой энергией связи 0-50 кДж/моль называется  $\pi$ - $\pi$ -стэкинг. Оно возникает между кольцами электронно-насыщенного ароматического соединения и соединения, которое испытывает недостаток электронной плотности (рисунок 10):

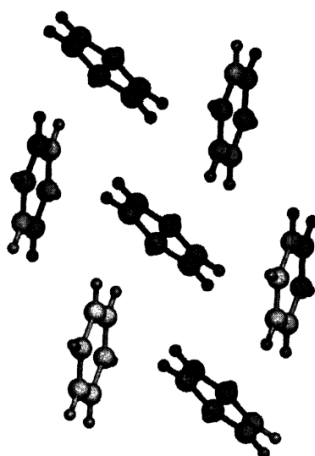
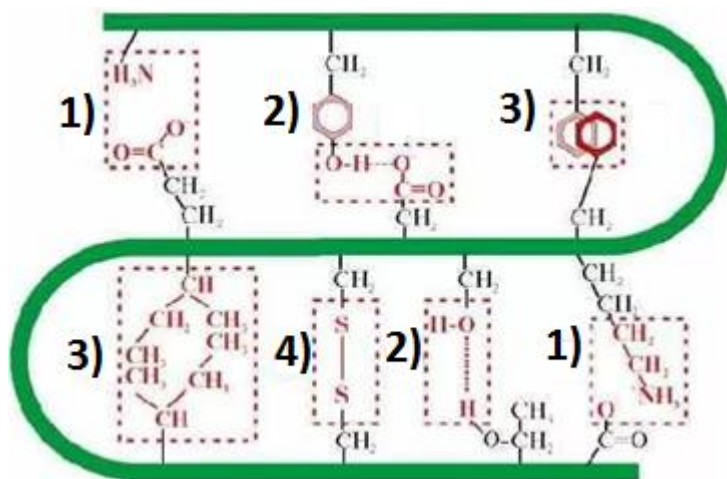


Рисунок 10 – Образование елочковой структуры бензола за счет  $\pi$ - $\pi$ -стэкинга

За счет совокупности взаимодействий, участвующих в формировании супрамолекулярных систем, происходит образование сложноорганизованной

структуры белковой молекулы. Первичная структура белка представляет собой последовательность аминокислотных остатков, связанных между собой ковалентными пептидными связями. Образование вторичной структуры идет за счет водородных связей между разными фрагментами полипептидной цепи. Вторичная структура белка стабилизирована из-за спирали, которая содержит 4 аминокислотных остатка в одном витке, удерживаемые  $\pi$ - $\pi$ -стэкинг и гидрофобными взаимодействиями. В стабилизации третичной структуры белка принимают участие ковалентные дисульфидные связи между остатками цистеина, водородные связи и гидрофобные взаимодействия (рисунок 11):



1) ионная; 2) водородная; 3) гидрофобное взаимодействие; 4) дисульфидная  
 Рисунок 11 – Участие различных типов связей в формировании третичной структуры белка

Благодаря разнообразию межмолекулярных взаимодействий органические молекулы в природной среде, в том числе, в живых организмах, формируют различные по структуре и составу молекулярные ансамбли.

## 1.2. Понятие супрамолекулярной химии и нанохимии в содержании школьного образования

Ж.-М. Лен дал представление о супрамолекулярной химии как науке о молекулярной информации, то есть набору «инструкций» о порядке действий и условиях, необходимых для создания сложных молекулярных ансамблей и

агрегатов. При этом информация об этих условиях изначально заложена в структуре связывающихся молекул, а конечный результат воздействующих факторов отражен в структуре образующегося продукта взаимодействия и его функциональных возможностях.

Несмотря на то, что супрамолекулярная химия непосредственно не изучается в школьном курсе химии, супрамолекулярные системы окружают нас повсюду и находятся внутри нас. Школьник сталкивается с их примерами, не подозревая о том, что рассматриваемый им объект является супрамолекулярным. Природа предоставляет нам наиболее впечатляющие примеры супрамолекулярной химии, рассматриваемые, в том числе, в школьных учебниках химии и биологии. Комплекс фермент-субстрат, структура ДНК с ее сложными механизмами упаковки и процессом репликации, белок-белковые взаимодействия – все это примеры действующей супрамолекулярной химии. Супрамолекулы, такие как гемоглобин, хлорофилл, витамин В12, могут выступать в качестве яркой демонстрации проявления супрамолекулярных эффектов.

Содержание школьных учебников основано на одном из базовых понятий «химический элемент», при этом поэтапно раскрываются понятия об атомах, переходя на уровень молекул, простых и сложных веществ как ассоциатов молекул. Внимание также уделяется представлениям о макромолекулах, формирующихся на основе взаимодействия молекулярных структур. Термины «супермолекула», «супрамолекула», «супрамолекулярная система» в школьных учебниках отсутствует.

В основе супрамолекулярной химии лежат представления о химическом взаимодействии и природе химической связи. Представления о природе химической связи и механизмах ее образования закладываются на начальных этапах изучения химии в 8 классе, а понятие «химическая связь» выступает как сквозное понятие, пронизывающее весь курс обучения, конкретизируясь практически в каждой теме. Конкретизация и закрепление механизмов образования различных типов химической связи происходит в 11



классе, когда уровень подготовки детей позволяет проводить сравнение разных типов связи и делать вывод об их влиянии на природу вещества. В данном случае важнейшим понятием с позиции раскрытия представлений супрамолекулярной химии является изучение различных типов кристаллических решеток, определяющих конечные свойства совокупности связывающихся частиц. В школьном курсе не предполагается подробное рассмотрение сложных супрамолекул, но межмолекулярные взаимодействия, способствующие их образованию, рассматриваются на уровне на уровне достаточно простых систем. Например, кубическая кристаллическая решетка хлорида натрия, в которой каждый катион натрия окружен шестью анионами хлора, выступает в качестве примера ионный взаимодействий, участвующих в формировании супермолекул (рисунок 12):

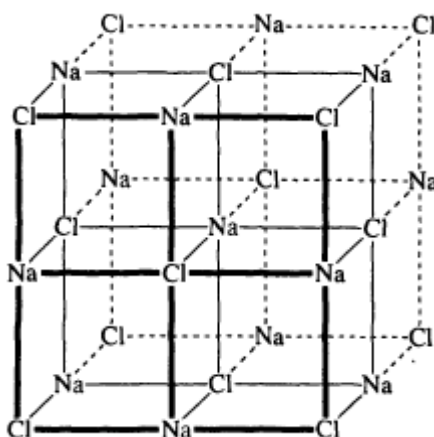


Рисунок 12 – Ионная кристаллическая решетка хлорида натрия

Сама по себе данная кристаллическая структура не может выступать как пример супрамолекулярной системы, так как в основе ее формирования лежит уровень меньший, чем молекула. В то же время, данная демонстрация может выступать в качестве модели более сложных супрамолекулярных систем.

Школьным примером, более приближенным к понятиям супрамолекулярной химии, выступает процесс образования гидратированных ионов в реакциях электролитической диссоциации. Так, образование гидратной оболочки катионов металлов (рисунок 13 а) путем ион-дипольного

взаимодействия близко к образованию комплексов краун-эфиров с аналогичными катионами (рисунок 13 б):

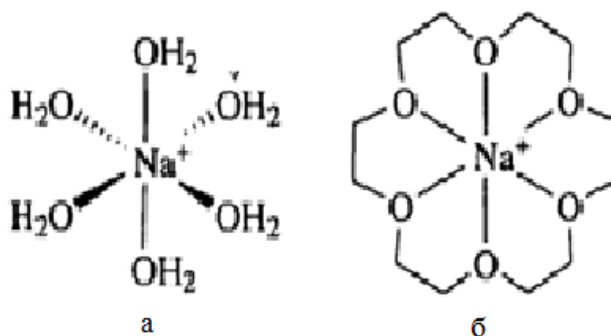


Рисунок 13 – Гидратная оболочка катиона натрия (а) и связывание катиона натрия краун-эфиром (б)

При таком подходе процесс растворения хлорида натрия можно рассматривать как демонстрацию перехода от молекулярного уровня к супрамолекулярному.

Еще одним ярким примером является изучение кристаллической структуры льда, в образовании которой принимают участие водородные связи. За счет них формируется полостная структура, способная включать в свое внутреннее пространство небольшие молекулы. Так, в школьном курсе рассматривается возможность образования клатратов метана в структуре льда (рисунок 4, с. 10).

Потенциал для раскрытия понятий супрамолекулярной химии дает изучение органической химии, которое преимущественно реализуется в 10 классе. Так, положения теории строения органических соединений, демонстрация которых в школе реализуется на уровне ковалентно связанных молекул, может раскрываться и на примерах супрамолекулярных взаимодействий, при этом происходит конкретизация важнейших химических понятий.

Первое положение теории строения органических соединений А.М. Бутлерова говорить о том, что атомы углерода в молекуле связаны согласно их валентности, а валентность углерода всегда равна четырем. В то же время, при изучении механизмов реакции на профильном уровне рассматривается процесс образования  $\pi$ -комплексов, например, в реакциях

электрофильного присоединения к молекулам ненасыщенных углеводородов (рисунок 14 а) или в реакциях электрофильного замещения в ароматическом кольце (рисунок 14 б):



Рисунок 14 – Структура  $\pi$ -комплексов этиленового углеводорода (а) и бензола (б)

При рассмотрении данного процесса важно объяснить, что связывание (взаимодействие с дополнительной частицей) не приводит к изменению валентности атома углерода. Образование  $\pi$ -комплексов в данном случае может быть рассмотрено как простейшая модель супрамолекулярного взаимодействия.

Второе положение теории А.М. Бутлерова говорит о том, что свойства веществ определяются химическим строением. Демонстрацией этого положения в школьном курсе является описание различной реакционной способности изомеров в одностипных реакциях. Например, при рассмотрении механизмов реакций нуклеофильного замещения на профильном уровне демонстрируется, что третичные алкилгалогениды намного сложнее вступают в реакции бимолекулярного нуклеофильного замещения по сравнению с первичными по причине сложности перехода молекулы в планарное положение для образования переходного состояния и возникающих пространственных затруднений (рисунок 15):

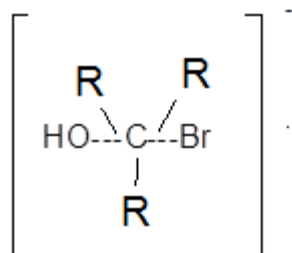


Рисунок 15 – Планарное расположение в структуре переходного состояния в реакциях  $S_N2$

В данном случае демонстрируется одно из важнейших понятий супрамолекулярной химии – предорганизация молекул. Еще в 1906 г. П. Эрлих показал, что молекулы не способны вступать в реакцию, если между ними не образуются определенные типы связей. Поэтому для того, чтобы реакция прошла, молекула должна принять такое структурное состояние, при котором возможно взаимодействие (молекула должна быть предорганизована). Еще более ярко данное положение демонстрируется при изучении действия ферментов в курсе биологии. Отличительной особенностью ферментов от небиологических катализаторов является селективность (избирательность) их действия: один фермент катализирует одну реакцию. В основе данной особенности, выступающей в качестве важнейшего свойства ферментов, лежит сформулированный Э. Фишером в 1894 г. принцип «ключ – замок», исходя из которого специфичность действия фермента обусловлена структурным соответствием связывающихся участков рецептора и субстрата (рисунок 16):



Рисунок 16 – Схема взаимодействия «фермент – субстрат» при ферментативном катализе

На данном примере демонстрируется принцип молекулярного распознавания, лежащий в основе функционирования супрамолекулярных систем как информационных носителей.

Третье положение теории А.М. Бутлерова говорит о том, что свойства соединения определяются не только строением, но и взаимным влиянием атомов и группировок в молекуле. В рамках изучения органической химии на профильном уровне это положение, демонстрируется, например, при изучении направления замещения в ароматическом кольце для производных

бензола. При изучении супрамолекулярных систем этот эффект может быть углублен. Так, при образовании соединений включений происходит изменение свойств как гостя, так и хозяина. Механизм действия ферментов, демонстрируемый на уроках биологии, также демонстрирует изменение реакционной способности молекулы при образовании активных комплексов «фермент – субстрат». Таким образом, изучаемый в школьном курсе биологии механизм ферментативного катализа выступает в качестве яркого примера супрамолекулярного взаимодействия, реализуемого на уровне работы живого организма. Механизмы этого взаимодействия могут быть конкретизированы при изучении курса органической химии в разделе «Биологически активные соединения». В рамках этого же раздела, помимо изучения темы «Ферменты» рассматриваются свойства витаминов, гормонов и лекарственных препаратов. Эффективность и направленность действия данных групп биологически активных соединений во многом обусловлена супрамолекулярными эффектами, которые используются в практической деятельности человека для повышения качества применяемых препаратов в медицине.

