

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский ядерный
университет «МИФИ»

«МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О
СОВРЕМЕННЫХ ДОСТИЖЕНИЯХ НАУКИ И ТЕХНИКИ В ШКОЛЬНЫЙ
КУРС ХИМИИ В СООТВЕТСТВИИ С ФГОС»

Ананьева Е.А.

Москва 2016 г.

Оглавление

1. Введение. Цели и задачи основной образовательной программы среднего общего образования	3
2. Междисциплинарная интеграция. О взаимосвязи химии и физики: принцип дополнительности	4
2.1. <i>Методология химических исследований</i>	5
2.2. <i>Особенности языка и логики химии</i>	6
2.3. <i>Принцип дополнительности</i>	9
3. «Методические аспекты образовательной интеграции в области учебно-исследовательской и проектной деятельности школьников на базе современных научно-технических достижений».	11
3.1. <i>Анализ причин снижения уровня мотивации школьников в области естественно-научных дисциплин</i>	11
3.2. <i>Проектная и научно-исследовательская практика учащихся как инструмент образовательной интеграции современных научно-технических достижений в курс преподаваемых дисциплин</i>	14
3.3. <i>Возможности интегрирования курсов школьных образовательных дисциплин с научно-исследовательскими проектами учащихся</i>	16
3.4. <i>Пример межпредметной интеграции при решении исследовательской задачи в рамках школьного образовательного проекта</i>	18
4. Нобелевские премии по химии и перспективные направления развития современной науки.....	21
4.1. <i>Молекулярные машины – 2016 г.</i>	21
4.2. <i>Супрамолекулярная химия. Краун-эфир, 1987 г.</i>	32
4.3. <i>Наноматериалы на основе углерода. Фуллерены, 1996 г.</i>	39
5. Заключение	46
6. Список литературных источников	47

1. Введение. Цели и задачи основной образовательной программы среднего общего образования

К важным целям и задачам основной образовательной программы среднего общего образования отнесено:

- осознание значимости науки,
- овладение достоверной информацией о передовых достижениях и открытиях мировой и отечественной науки,

Отнесена:

- необходимость формирования у обучающихся мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки,
- необходимость формирования научного типа мышления,
- готовность к научно-техническому творчеству,
- способность использовать научную терминологию, ключевые понятия, методы и приемы научного исследования;
- заинтересованность в научных знаниях об устройстве мира и общества;

В системе естественно-научного образования химия как учебный предмет занимает важное место в познании законов природы, формировании научной картины мира, химической грамотности, необходимой для повседневной жизни, навыков здорового и безопасного для человека и окружающей его среды образа жизни, а также в воспитании экологической культуры, формировании собственной позиции по отношению к химической информации, получаемой из разных источников [1].

Изучение предмета «Химия» в части формирования у обучающихся научного мировоззрения, освоения общенаучных методов познания, а также практического применения научных знаний основано на межпредметных связях с предметами областей естественных, математических и гуманитарных наук.

Программа учебного предмета «Химия» составлена на основе модульного принципа построения учебного материала в соответствии с

приказами Минобрнауки № 1015 от 30 августа 2013 года и N 734 от 17 июля 2015 г., определяющими порядок организации и осуществления образовательной деятельности "Описание логической и содержательно-методической взаимосвязи дисциплины (модуля) с другими блоками, дисциплинами (модулями) и практиками"

2. Междисциплинарная интеграция. О взаимосвязи химии и физики: принцип дополнительности

В настоящее время происходит сокращение объема фундаментальных естественнонаучных дисциплин в содержании и школьного, и высшего образования. Ситуация обостряется тем, что в классификациях естественных наук многие авторы не выделяют химию в качестве самостоятельной науки, ее редуцируют ("сводят") к физике [2]. Вместе с тем, еще в 1899 г. Д.И. Менделеев в предисловии к "Истории химии" Э. Мейера писал, что химия "выработала и продолжает развивать свой кругозор, который идет в параллель с чисто механическим и обещает его пополнить, хотя и донныне еще многие желают всю химию подчинить чисто механическим представлениям. Но если науки об организмах приводят к пониманию индивидуальных особенностей, а науки физико-механического содержания стараются совершенно устранить это понятие об индивидуализме, то химия, уже своим учением о самостоятельности химических элементов, очевидно, занимает срединное положение, оправдывающее тот интерес, который она представляет для философской мысли".

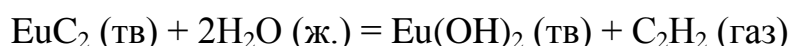
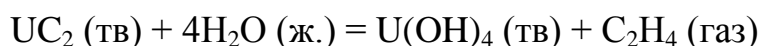
Химики высказывают по этому вопросу полярные мнения. Например, утверждается [3], что "сущность химии как фундаментальной науки заключена в теоретических представлениях, имеющих не только неэмпирический, но в не меньшей степени полуэмпирический и эмпирический характер". Авторы учебного пособия [4] считают химию отдельной наукой, поскольку она имеет "своеобразный, уникальный предмет изучения - колоссальное разнообразие веществ" и, более того, "сама создает

свой предмет. ... Физика изучает законы природы, биология - законы жизни, все это существует и без нас. А химики изучают то, что сделали, придумали, синтезировали и изучили сами". В то же время основные законы химии (Периодический закон, закон сохранения и закон действующих масс) названы авторами "проекцией" законов физики на химические явления". Согласиться с такой трактовкой нельзя: материальный мир, состоящий из химических веществ, существует объективно. Его исследование методами химии является необходимым условием выживания человечества.

Отдельные науки отличаются, прежде всего, методами исследования и наличием проблемно-ориентированных языков. Рассмотрим особенности методов классической химии.

2.1. Методология химических исследований

Свойства и строение вещества в химии устанавливают по результатам превращений. Например, строение карбидов урана UC_2 и европия EuC_2 можно установить по продуктам их взаимодействия с водой. При гидролизе этих соединений кристаллические исходные реагенты превращаются в аморфные, и наблюдается выделение газообразных компонентов. По плотности газов относительно воздуха определяют молекулярную массу газов. Установлено, что при гидролизе карбида урана выделяется этилен C_2H_4 , а при гидролизе карбида европия - ацетилен C_2H_2 . Понятно, что в исходных карбидах атомы металлов занимают места, по которым при гидролизе к фрагментам $C=C$ и $C\equiv C$ присоединились атомы водорода. Следовательно, степени окисления урана и европия в карбидах равны +4 и +2, соответственно, а реакции гидролиза записываются в виде



Разнообразие признаков, свидетельствующих о происходящих в системе химических превращениях, с использованием соответствующей базы справочных данных, позволяет расшифровать продукты превращения. В химическом опыте «вулкан» мы можем наблюдать изменение цвета

соединений хрома и это свидетельствует об изменении его степени окисления, выделение газообразных веществ, паров воды, тепла (рис1.)

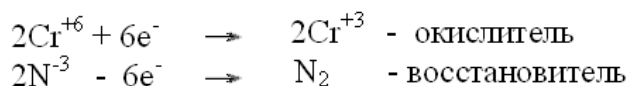
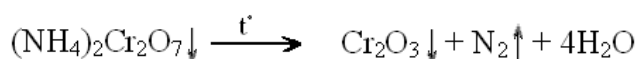
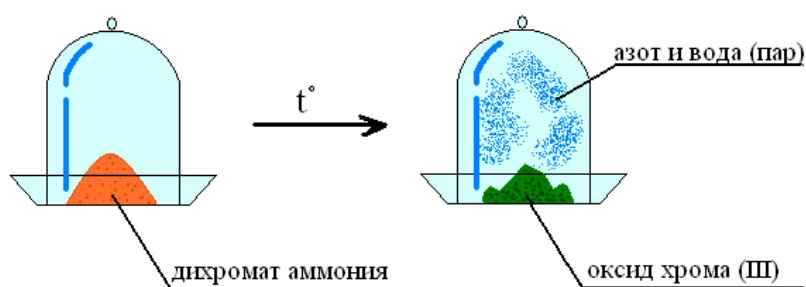


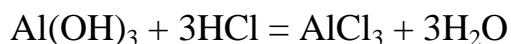
Рис. 1. Химический опыт «Вулкан»

Этот метод исследования нобелевский лауреат в области физики Р. Фейнман охарактеризовал следующим образом [5]: "Чтобы узнать, как расположены атомы в какой-нибудь невероятно сложной молекуле, химик смотрит, что будет, если смешать два разных вещества. Да физик нипочем не поверит, что химик, описывая расположение атомов, понимает, о чем говорит. Но вот ... появился физический метод, который позволяет разглядывать молекулу ... и описывать расположение атомов не по цвету раствора, а по измерению расстояний между атомами. И что же? Оказалось, что химики почти никогда не ошибаются".