В рамках изучения курса органической химии, как уже указывалось ранее, само понятие супрамолекулярной химии не рассматривается, но уделяется внимание некоторым объектам супрамолекулярной химии. Например, в теме «Химические свойства спиртов» уделено внимание получению простых эфиров путем межмолекулярной дегидратации спиртов, либо по реакции Вильямсона. При этом уделяется определенное внимание свойствам образующихся простых эфиров, среди которых могут быть рассмотрены краун-эфиры, выступающие как представители супрамолекулярных систем. При изучении химических свойств многоатомных спиртов изучается реакция взаимодействия со свежесажженным гидроксидом меди (качественная реакция на многоатомные спирты), продуктом которой является хелатный комплекс катиона меди со спиртом (рисунок 17):

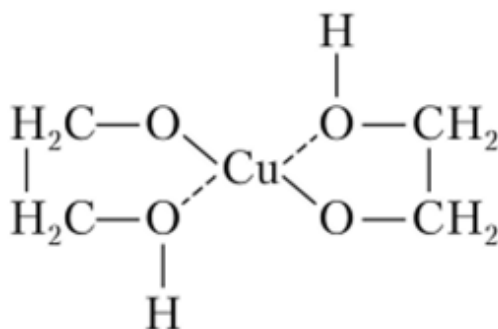


Рисунок 17 – Структура хелатного комплекса меди с этиленгликолем

Изучая свойства кислородсодержащих органических соединений, рассматривают изменение свойств отдельных классов соединений в зависимости от реализации связывания с участием водородных связей. Так, изменение температур кипения при переходе от спиртов к альдегидам, а затем к карбоновым кислотам (падение температуры кипения с последующим возрастанием) объясняется вкладом водородных связей в образование молекулярных агрегатов. Молекулы карбоновых кислот, например, могут образовывать устойчивые структуры разных типов, что существенно повышает температуру кипения молекул (рисунок 18):

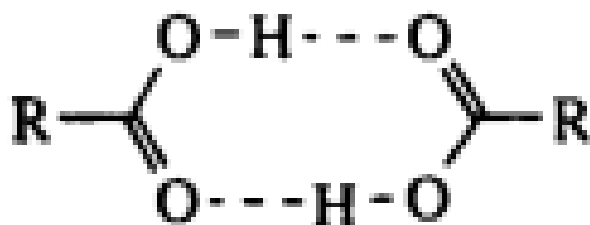


Рисунок 18 – Образование димеров карбоновых кислот за счет водородных связей

В дальнейшем роль водородных связей еще более широко изучается при рассмотрении свойств биологически активных соединений, в частности, белков. Так, формирование вторичной структуры происходит за счет участия водородных связей (рисунок 19).

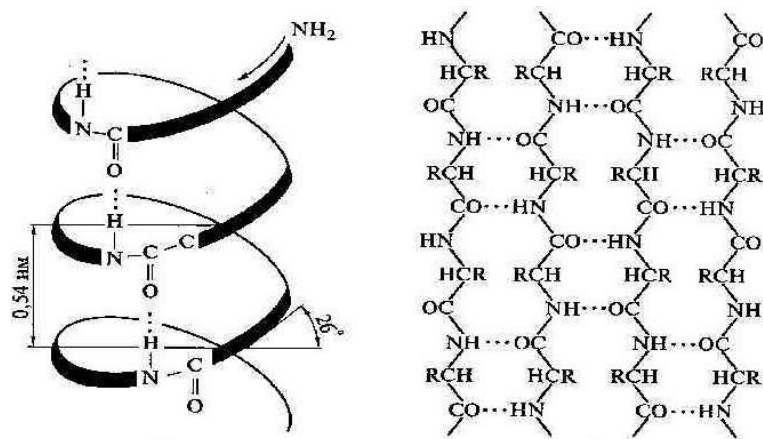


Рисунок 19 – Формирование вторичной структуры белка на основе водородных связей

Одним из примеров процессов с участием супрамолекулярных систем в живом организме выступает биосинтез белка на рибосомах. Изучение строения и свойств белков – особая область, объединяющая идеи и методы биологии, медицины, химии и физики. В школьном курсе химии строение аминокислот, пептидов и белков изучается в курсе органической химии в разделе «Азотсодержащие органические соединения». Изучение этих соединений происходит также в курсе биологии при рассмотрении рибосомы как органеллы клетки. При этом можно отметить разрозненность изучения белков и аминокислот по времени.

Белки составляют материальную основу химической деятельности клетки. Понятия супрамолекулярной химии проявляются, как в биосинтезе белка, так и в построение белковых структур. Одной из самых актуальных проблем современной биомедицины является изучение молекулярных механизмов функционирования рибосом и целенаправленная разработка новых типов антибиотиков.

Функции белков в природе универсальны. Среди них различают ферменты, гормоны, структурные (кератин, фиброин, коллаген), транспортные (гемоглобин, миоглобин), двигательные (актин, миозин), защитные (иммуноглобулины), запасные (казеин, яичный альбумин) белки-токсины (змеиные яды, дифтерийный токсин). При этом, в большинстве

случаев данное функционирование проявляется на уровне супрамолекулярных эффектов.

Еще более ярко роль супрамолекулярных взаимодействий проявляется при рассмотрении принципа комплементарного связывания друг с другом соответствующих азотистых оснований в структуре нуклеиновых кислот (рисунок 20), при котором между адениновым и тиминным нуклеотидом возникают две водородные связи, а между цитозинным и гуаниновым нуклеотидом возникает тройная связь:

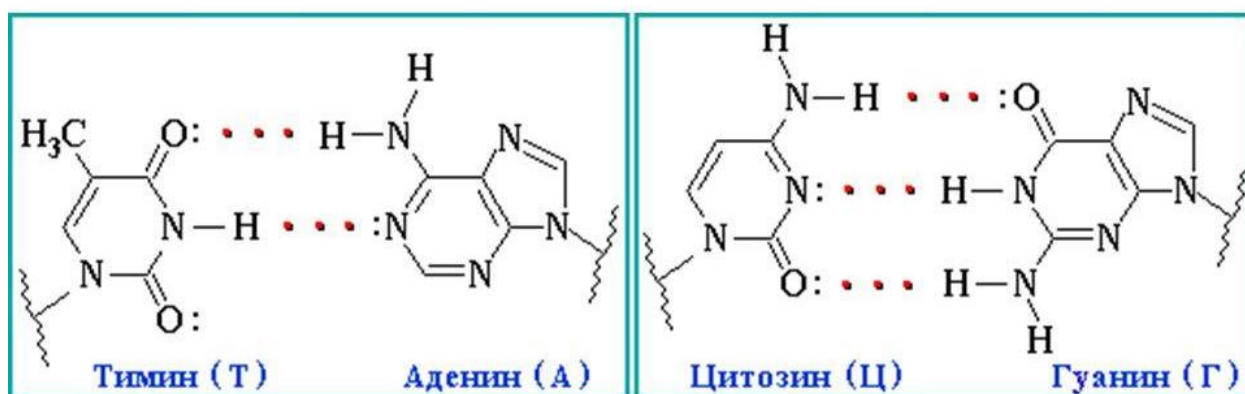


Рисунок 20 – Принцип комплементарности азотистых оснований

Принцип комплементарности, водородные связи и другие виды межмолекулярного взаимодействия изучаются параллельно с изучением органической химии в разделе «Клетка» школьного курса биологии 10 класса, а также конкретизируются в теме «Водородная химическая связь» раздела «Строение вещества» курса химии 11 класса.

Нуклеиновые кислоты выступают в качестве важнейшего примера гигантских супрамолекулярных структур. Так, структура ДНК построена из двух комплементарно связанных водородными связями полинуклеотидных цепей, самоорганизующихся в ядре живой клетки в компактную надмолекулярную структуру (рисунок 21).



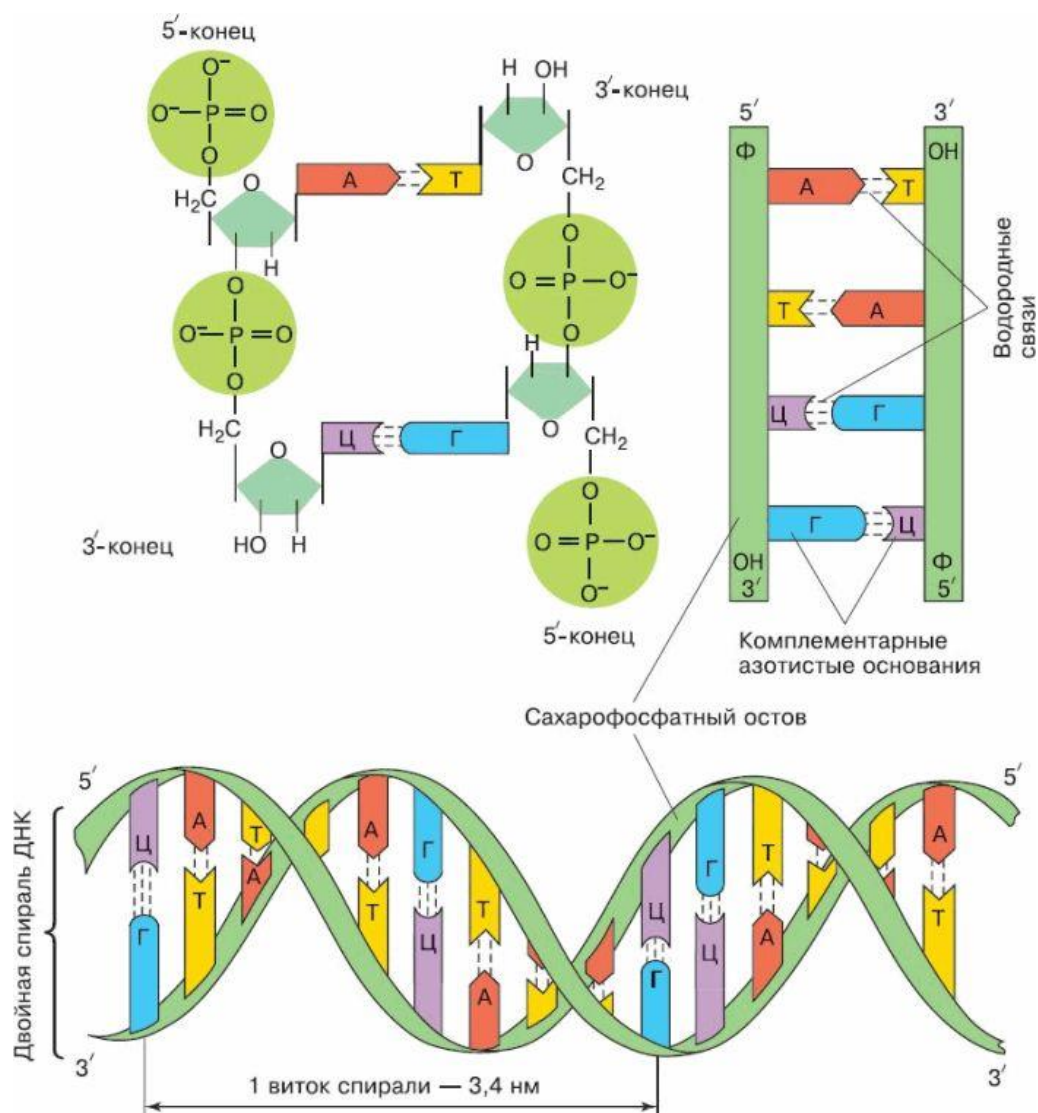


Рисунок 21 – Двойная спираль ДНК

Образование двойной спирали ДНК основано на принципе комплементарности (правило Чаргаффа), обусловленном супрамолекулярными эффектами. Водородные связи способны разрываться при самоудвоении ДНК. В этом случае образовавшиеся цепи могут достроиться до новой дочерней молекулы ДНК за счет принципа комплементарности. Со способностью ДНК распознавать другие молекулы связаны основные генетические процессы – репликация, транскрипция и рекомбинация. Один из примеров молекулярного распознавания в живой природе – способность организма поддерживать свою целостность и биологическую индивидуальность путём распознавания, отторжения и уничтожения молекул чужеродных веществ при участии белковых рецепторов (иммунитет).

В природе супрамолекулярные объекты встречаются преимущественно в живых организмах, где благодаря специфическим структурным особенностям выполняют функции хранения, передачи и реализации генетической информации, служат переносчиками других частиц, биокатализаторами, осуществляют матричный синтез. В результате супрамолекулярная химия позволяет под новым углом рассмотреть биологически активные соединения, изучаемые в школьном курсе химии и биологии. Так, в качестве супрамолекулярных систем могут быть рассмотрены порфирины. Например, хлорофилл – супрамолекулярная система, в которой катион магния координирован с атомами азота порфиринового кольца за счёт сил кислотно-основного взаимодействия и Ван-дер-Ваальсовых сил (рисунок 22):

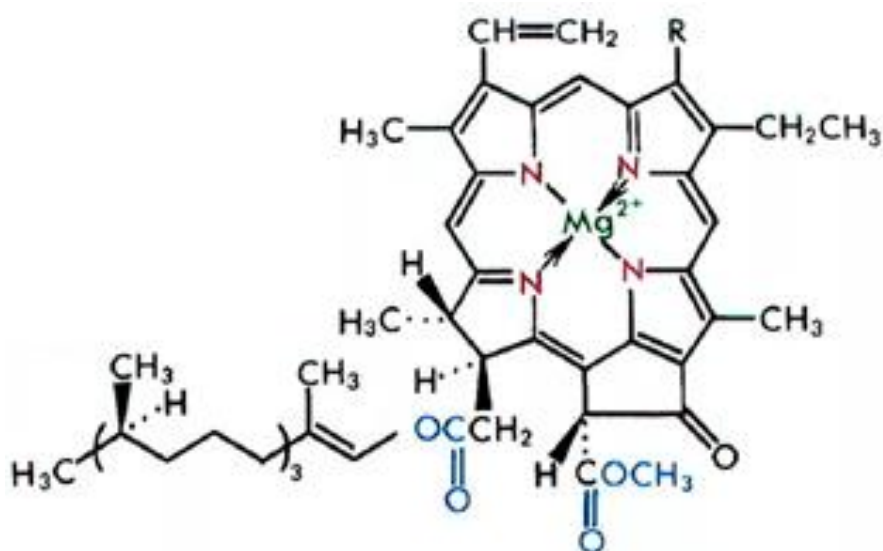


Рисунок 22 – Структура хлорофилла

Процесс фотосинтеза с участием хлорофилла выступает как избирательный супрамолекулярный процесс переноса световой энергии определенного спектра по системе сопряженных химических связей с ее преобразованием в энергию химических связей. Изучение процесса фотосинтеза как сочетания физического, химического и биологического процессов происходит в курсе биологии при изучении тем «Пластический обмен. Фотосинтез».

На примере хлорофилла супрамолекулярные эффекты могут быть продемонстрированы наглядно в рамках лабораторных работ. Так, способность хлорофилла в спиртовом растворе сохранять окраску в щелочной среде и изменять ее в кислой среде (образование феофитинов и феофорбидов) и восстановление окраски при действии катионов металлов (цинка, меди, ртути) демонстрирует супрамолекулярное связывание металла порфириновым кольцом.

В данном опыте можно провести аналогию с простым экспериментом с краун-эфирами: при смешивании бензольного раствора краун-эфира с водным раствором перманганата калия наблюдается переход малиновой окраски в бензольный раствор, несмотря на то, что перманганат калия не растворяется в бензоле. Подобный эффект связан с нековалентным связыванием катионов калия полостью краун-эфира с одновременным переносом эквивалентного количества перманганат-анионов в бензольную среду.

К биологически важным структурам, подобным хлорофиллу и изучаемым, прежде всего, в школьном курсе биологии, относятся гемоглобин (рисунок 23) и витамин В12 (рисунок 24).

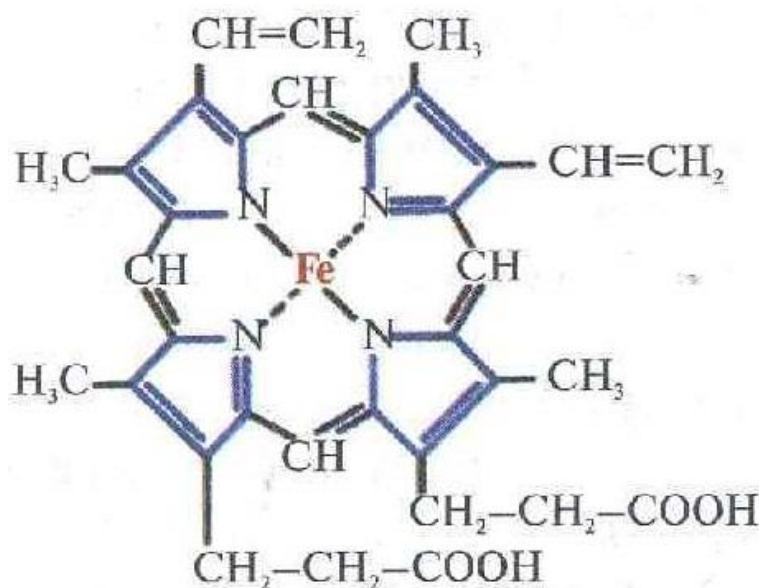


Рисунок 23 – Строение гема гемоглобина

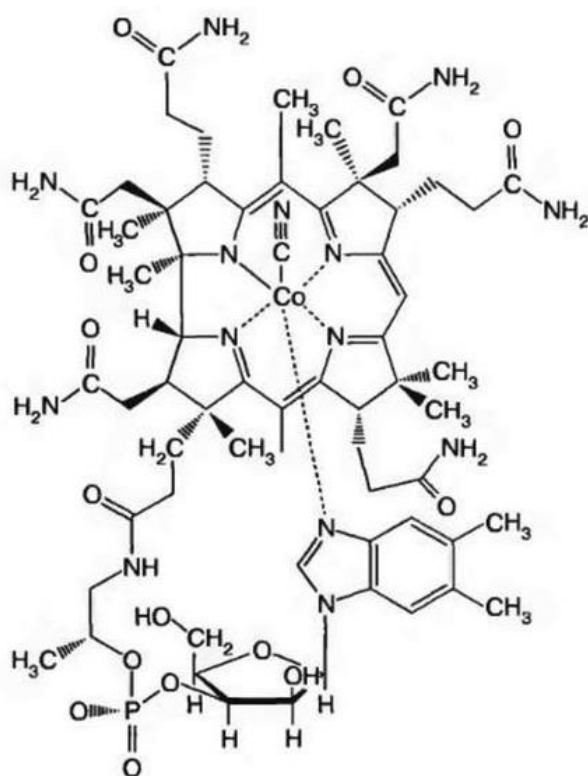


Рисунок 24 – Структура витамина В12

На примере данных соединений демонстрируются важнейшие биологически важные функции супрамолекулярных систем, обеспечивающие как процесс жизнедеятельности отдельных живых организмов, так и протекание глобальных биосферных процессов, включая обеспечение жизни на планете.

Говоря о новых течениях в химии и технологии, относящихся к области супрамолекулярной химии и упоминаемых в школьных учебниках, можно отнести информацию о фуллеренах, как одной из аллотропных модификаций углерода. Данная модификация выступает как основа развития современных нанотехнологий, проявляющихся, в том числе, на уровне супрамолекулярных эффектов. Так, сам фуллерен и нанотрубки, образованные на его основе, могут включать внутрь полости самые разнообразные молекулы (рисунок 25), что нашло широкое применение в технике.

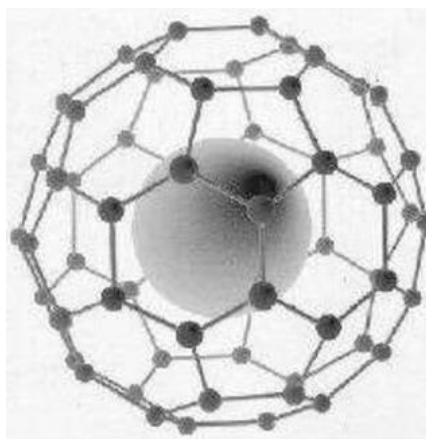


Рисунок 25 – Эндокомплекс на основе фуллерена

Таким образом, школьный курс химии предполагает изучение предмета, начиная от атомного уровня, преимущественно на молекулярном уровне, и затрагивая вопросы надмолекулярного уровня. Последовательный переход от менее организованных форм к более сложно организованным структурам позволяет лучше подготовить учащихся к усвоению нового материала, связанного с влиянием строения на свойства систем, а также с вопросами практического применения данных соединений. Данная последовательность изучения соответствует схеме перехода от молекулярного на надмолекулярный уровень, предложенной «отцом» супрамолекулярной химии Ж.-М. Ленном (рисунок 26).



Рисунок 26 – Схема перехода от молекулярного на супрамолекулярный уровень изучения химии [23]

Акцентирование внимания на роль типов связывания, отличных от ковалентного, позволяет школьнику глубже понять сложные механизмы функционирования химических систем, проявляющиеся на уровне биологического объекта, что ясно демонстрирует тесные взаимосвязи форм движения материи и переход данных форм одной в другую. Строение атома (физическая форма) обуславливает способность ковалентно связываться в молекулы – мельчайшие носители химической формы движения материи. Межмолекулярные взаимодействия усложняют эту форму, способствуя образованию молекулярных ансамблей и надмолекулярных систем, которые позволяют перейти на биологический уровень. Последующие взаимодействия на надмолекулярном уровне приводят к процессу адаптации организма и его переходу на наиболее высокий социальный уровень.

Таким образом, образование супрамолекулярных структур можно рассматривать как закономерный результат химической эволюции материи: от элементарных частиц до атомов и простейших молекул, далее на определённом этапе к молекулам, прежде всего органическим, проявляющим способность к множественным невалентным взаимодействиям (кооперативный эффект), обусловленным геометрическим и энергетическим соответствием молекул. Избирательность этого процесса позволяет молекулам распознавать друг друга и самоорганизовываться, приобретая определённые пространственные формы, способные к обратимым изменениям.

В то же время, межмолекулярные взаимодействия в школьном курсе химии рассматриваются достаточно поверхностно, выходя за пределы школьной программы. В курсе химии средней школы отсутствуют упоминания о супрамолекулярной химии, а представления о нанохимии лишь поверхностно обозначаются. Это говорит о необходимости дополнения школьного материала знаниями о современных областях развития химии, позволяющими не только понять ее научную, мировоззренческую и

социальную роль, но и глубже уяснить суть сложных химических и биологических процессов, изучаемых в школьных учебниках.

Появление новых блоков содержания для преподавания предметов естественнонаучного цикла, связанных с вопросами междисциплинарного характера, в том числе супрамолекулярной химией, требует разработки нового стиля преподавания, предполагающего комплексный анализ содержания учебного процесса и оптимальное сочетание образовательных технологий, выбор методов, приемов, средств и организационных форм [18]. Одной из таких форм могут быть межпредметные уроки, а также разработка факультативных курсов.

#### Выводы по первой главе

1. При изучении химии в средней школе реализуется последовательный переход от наименьшей организационной формы (атома) через более организованные формы (молекулы и молекулярные агрегаты) к надмолекулярным структурам (органические супермолекулы), что соответствует схеме Ж.-М. Лена, демонстрирующей переход от молекулярного к супрамолекулярному уровню изучения химии.

2. В школьном курсе химии и биологии отсутствует упоминание о супрамолекулярной химии как направлении развития химической науки. Между тем, в курсе химии, а еще более – в курсе биологии, изучаются и конкретизируются основные понятия и представления этой области: межмолекулярные взаимодействия, молекулярное соответствие и распознавание, структурная предорганизация.

3. В рамках изучения химии и биологии в средней школе отводится важная роль изучению представителей супрамолекулярных структур, широко встречаемых в природе и имеющих важное биологическое значение: лед и молекулярные агрегаты воды, белки, порфирины, нуклеиновые кислоты и т.д. На основе изучения свойств этих соединений представления о супрамолекулярной химии могут быть включены в школьную программу,

способствуя более ясному пониманию сложных биологических процессов, протекающих в живых организмах.



## ГЛАВА 2. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ON-LINE РЕСУРСОВ, СВЯЗАННЫХ С ОПИСАНИЕМ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ СИСТЕМ И ОБЪЕКТОВ НАНОХИМИИ

Поскольку в школьных учебниках отсутствует информация об объектах супрамолекулярной химии и связанной с ней областью нанохимии, выполнение заданий, связанных с данными областями, потребует от ученика большого объема самостоятельной поисковой работы. Кроме того, для составления заданий, посвященных этой области, учителю потребуются работа с разнообразными источниками информации, прежде всего, сети Интернет. В связи с этим, нами проведен анализ и составлен обзор некоторых on-line ресурсов, содержащих информацию по вопросам супрамолекулярной и нанохимии, которая может оказаться полезной как при подготовке заданий, так и для их решения.

### 2.1. Сайт Нанометр.ру. Нанотехнологическое сообщество

Электронный адрес: [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru).

Данный сайт создан для коллективного творчества школьников, студентов, научных групп и читателей [8]. Это открытый ресурс, направленный на объединение усилий нанотехнологического сообщества Российской Федерации для расширения возможностей представителей разных категорий (от школьников, студентов, аспирантов, до директоров фирм и академиков) активно участвовать в развитии нанотехнологий.

Основные задачи сайта:

- 1) распространение достоверной информации и научных новостей об открытиях в мире нанотехнологий, в том числе, супрамолекулярной химии;
- 2) популяризация знаний о наноматериалах, нанотехнологиях и супрамолекулярных структурах;
- 3) формирование общероссийского банка научных групп, работающих в области нанотехнологий и супрамолекулярной химии;

4) формирование круга общения по наиболее горячим темам в области нанотехнологий и супрамолекулярной химии;

5) оказание консультативных, аналитических и экспертных услуг в области нанотехнологий и супрамолекулярной химии.

Создатель сайта и его модератор Евгений Алексеевич Гудилин – главный редактор журнала «Нанометр», доктор химических наук, член-корреспондент РАН, профессор МГУ.

Ежегодно на портале происходит организация Всероссийской интернет-олимпиады школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых в области наносистем, наноматериалов и нанотехнологий "Нанотехнологии – прорыв в Будущее!" Олимпиада включает несколько конкурсов, которые проводятся в два этапа:

– заочный (отборочный Интернет-тур), который проводится в виде тестирования и решения задач по различным направлениям физики, химии и биологии;

– заключительный – очное участие на базе МГУ, для организации работы которого проводится отбор лучших работ по итогам заочного тура.

Следует отметить межпредметный характер заданий олимпиады, решение которых требует серьезной аналитической работы, нестандартного творческого мышления и способности обобщать большой объем информации.

В задачах и тестах имеются задания направленные на супрамолекулярные структуры и взаимодействия (приложение 1).

## 2.2. Органическая химия: веб-учебник

Электронный адрес <http://www.orgchem.ru/chem6/index6.htm>

Учебник предназначен для обучающихся старших классов средней школы и колледжей и направлен на дистанционную поддержку изучения органической химии. Материалы сайта могут быть полезны выпускникам средних учебных заведений для систематизации и углубления знаний при

подготовке к ЕГЭ по химии, студентам, начинающим изучение органической химии в вузе, а также преподавателям [10].

Большой объем информации данного сайта связан с рассмотрением структуры, свойств и превращений органических соединений, которые могут быть отнесены к миру супрамолекулярной химии: нуклеиновые кислоты, белки, аминокислоты (приложение 2). Посетители сайта могут самостоятельно изучить процессы биосинтеза белка, строение молекулы ДНК, представляющей один из самых ярких примеров супрамолекулярной структуры.

На данной платформе имеется небольшая видео-библиотека, интеллектуальные игры и кроссворды, что может быть использовано в системе школьных уроков.