2.2. Особенности языка и логики химии

Обычно под языком химии понимают химические символы элементов, формулы соединений, уравнения реакций, номенклатуры названий. Свойства того или иного вещества устанавливают относительно других веществ по результатам превращений в тех или иных химических системах. Естественно, что в этой логике отношений многие вещества проявляют свойства, которые отражаются в химической терминологии терминами, которые являются антонимами.

В химии широко представлены кислотно-основные взаимодействия, рассмотрение которых проводят с различных позиций. В терминологии нобелевского лауреата С. Аррениуса кислоты - вещества, при электролитической диссоциации которых в водных растворах отщепляются протоны, а основания - вещества, продуцирующие при диссоциации ионы гидроксила. Были выделены гидроксиды металлов, которые проявляют свойства и кислот, и оснований. Например, относительно кислоты в реакции

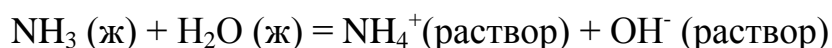


гидроксид алюминия проявляет свойства основания, а относительно основания в реакции

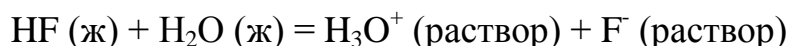


проявляет свойства кислоты. Это явление кислотно-основной двойственности в химии (амфотерность) в школьном курсе химии рассматривается как исключение. Однако оно является скорее правилом, чем исключением.

Рассмотрим кислотно-основные взаимодействия в различных средах на основе представлений Бренстеда-Лоури. Здесь кислота рассматривается как вещество, состоящее из молекул или ионов - доноров протонов, а основание - как вещество, состоящее из молекул или ионов - акцепторов протонов. Установлено, например, что в различных растворителях молекулы воды проявляют химическую двойственность. Так, при взаимодействии в жидком аммиаке



вода проявляется свойства сильной кислоты, а в жидком фтороводороде



она проявляет свойства сильного основания.

Не менее интересны результаты качественного определения структуры ассоциатов, которые образуются в жидкой воде. Согласно оценкам, сделанным по различным экспериментальным данным, число водородных

связей, приходящихся на молекулу воды, больше двух. Можно полагать, что в воде существует какое-то количество тримеров воды.

В структуре тримера (рис. 2) крайние молекулы воды согласно представлениям Бренстеда-Лоури является основанием и кислотой, а средняя молекула - и кислотой, и основанием.

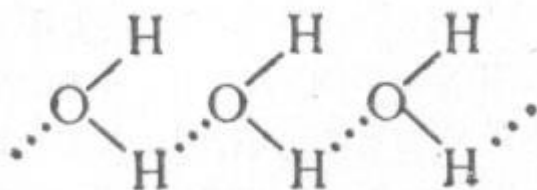
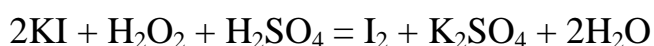


Рис. 2. Структурная формула тримера воды

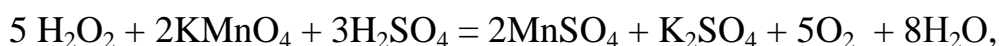
Бифункциональность присуща структуре многих веществ, в частности, аминокислот. В том, что эти соединения существуют не только в молекулярной форме $\text{HO(O)C-CH}_2\text{-NH}_2$, но и в виде цвиттерионов $\text{O(O)C-CH}_2\text{-NH}_3^+$, можно убедиться на примере простейшей аминокислоты – глицина.

Проявление веществами противоположных свойств характерно не только для кислотно-основных, но и для других химических свойств. Так, электролитическая диссоциация веществ во многом определяется природой растворителя. Например, хлороводород в воде является сильным электролитом, в этиловом спирте - слабым электролитом, а в бензоле - неэлектролитом.

Многие вещества проявляют противоположные свойства в окислительно-восстановительных реакциях. Например, пероксид водорода в водных растворах, содержащих иодид-ионы, в реакции

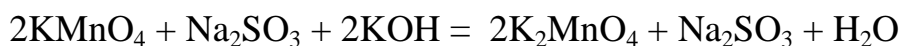
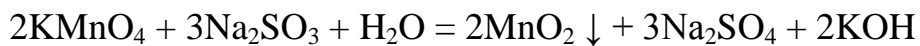


принимает электроны, то есть является окислителем. В системах H_2O_2 с перманганатом калия протекает реакция



то есть пероксид водорода является восстановителем.