### 2.3. Сайт Наноград

Электронный адрес <https://nano-grad.ru/>

Работа с данным интерактивным ресурсом требует регистрации на сайте. Часть материала размещена в свободном доступе, но часть представляет собой платный контент (приложение 3). На сайте имеется электронная библиотека, на которой можно найти интересную литературу по нанохимии и супрамолекулярной химии. Также имеются видеоматериалы по данным разделам [32].

На сайте организован дискуссионный клуб, в рамках которого каждый участник сможет задать интересующий его вопрос и обсудить с другими участниками возникающие вопросы. Кроме того, член группы имеет возможность участвовать в создании структуры сайта, размещая на нем свои разработки и проекты.

На платформе проводится всероссийская олимпиада «Нанотехнологии – прорыв в будущее!», не совпадающая по содержанию с олимпиадой, проводимой на сайте «Нанометр.ру». В рамках данной олимпиады участник, после предварительной регистрации, получает определенный набор заданий,

решение которых он должен предоставить. Кроме того, ему необходимо предоставить автореферат своего школьного проекта, направленный на решение проблем в области нанотехнологий.

Ресурс ежедневно обновляется, пополняясь интересной информацией о современных разработках в области нанотехнологий, в том числе, супрамолекулярной химии.

Большой интерес представляет размещенный на сайте раздел с интеллектуальными играми:

– обучающая игра Vox Battle. Участие в игре упрощает получение и проверку знаний по разным темам с помощью боя с соперником и соревнования между игроками. Внутренняя мотивация выиграть и увидеть чемпионский титул – мощный стимул к получению новых знаний;

– АЛЛОТРОП – уникальная образовательная компьютерная игра, построенная на реальных заданиях из школьной программы по физике, химии и биологии и основ нанотехнологий, глубоко интегрированных в геймплей по законам игрового дизайна. Сюжетная линия игры является смысловой канвой, объединяющей игровые ситуации, «попадая» в которые игрок должен будет решать задачи, описанные в дидактической структуре игры. В сюжете предусмотрена отсылка пользователей к ключевым технологиям, используемым в nanoиндустрии.

#### 2.4. VirtuLab – Виртуальная образовательная лаборатория

Электронный адрес <https://www.virtulab.net/>

Виртуальная лаборатория, предназначенная для школьников, студентов, учителей и просто любознательных людей. При работе с ней имеется возможность использовать инновационные технологии при изучении физики, химии, биологии, экологии и других предметов. Преимущество данного ресурса заключается в возможности моделировать какие-либо структуры самостоятельно, что очень важно для современного образования (приложение 4).

На сайте предоставлены различные интерактивные уроки и лабораторные работы, которые можно проводить в домашних условиях. Данные работы могут быть продемонстрированы в классе во время лекции как дополнение к лекционным материалам. Имеется возможность проводить анализ успеваемости ученика, используя различные тренировочные тесты.

В качестве виртуальных работ, которые могут быть использованы при изучении понятий супрамолекулярной химии, можно выделить изучение микропрепаратов с делящимися клетками растений, микроскопического строения крови (микропрепараты крови человека и лягушки), знакомство с образцами лекарственных препаратов, в том числе, домашней медицинской аптечки.

## 2.5. Сайт NANO NEWS NET – Нанотехнологии

Электронный адрес <https://www.nanonewsnet.ru/>.

На сайте рассматриваются вопросы nanoиндустрии, экономические и политические аспекты развития nanoиндустрии [11]. Информация может заинтересовать широкую аудиторию, в том числе и школьников. Главными направлениями работы являются информационно-аналитическая и просветительская деятельность в области nanoиндустрии (приложение 5).

В рамках проекта NanoNewsNet.ru в 2005 г. была выпущена первая в стране научно-популярная книга М. Рыбалкина «Нанотехнологии для всех». Внутри сайта имеется ссылка на сетевой ресурс [www.Nanomarket.ru](http://www.Nanomarket.ru) – on-line площадку, предназначенную для делового общения участников нанотехнологической сети. На сайте представлен большой объем информации о различных наночастицах и объектах супрамолекулярной химии, например, о процессах биосинтеза белка.

## 2.6. Занимательная химия

Электронный адрес <https://www.alto-lab.ru/himicheskie-opyty/poluchenie-xlorofilla/>

Сайт содержит описание большого количества химических опытов, часть которых может быть осуществлена в домашних условиях. Содержится интересная информация, знакомящая с биографией выдающихся ученых – химиков с описанием сущности и роли их открытий (приложение 6).

Используя материал сайта, школьник имеет возможность найти информацию о сложных биологических молекулах, их строении и функциях. Некоторые опыты, представленные на сайте, также посвящены изучению этих соединений, например, опыты по выделению из растений хлорофилла и изучению его свойств. На сайте содержится большой объем информации из области наномира [32].

## 2.7. Сайт ПостНаука

Электронный адрес <https://postnauka.ru/faq>

Сайт содержит видеоматериалы, в том числе, связанные с описанием объектов супрамолекулярной химии [25]. Например, имеются материалы о структуре и свойствах молекул ДНК и белков, процессах фотосинтеза, об устройстве клетки и ее жизнедеятельности. К области супрамолекулярной химии и нанотехнологий можно отнести видеоматериалы о химической связи, свойствах мембранных белков, нанохимии, наноматериалах и нанотехнологиях (приложение 7).

На сайте имеется раздел «Читать», в котором представлена различная литература в виде статей, журналов и книг. Там же можно проверить себя и пройти несколько тестов или же задать интересующий вопрос ученому.

Достоинством сайта являются бесплатные курсы и игры по широкому спектру тем: «Как нанообъекты меняют мир технологий», «Работа генов», «Структура и функции ДНК», «Биология клетки». Примерами игр являются «Что вы знаете о вирусах», «Что в ДНК тебе моей?».

## Выводы по второй главе

1. Решение задач и выполнение заданий в области супрамолекулярной химии и нанохимии требуют работы в сети Интернет как обучающегося, так и учителя. Они позволяют находить информацию для решения задач разного рода, так и проводить отбор материала для составления данных задач.

2. В сети Интернет существует достаточно большое количество сайтов и ресурсов, направленных на популяризацию знаний в области нанотехнологий, в том числе, супрамолекулярной химии. Информация данных сайтов расширяет образовательные возможности и может быть использована как для подготовки к занятиям, так и для участия обучающихся во внеурочной деятельности от научно-исследовательской до участия в олимпиадах разного уровня.

## **ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКТА ЗАДАНИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ЗНАКОМСТВО С СУПРАМОЛЕКУЛЯРНОЙ ХИМИЕЙ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ**

### 3.1. Примеры задач и заданий, направленных на расширение представлений о водородной связи и межмолекулярных взаимодействиях

Как уже указывалось, в школьном курсе химии отсутствует упоминание о супрамолекулярной химии и основных понятиях данной области. В связи с этим задач, прямым образом направленных на раскрытие данных понятий, в школьных учебниках также не представлено. В то же время, в содержание задач школьных химических олимпиад, особенно, на более высоких уровнях, данное понятие включено. Кроме того, решение данных задач может способствовать улучшению понимания сложных биохимических процессов. В связи с этим, можно говорить о целесообразности включения задач, затрагивающих данное понятие, в материал школьных уроков, особенно, в профильных классах.

В рамках выпускной квалификационной работы нами подобраны примеры различных заданий, раскрывающие понятия супрамолекулярной химии, основанных на изучении материала, включенного в программу школьного курса химии.

Развитие понятий супрамолекулярной химии начинается на уровне развития представлений о межмолекулярных взаимодействиях. Учитывая сложность понятийного аппарата, логично говорить о развитии данных понятий только на уровне старших классов с опорой на знания, полученные обучающимися в основной школе.

Задания 1-3 направлены на развитие представлений о водородной связи и ее влиянии на изменение свойств химических соединений. Задания могут быть использованы в 11 классе при изучении темы «Природа водородной связи».



Формулировка задания. Одним из факторов, влияющих на изменение температуры кипения веществ, схожих по структуре, считают молекулярную массу вещества: при возрастании молекулярной массы происходит возрастание температуры кипения. Изучите экспериментальные данные, приведенные в таблице 1, и предложите свое объяснение наблюдаемым изменениям температуры кипения указанных веществ.

Таблица 1 – Температуры кипения воды, метанола и диметилового эфира при стандартных условиях

Вещество	Температура кипения, °С
Вода	100
Метанол	65
Диметиловый эфир	24

При анализе результатов задачи обучающийся должен прийти к пониманию о вкладе водородной связи в структуру вещества и его свойства. Представленные соединения являются одготипными, так как и метанол, и диметиловый эфир можно рассматривать как производные воды, в молекуле которой один или два атома водорода замещены на метильный радикал. При этом, с ростом молекулярной массы происходит уменьшение температуры кипения. Это связано с тем, что атом водорода в группе –ОН способен к образованию водородных связей с другой молекулой. Таким образом, одна молекула воды способна образовывать четыре водородные связи, формируя молекулярные агрегаты воды (рисунок 27):

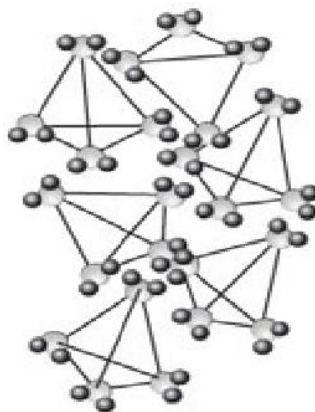


Рисунок 27 – Молекулярные ассоциаты воды в жидком состоянии

В метильном радикале  $-\text{CH}_3$  атомы водорода связаны с атомом углерода, имеющим значение электроотрицательности, практически не отличающееся от электроотрицательности атома водорода. В результате эти атомы водорода не могут участвовать в образовании водородных связей, и общее число водородных связей, которое может быть образовано одной молекулой метилового спирта, снижается до трех. Молекула же диметилового эфира вообще не способна участвовать в образовании водородных связей с подобной себе молекулой. Для перехода из жидкого в газообразное состояние (процесс кипения) необходимо приложить энергию для разрыва водородных связей. В связи с этим происходит снижение температуры кипения от воды через метанол к диметиловому эфиру.

Задание 2. Предположите, какое из соединений: о-нитрофенол или п-нитрофенол, будет характеризоваться меньшей температурой кипения? Обоснуйте свое предположение.

Анализируя структуру полученных соединений, можно предположить, что окси-группа в молекуле может принимать участие в образовании водородной связи за счет атома водорода. В качестве группы, связывающейся с водородом, может выступать нитрогруппа. В молекуле о-нитрофенола нитрогруппа и окси-группа одной молекулы находятся рядом, и между ними может образовываться внутримолекулярная водородная связь (рисунок 28 а). В молекуле п-нитрофенола данные группы пространственно разобщены, и водородная связь образуется межмолекулярно (рисунок 28 б):

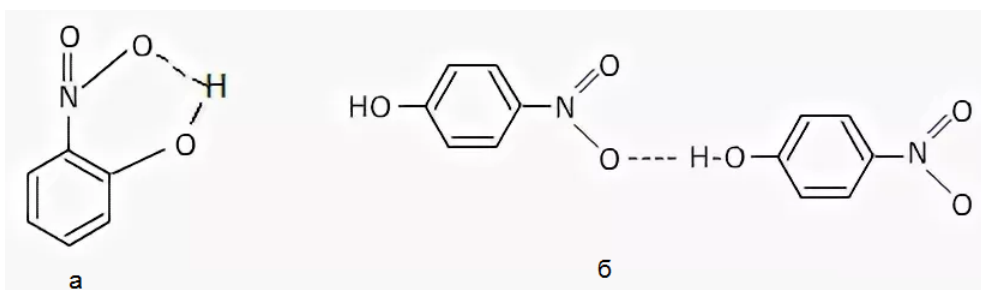


Рисунок 28 – Образование внутримолекулярных (а) и межмолекулярных (б) водородных связей с участием изомерных нитрофенолов

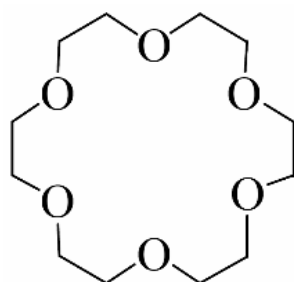
Для перехода в газообразное состояние п-нитрофенола потребуется энергия для разрыва водородной связи между молекулами, следовательно, температура кипения данного изомера будет выше.

Задание 3. При переходе вещества из твердого агрегатного состояния в жидкое обычно наблюдается увеличение объема системы и уменьшение плотности. Объясните, почему лед не тонет в жидкой воде?

Анализируя первую часть задачи, ученик может предположить, что лед (твердое агрегатное состояние) должен иметь плотность выше, чем у жидкой воды, следовательно, должен в ней тонуть. Тогда возникает противоречие между первой и второй частью задачи. Решение проблемы также раскрывается в представлении о водородной связи: лед имеет слоистую структуру, где молекула воды образует две водородные связи внутри одного слоя и по одной водородной связи с двумя соседними слоями. Между слоями находятся пустоты, которые могут заполняться небольшими молекулами. При нагреве воды до  $+4^{\circ}\text{C}$  происходит разрыв некоторых водородных связей, и отрывающиеся молекулы воды заполняют пустоты между слоями: образуется клатрат «лед – жидкая вода». При этом происходит возрастание плотности системы, а общий объем снижается. Поэтому при температуре  $+4^{\circ}\text{C}$  вода характеризуется максимальным значением плотности, а лед остается плавать на поверхности жидкой воды.

Другой вариант заданий раскрывает сущность видов межмолекулярных взаимодействий, отличных от водородной связи.

Задание 4. Современное направление – супрамолекулярная химия, началось с открытия Ч. Педерсоном краун-эфиров (эфиры – «короны»), формула одного из которых представлена на рисунке 29:



## Рисунок 29 – Структурная формула краун-эфира

Случайно синтезировав данное соединение, Ч. Педерсен обнаружил интересный эффект: в бензольном растворе этого соединения растворялся фторид калия, хотя соли калия в бензоле не растворимы. Сам краун-эфир не растворялся в воде, но растворялся в водном растворе фторида калия. Предложите объяснение наблюдениям Ч. Педерсена.

Решение данной задачи непосредственно относится к области супрамолекулярной химии и связано с представлениями об ион-дипольном межмолекулярном взаимодействии. В структуре краун-эфиров атомы кислорода имеют неподеленные электронные пары, направленные друг к другу. Катион калия, попадая в пространство между этими атомами, связывается с ними ион-дипольными взаимодействиями (рисунок 30), что изменяет растворимость как соли калия, так и самого краун-эфира.

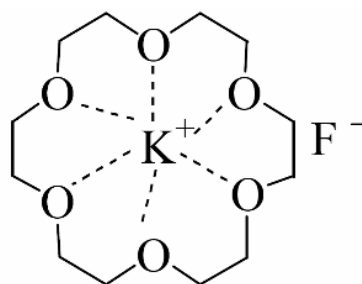


Рисунок 30 – Структура комплекса фторида калия и краун-эфира

Задача 5. Качественной реакцией на многоатомные спирты является реакция со свежесозажденным гидроксид меди (II). Объясните, почему гидроксид меди растворяется в этиленгликоле, но не растворяется 1,3-пропандиоле. Почему в данную реакцию может вступать гидроксид меди (II), но не вступает водный раствор хлорид меди (II)?

Решение данной задачи требует понимания представлений о координационном типе химической связи, которая широко распространена в супрамолекулярной химии. Качественная реакция с гидроксидом меди (II) заключается в образовании межмолекулярного хелатного комплекса (рисунок 17, с. 21). Такая реакция может протекать только с гликолями – двухатомными спиртами, в молекулах которых гидроксильные группы

расположены у соседних атомов углерода. Если гидроксильные группы пространственно разобщены, как в молекуле 1,3-пропандиола, то подобное комплексное соединение образоваться не может, поэтому гидроксид меди не будет растворяться в таком спирте.

Ответ на вторую часть задачи требует также представлений о процессах, протекающих при растворении хлорида меди в воде. При этом происходит диссоциация молекулы и образование гидратированного катиона меди  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ . Образование данного комплекса препятствует образованию комплекса с молекулой спирта, поэтому реакция не протекает.

3.2. Разработка задач и заданий, направленных на изучение объектов, относящихся к области супрамолекулярной химии, а также к их функциональной роли

Как указано ранее, понятия «супрамолекулярная система», «супермолекула» в учебниках биологии и химии средней школы отсутствуют. Но при этом, в различных темах происходит рассмотрение разнообразных систем, которые могут быть отнесены к объектам супрамолекулярной химии. Поэтому нами разработаны варианты заданий, посвященных изучению структур, относящихся к области супрамолекулярной химии.

Первое и второе задание могут быть использованы при изучении темы «Аминокислоты. Белки».

Первое задание направлено на раскрытие понятия пептидная связь. Само по себе данное задание не относится к области супрамолекулярной химии, так как пептид – молекулярная система. Но через понятие пептидной связи формируется понятие о полипептидной цепи, как основе формирования первичной структуры белка, через которую происходит переход к более высоким уровням организации белковой молекулы.

Кроме того, переход «аминокислота – пептид – полипептид – белок» наглядно раскрывает переход от молекулярных систем к надмолекулярному



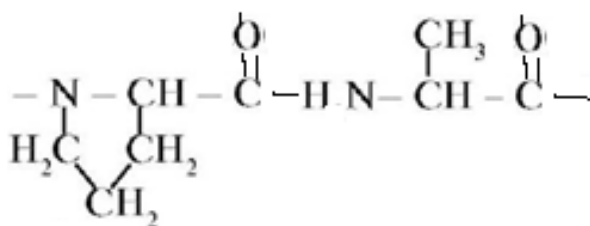


Рисунок 32 – Структура остатка пролилаланина

Второе задание позволяет более детально разобраться в различиях формирования первичной, вторичной и третичной структур белковой молекулы и видах химической связи, поддерживающих структуру в пространстве. При этом конкретизируется понятие структурной организации молекулы, как основы ее функциональных характеристик.

Задание 2. Используя информацию учебника и дополнительные источники, заполните таблицу «Характеристика уровней организации белковой молекулы» (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристика трех структур белковых молекул

Структура белковой молекулы	Характеристика структуры	Чем обусловлено образование структуры	Схематичное изображение
Первичная – линейная			
Вторичная – спиралевидная			
Третичная – глобулярная			

Ответьте на вопрос, какая из указанных структур является наиболее устойчивой, а какая наименее устойчивой, и почему?

Решение данной задачи требует от школьника анализа информации и выделения из нее первостепенной. Анализ информации учебника дает возможность понять, что первичная структура представляет собой линейное чередование аминокислотных остатков. Характеристикой вторичной структуры является спираль, формирующаяся при закручивании первичной структуры. Третичная структура, в свою очередь, формируется из вторичной путем образования более плотной упаковки.

Для ответа на вопрос о том, чем обусловлена структура, ученик должен понимать, что любая структура формируется путем определенного типа связывания. Тогда он приходит к выводу о роли ковалентных связей в формировании полипептидной цепи, водородных связей для формирования вторичной структуры и межмолекулярных взаимодействий – для образования третичной структуры. Дальнейшее представление об энергии связей, участвующих на каждом уровне организации, дает представление об устойчивости этого уровня: легче разрушается третичная структура, образованная за счет слабых связей, а наиболее устойчива первичная, ковалентно организованная.

Следующие виды задач могут быть использованы в курсе биологии при изучении темы «Клетка» в 11 классе. Кроме того, они могут быть применены в качестве задач межпредметного содержания при изучении «Водородная химическая связь». С позиции супрамолекулярной химии они раскрывают вопросы молекулярного соответствия и самосборки на основе принципа комплементарности, заключающегося в том, что напротив аденинового нуклеотида одной полинуклеотидной цепи всегда располагается тиминовый нуклеотид (Т), а напротив гуанинового нуклеотида (Г) – обязательно цитозиновый нуклеотид (Ц). Подобное соответствие обусловлено образованием более выгодной системы водородных связей.

Для успешного выполнения заданий учащимся предварительно выдается пояснительная информация о строении ДНК и принципе комплементарности:

- 1) всего в молекуле ДНК существует четыре разновидности нуклеотидов: аденин (А), тимин (Т), гуанин (Г) и цитозин (Ц);
- 2) Дж. Уотсон и Ф. Крик установили в 1953 г., что молекула ДНК представляет собой двойную спираль;
- 3) цепи спирали ДНК комплементарны друг другу: аденин и тимин всегда находятся, друг напротив друга в двойной спирали;



4) соблюдается правило Чаргаффа: количество аденина и гуанина всегда равно количеству тимина и цитозина в ДНК.

Задание 3. В одной молекуле ДНК нуклеотидных фрагментов содержащих 22 % тимина. Определите процентное содержание нуклеотидов с А, Г, Ц по отдельности в этой молекуле ДНК.

Основываясь на предыдущей информации, ученики должны прийти к выводу, что процентное содержание тимина и аденина равны. Оставшуюся часть (56 %) составляют гуанин и цитозин, процентные содержания которых также равны (28 %).

Задание 4. Одна из цепочек ДНК имеет последовательность нуклеотидов: АГТ-АЦЦ-ГАТ-АЦТ-ЦГА-ТТТ-АЦГ. Составьте вторую цепь ДНК, указав характерную для нее последовательность нуклеотидов.

Анализируя информацию, и используя принцип комплементарности, ученики приходят к нуклеотидной последовательности ТЦА-ТГГ-ЦТА-ТГА-ГТЦ-ААА-ТГЦ.

Задание 5 относится к теме «Пластический обмен. Фотосинтез», курса биологии. Данные задачи раскрывают функциональную роль супрамолекулярных систем, в том числе, в живом организме.

Фотосинтез представляет собой процесс фотохимической инициации, которая обусловлена сопряженной системой  $\pi$ -связей. Сама по себе, данная система не является супрамолекулярной, так как представлена ковалентными связями. Но при образовании данной структуры, а также в ее дальнейшем функционировании, большую роль играет структурная организация – образование 18 – членной системы за счет определённой конфигурации атомов углерода и азота. Такой предорганизации молекула способствует нековалентное связыванием с атомами азота атома магния, который определяет способность молекулы хлорофилла к образованию ассоциатов за счет образования дополнительных координационных связей. Четыре атома азота в молекуле хлорофилла, карбонильные и карбоксильные группы, содержащие кислород, способны к образованию координационных связей за

счёт неподелённых электронов. Все эти структурные компоненты могут служить центрами локализации воды при возникновении ассоциатов. В сухих неполярных органических растворителях ассоциация возможна только для Mg-производных. Молекулы хлорофилла образуют димер за счёт появления координационной связи между атомами магния одной молекулы и кислородом кетогруппы циклопентанового кольца другой. Молекулы хлорофилла объединяются в тример, где два атома магния двух молекул взаимодействуют с атомом кислорода альдегидной группы второго ядра и кетогруппы 5 кольца третьей молекулы хлорофилла "В". В полярных растворителях, содержащих воду, ассоциаты образуются всеми производными класса порфинов. В этом случае пигменты ориентируются порфириновыми плоскостями параллельно друг к другу. Таким образом, структура хлорофилла выступает как типичный пример супрамолекулярной системы, а фотосинтез – это фотохимический процесс, основанный на избирательности супрамолекулярных систем. Изучение комплекса хлорофилла даёт понятие о супрамолекуле и межмолекулярных взаимодействиях.

Задание 5. Вставьте в текст «Пластиды» пропущенные термины из предложенного перечня.

Хромопласт, хлорофилл, лейкопласт, фотосинтез, вакуоль, хромопласты, хлоропласт, каротин.

### ПЛАСТИДЫ

В растительных клетках часто можно наблюдать разнообразные по форме и окраске пластиды. Так, многочисленные зелёные пластиды – \_\_\_\_\_ (А) обеспечивают процесс \_\_\_\_\_ (Б) за счёт наличия в их составе пигмента \_\_\_\_\_ (В). Кроме того, в клетках можно встретить пластиды, содержащие красный, оранжевый или жёлтый пигменты. Такие пластиды называют \_\_\_\_\_ (Г).

Ответ: А – хлоропласты, Б – фотосинтез; В – хлорофилл; Г – хромопласты.

Задание 6 также раскрывает функциональную значимость супрамолекулярных систем, но уже в области аналитической химии. Данная задача может быть рассмотрена в курсе химии в теме «Высокомолекулярные соединения»

Задание 6. Одной из самых известных качественных реакций на йод является реакция с крахмалом, с которым йод может образовывать клатратные комплексы: молекула йода включается в полость структуры крахмала. Этот эффект также может быть использован в быту для удаления с одежды свежих пятен йода. Но аналитический сигнал проявляется только в том случае, если для работы взят свежий крахмал. Если же раствор крахмала долго стоял, особенно в тепле, то ожидаемый сигнал не появится. Опишите аналитический сигнал, проявляющийся при взаимодействии крахмала с йодом, и предложите свое объяснение тому факту, что старый раствор крахмала не может быть использован в аналитических целях.

Анализируя условие задачи, учащиеся должны вспомнить известный им аналитический сигнал образования комплекса йода с крахмалом – появление синего окрашивания. Так как сказано, что комплекс образуется при включении йода в полость крахмала, логично предположить, что при стоянии полостная система разрушается. Это происходит в результате гидролиза крахмала с образованием декстринов.

Задание 7 демонстрирует одну из самых важных функций супрамолекулярных систем в живом организме – участие в ферментативном катализе. Задача имеет междисциплинарный характер, и может быть использована при изучении работы ферментативных систем как в курсе химии, так и биологии.

Задание 7. Используя информацию учебника и дополнительных источников, заполните таблицу 3 «Сравнение неорганических катализаторов и ферментов».

Таблица 3 – Сравнение неорганических катализаторов и ферментов

Признак сравнения	Фермент	Неорганический катализатор
Химическая природа		
Селективность		
Оптимум pH		
Интервалы температуры		
Изменение структуры в ходе реакции		
Увеличение скорости		

При решении данной задачи ученик получает знания о ферменте как избирательной структуре, которая катализирует определенную систему. Именно структура фермента обеспечивает селективное связывание. Согласно теории Фишера, ферменты – это «молекулы-хозяева». В активный центр каждого фермента может попасть только то вещество – субстрат, которое соответствует ему по размерам и энергии. Модель Фишера хорошо объясняет абсолютную специфичность ферментов.