Продукты окислительно-восстановительных реакций зависят от водородного показателя среды, что иллюстрируется следующими уравнениями



В этих реакциях образующиеся продукты превращения легко распознаются по цвету раствора и образованию осадка MnO_2 .

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что утверждения типа (либо..., либо...), характерные для формальной логики, в логике отношений, свойственной химии, сменяются утверждениями типа (и ..., и ...), содержащими термины - антонимы. Эту особенность логики химии обычно не доводят до сведения школьников. В результате для многих людей химия остается трудной для понимания наукой. Понятно, что закон исключенного третьего формальной логики в химии можно использовать лишь для полностью охарактеризованных химических систем. Например, без указания реагента, относительно которого устанавливается свойство, некорректен, например, следующий вопрос: является ли гидроксид цинка $\text{Zn}(\text{OH})_2$ кислотой или основанием?

2.3. Принцип дополтельности

Открытие дуализма «волна-частица» в квантовой физике потребовало для его объяснения больших усилий выдающихся физиков. В 1927 г. нобелевский лауреат Н. Бор сформулировал принцип дополтельности, согласно которому, для полного описания квантово-механических явлений необходимо применять два взаимоисключающих («дополнительных») набора классических понятий, совокупность которых даёт исчерпывающую информацию об этих явлениях как о целостных.

Тейяр де Шарден [6] утверждал что какой-либо феномен, точно установленный хотя бы в одном месте, в силу фундаментального единства мира имеет повсеместные корни и всеобщее содержание. Действительно,

необходимость использования для целостного описания химических свойств вещества набора различных, в том числе и противоположных терминов, установлена в химии еще в XIX веке.

История науки свидетельствует о том, что многие открытия химиков стимулировали развитие и становление новых разделов физики. Ряд явлений, например, высокотемпературная сверхпроводимость до настоящего времени не имеет общепринятого теоретического объяснения. Не до конца выявлена природа химической связи в металлокластерах, первый представитель которых $Ta_6Cl_{14} \cdot 7H_2O$ был получен в 1907 г. Между тем, в перспективе ожидается открытие порядка 10^9 индивидуальных соединений этого класса [7]. В [8] отмечено, что "структурная химия кластеров соединяет новизну строительных принципов и совершенство геометрических форм молекул и ионов, содержащих неслыханные для прочих классов веществ фрагменты: полиэдры из атомов металла, скрепленные связями металл-металл".

Рекомендации к школьному курсу химии. Свойства любого вещества в химии определяют по результатам взаимодействий с другими веществами. Использование логики отношений приводит к тому, что в общем случае целостное описание химических свойств вещества достигается наборами различных терминов, включая антонимы. В зависимости от природы реагентов, относительно которых устанавливаются химические свойства, вещества могут быть и кислотами, и основаниями; и окислителями, и восстановителями, то есть проявляют химическую двойственность. Эта двойственность установлена в химии задолго до открытия дуализма "волна-частица", для понимания которого Н. Бор предложил принцип дополнительности. Химия имеет все атрибуты фундаментальной науки: методологию, язык, обширные области практического применения. Свойства вещества исследуются методами и химии, и физики, и других естественных наук, что соответствует принципу дополнительности [9].

3. «Методические аспекты образовательной интеграции в области учебно-исследовательской и проектной деятельности школьников на базе современных научно-технических достижений»

Требования ФГОС СОО при получении среднего общего образования, включает формирование компетенций обучающихся в области учебно-исследовательской и проектной деятельности

Интерес учащихся к передовым технологиям в рамках развития науки и техники является мощным фактором их мотивации к получению знаний в рамках образовательного процесса и профессионального выбора. Поэтому знакомство с достижениями современной научной и инженерной мысли является важным инструментом при изучении естественно-научных дисциплин [10].

3.1. Анализ причин снижения уровня мотивации школьников в области естественно-научных дисциплин

Причины, спровоцировавшие падение интереса детей старшего школьного возраста к различным естественно-научным дисциплинам в основном имеют историческую социально-экономическую подоплеку. При этом различные причины настолько тесно переплетаются между собой, что каждая из них оказывает существенное влияние на формирование структуры другой.

Социально-экономические изменения, которые происходили на территории России с 1990 года, привели к появлению ряда условий породивших спектр причин негативного отношения подростков к творческой деятельности в технических областях. После развала СССР недостаточное финансирование научно-исследовательских организаций, нищенские должностные оклады не идущие ни в какое сравнение с доходами в сфере бизнеса, отсутствие возможности быстрого продвижения по служебной лестнице – все это вызвало интенсивный отток специалистов из предприятий и учреждений, связанных с наукоемкими технологиями, что поставило их на

границ выживания. Естественно, что подобные негативные процессы не могли не сказаться на отношении к этой проблеме подрастающего поколения, которое стало выбирать для себя в качестве перспективных направлений иные ориентиры.

Общему снижению авторитета науки в обществе, произошедшему в нашей стране за последние годы, способствовало и отсутствие у ребят подробной информации о возможностях современной науки и ее передовых областях. Причиной этого явилось резкое снижение количественного уровня научно-популярных телепередач, книг и периодических журналов, постепенно вытесняемых расширяющимся спектром различного рода развлекательных услуг, изданий и телепередач, являющихся серьезным конкурирующим фактором, отвлекающим школьников и снижающим их интерес к познавательной практике. Выстраивая ряд приоритетных ориентиров в восприятии ценностей окружающего мира, средства массовой информации оказывают серьезное влияние на формирование психологических особенностей мировоззрения школьников. Отсутствие широкой официальной пропаганды государственной поддержки науки, также создают у молодежи ощущение малой значимости этого направления в развитии государства и общества.

Экономические трудности, с которыми столкнулась Россия в последнем десятилетии двадцатого века, не могли не сказаться на привычном укладе жизни среднестатистической российской семьи. Экономические приоритеты внутри семьи, в какое-то время возобладали над проблемами воспитания и образования детей. Значительно уменьшилось время, которое родители проводили с детьми, по мере необходимости, или в творческой игре решая вместе с ними различные технические задачи, тем самым, осуществляя процесс их обучения. Это привело к резкому снижению технических навыков у современной молодежи и, как следствие, к нежеланию заниматься тем видом деятельности, в области которого наблюдается отсутствие каких бы то ни было знаний и опыта.

К сожалению, даже такие положительные тенденции, как постепенное повышение благосостояния населения, рост потребительского рынка и увеличение доли высокотехнологичных товаров действуют как негативные факторы при формировании технических навыков у детей. Складывается ситуация, когда сломавшееся устройство легче выбросить, заменив на новое, так как его починка требует использования высоких технологий, узкоспециальных знаний и оборудования, что практически недоступно в домашних условиях. В недалеком же прошлом, в условиях дефицита товаров и сервисных услуг, часто, единственной возможностью вновь воспользоваться сломавшейся вещью, была ее починка в домашних условиях. Не секрет, что дети, активно участвуя в ремонтных мероприятиях, получали необходимые умения и навыки, а зачастую приобретали и стойкий интерес к той или иной технической области.

Недостаток профессиональных кадров так же является причиной снижения не только количественного, но и качественного уровня образовательной работы в этом направлении.

Следует учитывать и то, что помимо вышеперечисленных причин общего характера, в каждом конкретном учебном заведении существует ряд локальных особенностей, влияющих на отношение его учащихся к научно-техническому творчеству. Так, причиной снижения интереса учащихся к любым внеклассным мероприятиям, выходящим за рамки урока, зачастую является их загруженность выполнением плановых учебных заданий, что особенно остро проявляется в специализированных школах с углубленным изучением ряда предметов. Так же причиной неприятия технического рода деятельности могут быть психологические особенности контингента учащихся данного учебного заведения, связанные с негативным отношением к тем или иным предметным курсам. Эта причина, также наиболее заметна в школах с профилирующим изучением дисциплин определенной направленности и конкурсным отбором учащихся по этому признаку.

Анализируя вышесказанное можно выделить следующие основные причины снижения интереса учащихся школ к научно-исследовательской деятельности и техническому творчеству.

1. Общее снижение авторитета науки в обществе.
2. Отсутствие очевидной экономической перспективы при выборе научно-технической специальности.
3. Отсутствие пропаганды государственной оценки значимости науки в развитии общества.
4. Снижение уровня популяризации научных достижений через средства массовой информации
5. Наличие широкого спектра развлекательных услуг, заполняющих досуг молодежи.
6. Психологическое воздействие средств массовой информации на сознание подростков при формировании жизненной шкалы ценностей и выборе приоритетов.
7. Снижение роли семьи в формировании технических умений и навыков.
8. Особенности, связанные с локальными условиями, существующими в данном учебном заведении.