Ученик опирается на знания из курса биологии о пищеварительных ферментах и различных неорганических катализаторах из курса химии. В итоге, он приходит к выводу о значительных отличиях этих систем. Так, неорганические катализаторы очень разнообразны, и их очень сложно связать какой-либо общей для всех характеристикой. Для ферментов этой характеристикой является белковая составляющая. Неорганические катализаторы, как правило, малоселективны, и один катализатор может ускорять несколько реакций. Ферменты – сугубо специфичные системы, что объясняется необходимостью структурного соответствия рецептора с субстратом. Поэтому один фермент катализирует одну реакцию. Неорганические катализаторы обычно не связаны зависимостью с величиной водородного показателя, или мало чувствительны к этой величине. Ферменты работают только в строгом, характерном для данного фермента, диапазоне pH. Неорганические катализаторы начинают функционировать только при определенной температуре, при которой они становятся

активными – температуре зажигания. Ферменты могут функционировать только в интервале температур 35-42 °С, так как выше этой температуры начинается денатурация белковой молекулы, нарушается супрамолекулярная структура, и система теряет свои функциональные свойства. При функционировании структура белка предорганизуется, то есть принимает конформацию, необходимую для связывания с субстратом. По окончанию процесса структура молекулы переходит в исходное состояние. Неорганические катализаторы не изменяют свою структуру в процессе катализа.

### 3.3. Задания лабораторного характера

Изучение супрамолекулярной химии возможно и при проведении некоторых экспериментов, развивающих познавательный интерес обучающихся. Некоторые из этих экспериментов могут быть проведены в рамках внеурочных занятий по химии и биологии, а также в домашних условиях. Например, проводя простые химические эксперименты, ученики могут увидеть, что самые распространенные системы, например, молоко или желатин, можно отнести к наноматериалам, свойства которых обусловлены, в том числе, супрамолекулярными эффектами.

Например, молоко имеет белую окраску, связанную с наличием в системе белка – казеина, который собран в мицеллы, представляющие собой наноструктуры. В этой мицелле казеин связывается с молекулами фосфата и цитрата кальция за счет электростатических сил и гидрофобных взаимодействий, в результате которых образуются нанокластеры – микрокристаллические включения фосфата кальция в полость казеина. Такой эффект, в частности, обеспечивает транспорт кальция с грудным молоком матери в организм младенца.

При нагревании молока с последующим добавлением к системе кислоты происходит нарушение молекулярной организации, и белок начинает агрегироваться – образуется творог. Такой процесс лежит в основе

образования йогурта, как продукта молочнокислого брожения, за счет которого происходит створаживание, а формирующийся вкус продукта связан с наноструктурой.

Доказательством наноструктурных свойств молока является эффект Тиндаля – рассеивание светового луча, пропускаемого через слой коллоидного раствора. При пропускании луча лазера через молоко, путь луча не виден. Но при растворении молока в воде путь луча заметен. Это обуславливает коллоидные свойства молока[24].

Опыт 1. Коллоидные свойства молока.

Реактивы и оборудование: молоко, вода, 2 стакана, лазерная указка.

Ход работы: В прозрачный стакан налейте 40 мл молока и на просвет проверьте его лазерной указкой. Пути луча не будут видны.

В стакан налейте 150 мл воды и 1-2 капли молока. Раствор тщательно перемешайте. Полученный раствор проверяют на просвет лазерной указкой. Путь луча через раствор виден, что доказывает коллоидные свойства молока.

Опыт 2. Коллоидные свойства молочных продуктов.

Реактивы и оборудование: молоко, уксус 9 %, стакан, термометр, электрическая плита или водяная баня, лазерная указка.

Ход работы: в стакан наливают 40 мл молока и нагревают на/водяной бане до 60 °С. К горячему раствору молока приливают 2 столовые ложки уксуса и хорошо перемешивают. Полученный раствор проверяют на просвет лазерной указкой.

В другом растворе смешивают 40 мл молока и 0,5 столовых ложек уксуса без нагревания. Раствор хорошо перемешивают и проверяют на просвет лазерной указкой.

В результате проведенных опытов делаем выводы, что в зависимости от степени нарушения электростатических и гидрофобных взаимодействий происходит уменьшение стабильности коллоидной мицеллы казеина, что может приводить к различным эффектам. Функции и внешний вид молока тесно связаны с молекулярной наноструктурой.

Другим примером сложных наноструктур, образующихся в процессе самосборки, являются жидкие кристаллы. Опыты с жидкими кристаллами помогают изучить свойства макромолекул, которые зависят от способа самосборки макромолекулы в наноструктуры. При изменении температуры можно наблюдать изменение цвета, вызванное изменением самоорганизации молекул [21].

### Опыт 3. Получение термохромных жидких кристаллов.

Реактивы и оборудование: коммерческие препараты эфиров, 4 стеклянных пузырька, электроплитка.

Ход работы: для того чтобы приготовить четыре различных смеси эфиров холестерина, необходимо смешать три эфира в стеклянных пузырьках в соотношениях, приведенных в таблице 4.

Таблица 4 – Приготовление жидких кристаллов из смесей эфиров холестерина

Жидкий кристалл	Навеска эфира холестерина, г			Т изменения окраски, °С
	Олеилкарбонат холестерина	Пеларгонат холестерина	Бензоат холестерина	
Образец 1	0,65	0,25	0,10	17-23
Образец 2	0,45	0,45	0,10	26,5-30,5
Образец 3	0,40	0,50	0,10	32-35
Образец 4	0,30	0,60	0,10	37-40

Стеклянные пузырьки нагрейте феном или на электроплитке. Жидкий кристалл должен иметь прозрачную структуру. Наклоняя, жидкую смесь распределите по стенкам пузырька и дождитесь охлаждения смеси. При охлаждении смесь изменяет окраску.

### Опыт 4. Свойства термохромных жидких кристаллов.

Реактивы и оборудование: кристаллические пластинки из опыта 4 (поместите 2-3 шпателя образца жидкого кристалла в центр листа из широкого скотча. Если кристалл очень холодный и затвердел, прогрейте пузырек феном, чтобы кристалл приобрел консистенцию меда. Поместите вторую часть скотча сверху первого так, чтобы две липкие поверхности

присоединились друг к другу. Слегка надавите на центр полученной пластины так, чтобы жидкий кристалл равномерно распределился по поверхности (необходимо получить тонкий слой жидкого кристалла площадью приблизительно 4х4 см. Не нажимайте слишком сильно, чтобы материал не вытекал через край. В углу листа отметьте маркером номер образца кристалла), водяная баня, термометр.

Ход работы: на каждую пластину надавливайте в течении 1-2 минут, при этом наблюдайте изменение окраски образца. Изменение окраски можно наблюдать и при нагревании на водяной бане при температуре 15°C, а затем постепенно увеличивайте температуру до достижения рабочей температуры каждой жидкой кристаллической смеси (таблица 5).

Таблица 5 – Рабочий температурный интервал жидких кристаллических смесей

Кристаллическая смесь	Температурный интервал воды, °С
Образец 1	15-23
Образец 2	23-30
Образец 3	30-35
Образец 4	35-40

В ходе проведения этих опытов школьники смогут самостоятельно изучить термохромные холестерические жидкие кристаллы и их свойства. Когда на жидкий кристалл попадает свет, то он отражается. Цвет отраженного света зависит от шага спирали в кристалле. Длина волны зависит от степени закручивания спирали: если спираль закручена сильно (небольшой шаг), то длина волны мала и свет имеет синий конец спектра; если спираль закручивается слабо (большой шаг), то длина волны большая и свет имеет красный конец спектра.

К уменьшению шага может привести увеличение температуры, при этом происходит изменение света от красного края конца спектра к синему [21].



При проведении лабораторных работ можно продемонстрировать и описанные ранее супрамолекулярные эффекты включения йода в полость крахмала.

Опыт 5. Взаимодействие йода с крахмалом.

Реактивы и материалы: ватман, водный раствор крахмала, спиртовой раствор йода, нагревательный прибор.

На ватман кисточкой нанесите любую надпись водным раствором крахмала. Подождите, пока надпись подсохнет, и опрыскайте ее раствором йода. Наблюдайте происходящие изменения. Лист с надписью поместите на батарею или нагрейте феном. Наблюдайте за изменениями.

Проводя этот эксперимент, наблюдатель должен увидеть исчезновение синей окраски при нагревании. Комплекс йода с крахмалом образован за счет слабых межмолекулярных взаимодействий, поэтому при незначительном нагревании происходит разрушение комплекса, а йод испаряется.

Выводы по третьей главе

1. Несмотря на то, что термин «супрамолекулярная химия» и основные понятия этого направления, не включены в программу изучения школьного курса химии и биологии, содержание ряда разделов и тем, изучаемых в школе, раскрывают эти понятия.

2. В основе формирования супрамолекулярных систем лежат взаимодействия, отличные от ковалентных. На примере таких понятий, как водородная связь и межмолекулярные взаимодействия могут быть заложены первичные представления о супрамолекулярных системах и их функциональных проявлениях в биологических системах и природе.

3. Изучаемые в школьном курсе химии и биологии структуры, например, хлорофилл, гемоглобин, белки, нуклеиновые кислоты и т.д., представляют собой супрамолекулярные системы, что дает возможность рассматривать данное понятие через систему задач соответствующего содержания.

4. Изучение понятий супрамолекулярной химии возможно через постановку лабораторных работ, направленных на демонстрацию супрамолекулярных эффектов в распространенных системах, например, молоко, жидкие кристаллы, крахмал.

## ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ВНЕУРОЧНОГО МЕРОПРИЯТИЯ

Раскрытие супрамолекулярной химии во внеурочной работе возможно через разработку внеурочного мероприятия. В рамках педагогической практики было разработано образовательное событие как конференция на тему «Биологическая роль водородной связи». Ученикам были предложены темы докладов, в течение недели они их готовили, подбирали определенную литературу и на самом мероприятии освещали данную им тему. В ходе конференции были выделены биологические значения водородной связи в построении белковой молекулы и молекулах ДНК и РНК.

### Конспект

внеклассного мероприятия по биологии и химии, проведенного 16.12.20  
в 11 классе МОУ Березовская СОШ, Аргаяшского р-на  
в форме групповой работы  
по теме «Биологическая роль водородных связей».

Ф.И.О. студента Кочкина Ксения Валерьевна

Ф.И.О. учителя биологии (химии) Нестеренко Елена Петровна

Цель мероприятия: расширение и углубление знаний обучающихся о биологической роли водородной связи и ее строении.

Задачи мероприятия:

*Образовательные:* систематизировать знания о строении водородной связи в важнейших биологических структурах.

*Развивающие:* развитие речи, внимания, памяти, познавательного интереса, потребности в приобретении и применении знаний.

*Воспитательные:* содействовать воспитанию стойкого позитивного интереса к предмету.

Предварительная подготовка учителя: Преподаватель дает задание подготовить доклад, сообщение, раздает литературу.

Темы докладов: роль водородной связи в белках, роль водородной связи в молекуле ДНК и РНК.

Литература для учителя:

–Химия. 10 класс. Профильный уровень - Габриелян О.С.,

–Химия. 11 класс. Базовый уровень – Габриелян О.С.

Предварительная подготовка учащихся: Подготовка докладов и сообщений по данной теме (в течение недели).

Литература для учащихся:

– Химия. 11 класс. Базовый уровень - Габриелян О.С.,

– Химия. 10 класс. Профильный уровень – Габриелян О.С.,

– Основы общей химии. 11 класс. Фельдман Ф.Г., Рудзитис Г.Е.

Оборудование: компьютер, проектор, презентация «Биологическая роль водородной связи».

План мероприятия:

### *I. Организационный момент.*

Приветствие обучающихся, сообщение целей и задач внеклассного мероприятия; инструктаж о форме работы.

### *II. Вступительное слово.*

Сегодня мы с вами проведем внеклассное мероприятие в форме конференции на тему «Биологическая роль водородных связей». Вспомним, что такое водородная связь и выясним в чем же ее значение.

Вспомним, что важной особенностью водородной связи является то, что истинное участие в нем принимает атом водорода, который уже связан ковалентной с электроотрицательным атомом. При этом часть молекулы "водород-электроотрицательный атом" выступает своеобразным донором атома водорода вторую молекулу. Этот вид связи существует в воде, спирте, карбоновых кислотах и т. д., а внутримолекулярной водородной связи – в ароматических органических соединениях.

### *III. Основная часть.*

Сейчас предлагаю вспомнить, что водородная связь существует так же в белках, нуклеиновых кислотах, аминокислотах и в молекулах ДНК и РНК, которые составляют основу всего живого.

Наша конференция посвящена изучению биологической роли водородных связей, и сегодня мы попытаемся вкратце их раскрыть.

После прослушивания информации вам будут заданы вопросы, на которые вы должны будете ответить, а именно:

За счет чего образуется водородная связь? Какова роль водородной связи?

Начнем с водородной связи в белках.

Выступает учащийся с докладом о водородной связи в белках.

Далее учащиеся, подготовившие дополнительную информацию по данному вопросу, выступают с сообщениями.

Выступает учащийся с докладом о водородной связи в молекуле ДНК и РНК.

Далее учащиеся, подготовившие дополнительную информацию по данной проблеме, выступают с сообщениями.

Теперь, когда мы выслушали все доклады и сообщения, можем приступить к обсуждению.

Какова же биологическая роль водородной связи в белках? А в молекуле РНК и ДНК? А в передаче наследственной информации?

Учащиеся зачитывают краткие конспекты:

1. Наибольшую роль в организации структур молекул биополимеров играет внутримолекулярная водородная связь. Эта связь определяет вторичную структуру белковых молекул. Полипептидная цепь, закрученная в спираль, витки которой удерживаются от раскручивания за счет образования водородных связей между пептидными фрагментами участков белковой молекулы.

2. Двойная спираль дезоксирибонуклеиновой кислоты – ДНК – построена в полном соответствии с принципом комплементарности, или дополненности. Он заключается в том, что напротив аденинового нуклеотида (А) одной полинуклеотидной цепи всегда располагается не любой, а только тиминный нуклеотид (Т), а напротив гуанинового

нуклеотида (Г) – обязательно цитозиновый нуклеотид (Ц). Все дело в том, что между этими нуклеотидами возникают водородные связи: между А и Т – две водородные связи, между Ц и Г- три.