3.2. Проектная и научно-исследовательская практика учащихся как инструмент образовательной интеграции современных научно-технических достижений в курс преподаваемых дисциплин

Следует отметить, что в последнее время получили развитие позитивные тенденции в преодолении вышеперечисленных причин оказывающих негативное влияние на отношение подростков к инженерным дисциплинам и их изучению. Однако, не дожидаясь, пока эти положительные течения наберут силу, следует использовать любую возможность прямых или косвенных решений означенных вопросов, которая позволит значительно

повысить интерес школьников к получению знаний в научно-технических областях.

Проектная и научно-исследовательская практика учащихся является мощным инструментом, открывающим целый ряд возможностей для расширенной мотивации школьников к комплексному изучению дисциплин и глубокому пониманию взаимосвязи научных знаний различных направлений.

Интегрирование тематики выполняемых учащимися научно-исследовательских работ с общешкольными образовательными дисциплинами является одной из важнейших методических особенностей процесса технического творчества, призванной решать целый спектр образовательных и психологических задач. Через непосредственное использование усвоенных на уроках знаний по различным дисциплинам, при решении собственной творческой задачи, достигается практическое закрепление полученных сведений. При этом происходит осознание неразрывности связей между различными областями знаний, ощущение целостной научной картины окружающего мира, а собственное исследование оценивается как неотъемлемая часть общего процесса познания. К тому же, при решении исследовательскими группами школьников многопрофильных научных задач, работа над которыми лежит в области целого ряда научных дисциплин и требует знаний по нескольким предметным курсам, ученики получают весьма ценный опыт коллективного творчества, а так же пополняют свой интеллектуальный уровень в процессе общения и обмена информацией.

При этом надо помнить, что интеграционному процессу взаимодействия научно-исследовательских работ школьников, а так же их занятий по техническому творчеству с общешкольными дисциплинами, должно сопутствовать решение целого ряда вопросов, часто выходящих за рамки школьного образовательного процесса. К важнейшим из них можно отнести создание творческих групп для решения многопрофильных

задач,интегрирование курсов школьных образовательных дисциплин с научно-исследовательскими проектами учащихся и привлечение школьников к разработке учебно-методического материала по различным дисциплинарным курсам.

3.3. Возможности интегрирования курсов школьных образовательных дисциплин с научно-исследовательскими проектами учащихся

Любое изменение отлаженного и утвержденного дисциплинарного курса в учебном процессе всегда сопряжено с рядом определенных проблем, как правило, не имеющих однозначного решения. К сожалению, последовательность изложения материала в различных предметных курсах имеет весьма существенные временные расхождения, что делает весьма сложным сведение схожих предметных тем различных курсов простой временной корректировкой учебных планов, так как при этом нарушается целостность и последовательность изложения. Различный уровень подготовки учащихся в учебных группах, так же создает определенные трудности при корректировке курсов форсированным изучением некоторых тем и более глубоким изучением других разделов.

Однако, многообразие взаимосвязей различных изучаемых на уроках явлений настолько велико, что при соответствующем уровне заинтересованности, преподаватель, при рассмотрении любого из них, может обратить внимание учащихся на то, как данное явление связано с другими объектами, являющимися предметом изучения иных дисциплин. Если, одновременно, то же самое происходит при изучении различных курсов, то у учащихся формируется более полное представление о взаимосвязи явлений и целостной картине мироздания. Выбор явлений, на которое стоит обратить внимание, а также их взаимосвязь с другими предметами может быть определена на методическом совещании преподавателей и обусловлена конкретной задачей или совокупностью таких задач. В частности, это может быть задача повышения интереса школьников к конкретному предмету,

решаемая за счет расширения кругозора и получения учеником новых интересных данных, обладающих определенной привлекательностью. При помощи данной методики может быть осуществлен дополнительный тренинг и закрепление знаний по конкретной тематике конкретного предмета, за счет применения способов решения и расчетов, используемых в данном предмете для решения задач по другой изучаемой дисциплине. Так, например, использование знаний из раздела «Газовые законы» по физике, вполне может использоваться для их закрепления при решении задач в курсе химии, и т.д. Также, через межпредметную взаимосвязь явлений может решаться задача более глубокого и всестороннего освоения изучаемого материала.