3. При самоудвоении ДНК водородные связи разрываются, полинуклеотидные цепи раскручиваются и расходятся. Каждая цепь служит матрицей для образования на ней комплементарной цепи за счет возникновения новых водородных связей. Таким образом, после репликации образуются две дочерние молекулы ДНК, в каждой из которых одна спираль была взята из родительской ДНК, а вторая (комплементарная) спираль синтезирована заново.

4. Не менее важны водородные связи и в процессе транскрипции, т.е. переписывания информации о составе синтезируемого впоследствии белка на полинуклеотидную цепь иРНК.

#### *IV. Заключительное слово. Награждение.*

Значение водородной связи, которая широко распространена, велико в биологических и химических процессах. Существование Н-связи в воде определяет благоприятные условия для жизни на Земле. Эта связь существенна для структуры белков и многих других веществ, необходимых для всего живого. Возможность образования Н-связи параллельно с обычными валентными связями необходимо всегда учитывать при изучении строения веществ и их реакционной способности. Возникновение Н-связей, которое облегчает перенос протона, имеет существенное значение в кислотно-основном катализе, окислительно-восстановительных и многих подобных и важных в науке и технике процессах. Не случайно как многочисленны в последние годы исследования, посвященные вопросам природы и механизма действия водородной связи.

Всем ученикам подготовившим доклад вручаются памятные грамоты за участие в конференции «Биологическая роль водородной связи».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения работы проведен анализ содержания школьных учебников химии и биологии с целью изучения вопросов, сопряженных с изучением вопросов супрамолекулярной химии. Подготовлен комплект заданий, направленных на раскрытие понятий супрамолекулярной химии при изучении тем школьных учебников. Проведен анализ Интернет-ресурсов, содержащих информацию по вопросам супрамолекулярной химии и нанохимии. Отобраны примеры лабораторных работ, в рамках которых могут раскрываться вопросы супрамолекулярной химии. Подготовлена разработка мероприятия, направленного на раскрытие понятия о водородной связи, как одном из видов взаимодействия, играющего ведущую роль при формировании супрамолекулярных систем.

По результатам работы можно сделать ряд выводов.

1. В школьных учебниках химии и биологии отсутствует как представление о супрамолекулярной химии, так и формулировка основных понятий этого раздела химии.

2. Несмотря на отсутствие в школьных учебниках понятий супрамолекулярной химии, в них включена информация о типах взаимодействий, формирующих супрамолекулярные системы, а также о многих представителях, относящихся к супермолекулам: хлорофилл, гемоглобин, витамин В12, нуклеиновые кислоты и белки.

3. В сети Интернет существует достаточное количество информационных ресурсов, содержащих информацию, позволяющую решать задачи, связанные с вопросами супрамолекулярной химии, проводить подготовку к олимпиадам по химии и биологии, а также выполнять работы научно-исследовательского и проектного характера.

4. Раскрытие понятий супрамолекулярной химии возможно через выполнение заданий, конкретизирующих вопросы, изучаемые в школьном

курсе: химическая связь, межмолекулярные взаимодействия, нуклеиновые кислоты, белки, фотосинтез, дыхание, обмен веществ.

5. Изучение понятий супрамолекулярной химии возможно через постановку лабораторных работ, направленных на демонстрацию супрамолекулярных эффектов в распространенных системах, например, молоко, жидкие кристаллы, крахмал.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Безбородов В. С. Современные направления развития многофункциональных материалов: анизотропия, самоорганизующиеся системы супрамолекулярная химия / В. С. Безбородов, С. Г. Михалёнок, Н. М. Кузьменок // Технология органических веществ : материалы 83-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием). – Минск : БГТУ, 2019. – С. 13.

2. Брянцева Н. П. Занимательная химия / Н. П. Брянцева // Занимательная химия : [сайт]. – URL: <https://www.alto-lab.ru/> (дата обращения: 02.04.2021).

3. Волкова С. А. Отражение в содержании школьного образования информации о достижениях в области супрамолекулярной химии / С. А. Волкова // Актуальные проблемы химического и экологического образования : сборник научных трудов 63 Всероссийской научно-практической конференции химиков с международным участием. – Санкт-Петербург : РГПУ, 2016. – С. 54–59.

4. Волкова С. А., Паршутина Л. А. Супрамолекулярная химия как источник обновления содержания школьного естественнонаучного образования / С. А. Волкова, Л. А. Паршутина // Педагогический журнал Башкортостана. – 2018. – № 2 (75). – С. 15–23.

5. Габриелян О. С. Химия. Углубленный уровень. 11 кл. : учебник / О. С. Габриелян, Г. Г. Лысова. – 2-е изд., стереотип. – Москва : Дрофа, 2015. – 397 с.

6. Габриелян О. С. Химия. 11 класс. Базовый уровень : учеб. для общеобразоват. учреждений / О. С. Габриелян. – 2-е изд., стереотип. – Москва : Дрофа, 2007. – 2018. – 112 с.

7. Габриелян О. С. Химия.10 класс. Базовый уровень : учеб. для общеобразоват. учреждений / О. С. Габриелян. – 2-е изд., стереотип. – Москва : Дрофа, 2007. – 2018. – 112 с.

8. Гудилин Е. А. Нанометр. Нанотехнологическое сообщество / Е. А. Гудилин// Нанометр. Нанотехнологическое сообщество: [сайт]. – URL: <http://www.nanometer.ru/about.html> (дата обращения: 26. 04.2021).

9. Дежина О. А. Рассмотрение химических процессов с точки зрения супрамолекулярной химии / О. А. Дежина, А. Н. Корнеева, В. В. Корнеева // Химия, новые материалы, химические технологии : межвузовский сборник научных трудов. – Воронеж : ВГТУ, 2016. – С. 123–127.

10. Дерябна Г. И. Органическая химии / Г. И. Дерябина, Г. В. Кантария, Д. И. Грошев // Органическая химия: [сайт]. – URL: <https://www.orgchem.ru/> (дата обращения: 13.05.2021).

11. Дроздов А. А. Преподавание нанохимии и нанотехнологии в школе / А. А. Дроздов // DOCPLAYER: [сайт]. – URL: [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru) (дата обращения 22.04.2021).

12. Еремин В. В. Нанотехнологическое образование: проблемы и перспективы. В кн.: Современные тенденции развития химического образования: фундаментальность и качество / В. В. Еремин, А. Д. Плутенко – Москва, 2009. – С. 141–152.

13. Еремин В. В. Нанохимия и нанотехнологии. 10–11 класс. Профильное обучение. / В. В. Еремин, А. А. Дроздов. – Москва : Дрофа, 2009. – 109 с.

14. Ерофеева М. В. Что изучает супрамолекулярная химия / М. В. Ерофеева // СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ–2013 : материалы XIV международной молодежной научной конференции: в 5-ти частях. – Ухта : УГТУ, 2013. – С. 332–334.

15. Зайцев С. Ю. Супрамолекулярные биохимические системы для биологии и биотехнологии / С. Ю. Зайцев // Актуальные проблемы биохимии и бионанотехнологии : материалы IV Международной научной Интернет-

конференции. – Казань : Индивидуальный предприниматель Синяев Д. Н., 2013. – С. 91–92.

16. Зоркий П. М. Супрамолекулярная химия: возникновение, развитие, перспективы / П. М. Зоркий, И. Е. Лубинина // Химия. – 1999. – №5(40). – С. 300.

17. Ибатуллин А. А. Интеграция знаний о супрамолекулярной химии в контент школьного естественнонаучного образования / А. А. Ибатуллин // Актуальные проблемы биологической и химической экологии: материалы VII Международной научно-практической конференции (МГОУ, г. Москва, 18–19 февраля 2021 г.) / отв. ред. Д. Б. Петренко, ред. колл.: Т. М. Ефимова, А. В. Москаев, С. В. Афанасьева и др. – Москва : ИИУ МГОУ, 2021. – 650 с.

18. Короткова А. В. Супрамолекулярная химия как одно из перспективных направлений развития химической науки / А. В. Короткова, О. М. Плужник, Н. М. Потемкина // Успехи современной науки и образования. – 2017. – Т. 2. – № 6. – С. 109–117.

19. Крупина Т. С. Построение курса органической и супрамолекулярной химии в гуманитарном вузе / Т. С. Крупина, Л. Д. Литвищенко // Проблемы высшего образования. – 2010. – № 1. – С. 274–276.

20. Крылатова Я. Г. Формирование способности к самоорганизации и самообразованию в рамках изучения дисциплины «Органическая химия и основы супрамолекулярной химии» / Я. Г. Крылатова, М. А. Лунёва // Качественное экологическое образование и инновационная деятельность - основа прогресса и устойчивого развития России : сборник статей международной научно-практической конференции. – Саратов : Общество с ограниченной ответственностью «Амирит», 2017. – С. 50–52.

21. Курашов В. И. Супрамолекулярная и нанохимия: философско-методологический анализ / В. И. Курашов. – Москва : [б. и.], 2018. – №3(23). – С. 79–87.

22. Куринный А. Н. NanoNewsNet.ru / А. Н. Куринный // NanoNewsNet.ru : [сайт]. – URL: <https://www.nanonewsnet.ru/> (дата обращения: 03.04.2021).

23. Лен Ж.-М. Супрамолекулярная химия. Концепции и перспективы / Ж.-М. Лен. – Новосибирск: Наука, Сибирское предприятие РАН, 1998. – 333 с.

24. Меньшиков В. В. Нанохимия: школьный лабораторный эксперимент / В. В. Меньшиков, А. А. Сутягин, М. Ж. Симонова, Н. М Лисун // Химия в школе – 2019. – №3. – С.68–72.

25. Максutow И. А. ПостНаука / И. А. Максutow, Р. В. Авдеев // ПостНаука : [сайт]. – URL: <https://postnauka.ru/> (дата обращения: 05.04.2021).

26. Озерянский В. А. Познаем наномир: простые эксперименты / В. А. Озерянский, М. Е. Клецкий, О. Н. Буров. – Москва : Бинум. Лаборатория знаний, 2015. – 161 с.

27. Пичугина Д. А. Неизвестные свойства известного металла / Д. А. Пичугина, О. Н Рыжова // Химия в школе. – 2006. – № 3. – С. 6–14.

28. Паршутина Л. А. Содержание естественнонаучного образования как основа формирования метапредметных результатов: Научно-методическое пособие / Л. А. Паршутина, П. И. Самойленко – Москва : АПК и ППРО, 2016. – 120 с.

29. Порозова С. Е. Введение в супрамолекулярную химию : учебное пособие / С. Е. Порозова. – Пермь : Изд-во Пермского нац. исслед. политехнического ун-та, 2012. – 120 с.

30. Разумов В. Ф. Фундаментальные проблемы химии супрамолекулярных и наноразмерных структур / В. Ф. Разумов // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2012. – № 7. – С. 1276.

31. Саулевич Ф. А. Супрамолекулярной химии – 40 лет! / Ф. А. Саулевич // Химия для школьников. – 2018. – №3. – С. 34–40.

32. Селянин А. А. Цифровой наноград / А. А. Селянин // Цифровой наноград: [сайт]. – URL: <https://nano-grad.ru/> (дата обращения: 17.04.2021).

33. Сивоглазов В. И. Биология. Общая биология. Базовый уровень: учеб. для 10–11 кл. общеобразовательных учреждений / В. И. Сивоглазов, И. Б. Агафонова, Е. Т. Захарова; под ред. акад. РАЕН, проф. В. Б. Захарова. – 6-е изд., доп. – Москва : Дрофа, 2010. – 381 с.

34. Сонин Н. И. Биология. Человек. 8 класс : учеб. для общеобразоват. учреждений / Н. И. Сонин, М. Р. Сапин. – 5-е изд., стереотип. – Москва : Дрофа, 2018. – 287 с.

35. Стив Д. В. Супрамолекулярная химия. В 2 т. / Д. В. Стив, Д. Л. Этвуд. – Москва : Академкнига, 2007. – Том 1. – 480 с. – Том 2. – 416 с.

36. Сутягин А. А. Изучение понятий супрамолекулярной химии при подготовке будущих учителей / А. А. Сутягин, В. В. Меньшиков // Актуальные проблемы естественнотехнологического образования: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. – Саранск : МГПИ им. М.Е. Евсеева – 2019. – С. 199–203.

37. Сутягин, А. А. Знакомство с супрамолекулярной химией при подготовке школьников к олимпиадам / А. А. Сутягин, А. А. Фабер // Инновационные процессы в химическом образовании в контексте современной образовательной политики: материалы V Всерос. науч.-практ. конф. с Междунар. участием. – Челябинск : ЮУрГГПУ, 2017. – С. 154–157.

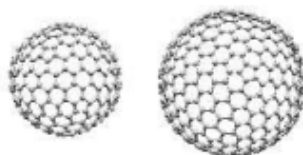
38. Федорова О. А. Супрамолекулярная химия: учеб. пособие / О. А. Федорова. – Москва : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2010. – 204 с.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1

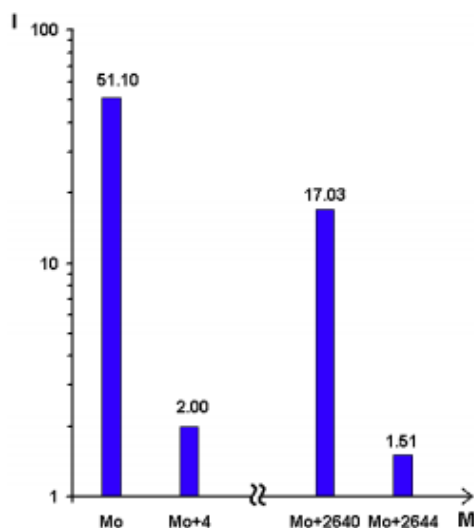
Задание по химии для школьников 7-11 класса



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)  
Задача 10. Синтез двух фуллеренов



В некотором реакторе при температуре 900 °С в атмосфере инертного газа был проведен синтез смеси двух фуллеренов  $C_{n1}$  и  $C_{n2}$ . Помимо них, полученная смесь продуктов содержит еще два продукта:  $A_1$  и  $A_2$ . Навеска такой смеси сгорает без остатка с образованием двух газов  $X$  и  $Y$ , при этом  $D_Y(X) = 11$ . Упрощенный масс-спектр полученной смеси приведен на рисунке.



1. Расшифруйте  $X$  и  $Y$ . (1 балл)
2. Опишите структуру  $A_1$  и  $A_2$ . Как называется такой тип соединений? Приведите еще несколько примеров соединений такого же типа. (2 балла)
3. На основании данных масс-спектра:
  - 3.1. Оцените значения  $n_1$  и  $n_2$ . (4 балла)
  - 3.2. Найдите парциальное давление инертного газа в реакторе (в атм). (3 балла)

По пп. 3.1 – 3.2 перечислите сделанные вами допущения.

Длину связи С–С в обоих фуллеренах примите постоянной и равной 0.142 нм.

Всего – 10 баллов

Ак  
Чт  
"П:

Рисунок 1.1 – Пример задачи по химии для школьников 7-11 класса (заочный тур)

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Веб-учебник «Органическая химия»

The screenshot shows a web browser window with the URL [www.orgchem.ru](http://www.orgchem.ru). The page title is "Часть V. Высокомолекулярные соединения". The navigation menu on the left includes sections 1 through 6, with sub-sections. The main content area is titled "6.4.3. Биосинтез белка" and contains a paragraph about computer simulation of the protein synthesis mechanism. Below the text is a video player titled "Нуклеиновые кислоты в биосинтезе..." and another video player titled "Биосинтез белков". A list of references is provided below the video players. A Windows activation watermark is visible in the bottom right corner.

1. Введение  
2. Основные понятия  
2.1. Полимер, макромолекула  
2.2. Мономер  
2.3. Структурное звено  
2.4. Степень полимеризации  
2.5. Молекулярная масса  
2.6. Геометрические формы  
2.7. Контрольные вопросы  
3. Строение макромолекул  
3.1. Химическое строение  
3.2. Пространственное строение  
3.3. Контрольные вопросы  
4. Отличительные свойства полимеров  
4.1. Гибкость макромолекул  
4.2. Гибкость и свойства полимеров  
4.3. Физические состояния полимеров  
4.4. Контрольные вопросы  
5. Способы образования полимеров  
5.1. Полимеризация  
5.1.1. Мономеры в полимеризации  
5.1.2. Схема полимеризации  
5.1.3. Соплимеризация  
5.2. Поликонденсация  
5.2.1. Мономеры в поликонденсации  
5.2.2. Характерные признаки поликонденсации  
5.3. Названия полимеров  
5.4. Важнейшие синтетические полимеры  
5.5. Контрольные вопросы  
6. Природные полимеры  
6.1. Натуральный каучук  
6.2. Полисахариды  
6.2.1. Крахмал  
6.2.2. Целлюлоза  
6.3. Белки  
6.4. Нуклеиновые кислоты  
6.4.1. Ди- и полинуклеотиды  
6.4.2. ДНК и РНК  
6.4.3. Видео "Биосинтез белка"  
6.4.4. Видео "ДНК. Код Жизни"  
6.5. Контрольные вопросы

ИГРА "Биополимер"  
ИГРА "Нуклеозид"  
ИГРА "ДНК"  
Кроссворд 1  
Кроссворд 2  
Кроссворд 3

6.4.3. Биосинтез белка

Компьютерная мультипликация наглядно иллюстрирует сложный молекулярный механизм обработки генетической информации, роль ДНК и РНК в управлении биосинтезом белка.

См. также:

- [Биосинтез белков, мир РНК и происхождение жизни](#) (акад. А.С. Спирин //Вестник РАН, 2001, № 4);
- [Химики преодолели главное препятствие на пути к абиогенному синтезу РНК](#) (elementy.ru);
- [Гипотеза мира РНК](#) (ru.wikipedia.org);
- [Гипотеза мира полиароматических углеводородов](#) (ru.wikipedia.org).

Активация Windows  
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Рисунок 2.1 – Вид экрана веб-учебника «Органическая химия»

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

### Интерактивный ресурс «Наноград»



Рисунок 3.1 – Вид главной страницы интерактивного ресурса «Наноград»



## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

### Виртуальная образовательная лаборатория – VirtuLab

The screenshot displays the VirtuLab website interface. At the top, the logo 'VirtuLab' is accompanied by the text 'Виртуальная образовательная лаборатория'. A navigation menu includes 'Главная', 'ФИЗИКА', 'ХИМИЯ', 'БИОЛОГИЯ', 'ЭКОЛОГИЯ', 'РЕФЕРАТЫ', 'АСТРОНОМИЯ', and 'Статьи'. The main content area features several video material thumbnails, each with a title and a 'Подробнее...' button. The thumbnails include: 'Знакомство с образцами химических средств', 'Знакомство с образцами металлов', 'Знакомство с образцами металлов и сплавов', 'Знакомство с рудами железа', 'Растворение железа и цинка в соляной кислоте', 'Знакомство с соединениями алюминия', and 'Вытеснение одного металла другим из раствора соли'. The bottom right thumbnail is partially cut off, with the title 'Распознавание хлорид-, сульфат-, карбонат-анионов и катионов аммония, натрия, калия, кальция, бария'.

Рисунок 4.1 – Вид экрана с примерами видеоматериалов на сайте VirtuLab

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

### Информационный ресурс «NANO NEWS NET – Нанотехнологии»



Публикации ▾ Азбука ▾ Общение ▾ Аналитика ▾ Тендеры ▾ О сайте ▾ Фонд ▾

Главная

Образовательные ролики

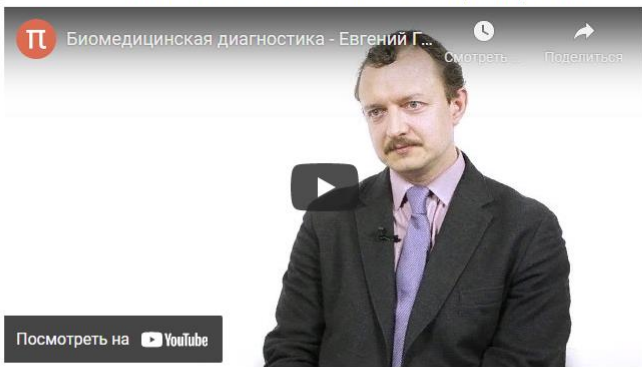
-->


# ПостНаука

Цикл научно-популярных лекций на портале «[Постнаука](#)»

**Биомедицинская диагностика**

Химик **Евгений Гудилин** о диагностике по единичным клеткам и гигантском комбинационном рассеянии



Посмотреть на  YouTube

---

Цикл научно-популярных лекций «[Мир нанотехнологий](#)»

Лекции созданы издательством «БИНОМ. Лаборатория знаний» по заказу ГК «РОСНАНО».

---

Видеолекторий Научно Образовательного Центра МГУ

«[Фундаментальные основы нанотехнологий](#)»

Рисунок 5.1 – Вид экрана Информационный ресурс «NANO NEWS NET – Нанотехнологии»

## ПРИЛОЖЕНИЕ 6

### Информационный ресурс «Занимательная химии»



Занимательная  
Химия

#### Занимательная химия

Интересные химические опыты и факты о химии. Биографии выдающихся ученых и познавательные материалы из мира химии.



Химические опыты

Занимательная химия

Школа

ЖЗЛ

Хозяйке на заметку

Таблица Менделеева

#### Химические опыты для детей

##### Рецепты приготовления неньютоновской жидкости своими руками

Рубрика: Химические опыты для детей Автор: ivan



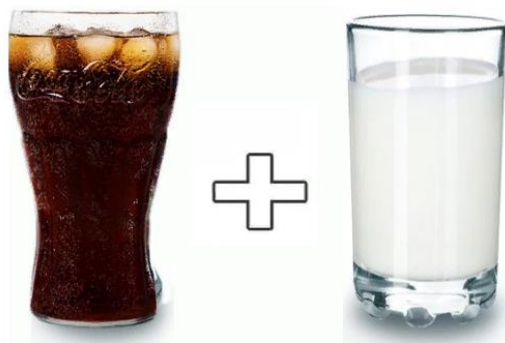
##### Инструкция, как вырастить кристаллы своими руками

Рубрика: Химия детей Автор: ivan



##### Кола и молоко

Рубрика: Химические опыты для детей Автор: chemist



##### Опыт с йодом и крахмалом

Рубрика: Химические опыты для детей Автор: chemist

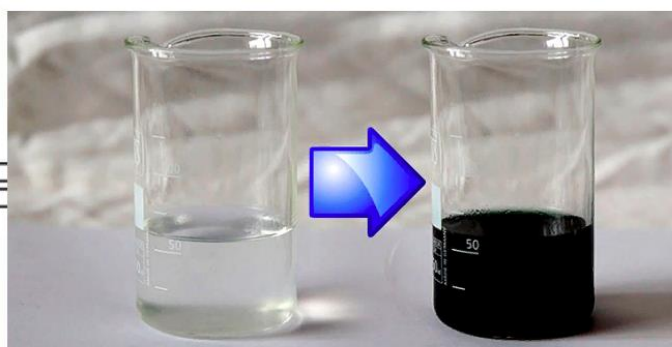


Рисунок 6.1 – Вид экрана информационного ресурса «Занимательная химии» с примерами химических опытов

## ПРИЛОЖЕНИЕ 7

### Информационный ресурс «ПостНаука»

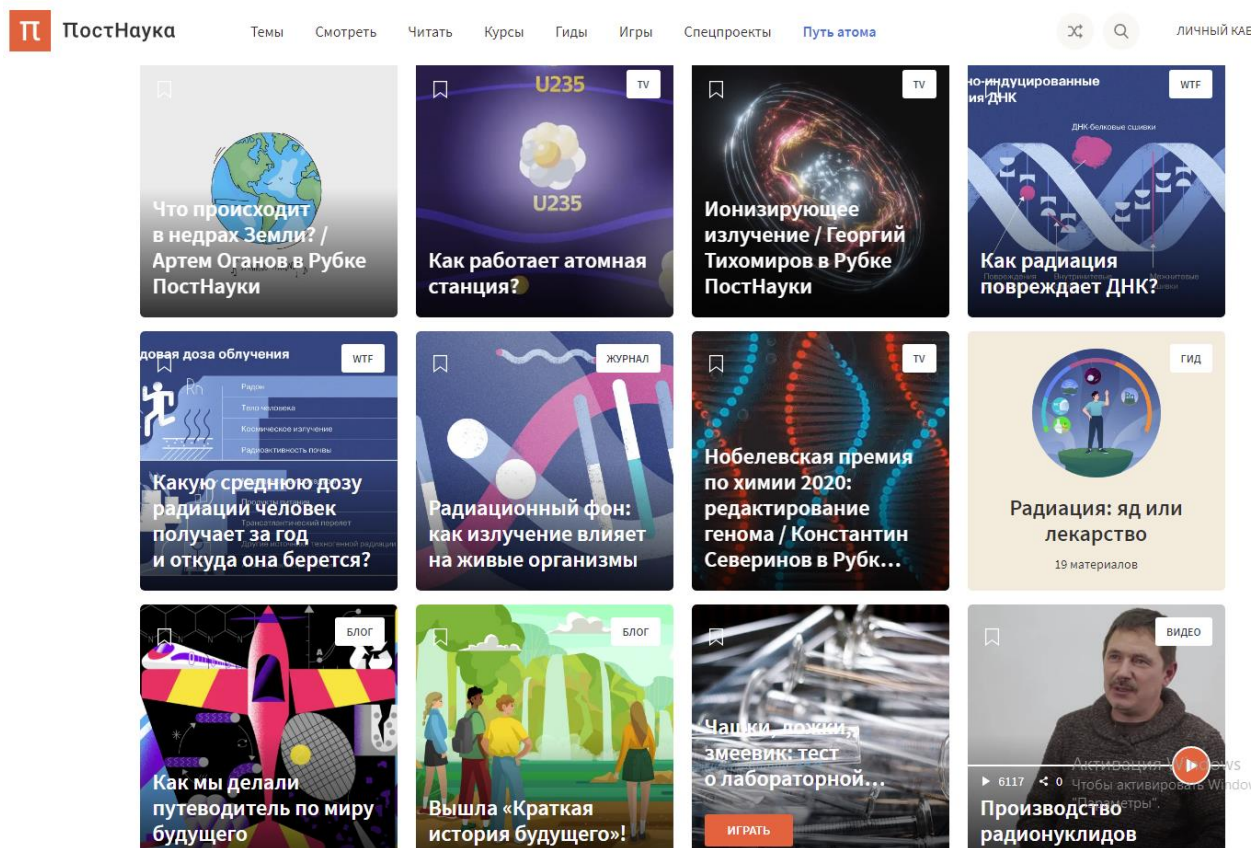


Рисунок 7.1 – Вид главной страницы информационного ресурса «ПостНаука»