Особую роль межпредметная интеграция курсов играет при организации научно-исследовательской деятельности учащихся, когда в процессе своей творческой работы ученики постоянно сталкиваются с проблемой дефицита знаний в той или иной области. Устойчивые межпредметные связи помогают устранить этот дефицит, а так же сформировать повышенный интерес к исследуемой теме, за счет увеличения багажа необходимых сведений и способности разбираться в различных аспектах изучаемой проблемы [11].

Помимо этого существует еще несколько возможностей интегрировать научно-исследовательскую деятельность учащихся в школьный учебный процесс. Это может быть сделано через доклады учеников, сделанные ими по теме своего исследования на уроке, тематика которого близка тематике доклада. Так же, данная проблема может быть более широко освещена при защите рефератов по темам близким к направлению проводимых исследований.

Проводимый лабораторный практикум по тем или иным предметам так же может быть скорректирован с учетом практических задач, решаемых учениками в процессе работы над исследовательским проектом. При этом может изменяться как содержание самого практикума, так и рабочие планы

для конкретного ученика или группы учащихся, вплоть до индивидуального учебного плана.

Работа школьных факультативов так же может быть построена с учетом получения их слушателями тех знаний, которые им потребуются при решении конкретной исследовательской задачи.

Прямое изменение учебного плана по тому или иному базовому образовательному предмету с целью увеличить у учащихся объем знаний по конкретному разделу, совпадающему с тематикой проводимых научно-исследовательских работ, является весьма трудоемким и часто малоэффективным методом, результативность которого во многом зависит от числа учеников непосредственно участвующих в исследовательском проекте.

Таким образом, интеграция школьных общеобразовательных предметов с тематикой научно-исследовательской деятельности учащихся может осуществляться через повышенный акцент на явлениях сопутствующих исследовательской тематике, исследование взаимосвязи данного явления с объектами являющимися предметом изучения других дисциплин, через возникающие межпредметные связи. Помимо этого процесс интеграции должен включать плановую работу на уроках с докладами и рефератами учащихся, продуманное построение учебных планов лабораторного практикума по различным предметам, а так же тематику факультативных занятий со школьниками.

3.4. Пример межпредметной интеграции при решении исследовательской задачи в рамках школьного образовательного проекта

Важнейшим условием эффективности этого направления является грамотная постановка исследовательской задачи, для решения которой потребовались бы обширные навыки и знания из целого ряда предметных дисциплин. В качестве примера можно привести исследовательский проект по электрохимической регенерации фотографических фиксирующих

растворов, для работы над которым были задействованы творческие и исследовательские группы пяти различных направлений.

Целью проекта, было создание установки для электрохимической регенерации фиксирующих растворов, являющихся отходами процессов обработки серебросодержащих фотоматериалов. Исходным материалом для работы явились реальные отработанные растворы. Экологическая проработка проблемы показала нежелательность слива подобных высококонцентрированных солевых растворов из-за содержания в них растворенного серебра, являющегося токсичным продуктом, а так же целого ряда других негативных факторов. Предварительные электрохимические эксперименты позволили разработать конструкцию и самостоятельно, используя оборудование школьной мастерской, изготовить действующую установку, при помощи которой был проведен целый ряд экспериментов позволивших изучить химические превращения протекающие в процессе регенерации фиксажей, а также установить причины отклонения от закона Фарадея при электрохимическом выделении серебра из этих растворов. В качестве источника питания применялся сконструированный и самостоятельно изготовленный электронный блок, включающий элементы системы электрозащиты. В процессе работы использовались аналитические методы, для освоения которых была разработана компьютерная программа, позволяющая тренировать навыки, необходимые при использовании методов объемного анализа.

В результате, для работы над проектом ребята использовали и приобретали знания из области экологии, химии, физики, электроники, информатики, фотографии, экономики, навыки в конструировании, а так же навыки в работе со станками и слесарным инструментом. Их интеллектуальный багаж пополнился так же в результате ряда экскурсий и встреч, проведенных в рамках данного исследовательского проекта.

Рекомендации к школьному курсу химии. Рассмотренная методика опробована при организации научно-исследовательской деятельности учащихся в Предуниверситарии НИЯУ МИФИ (физико-математическом лицее №1523 при МИФИ), где продемонстрировала свою высокую эффективность. Результаты разработок осуществленных учащимися, под руководством преподавателей лицея, института а так же ученых и инженеров, в областях физики, химии, математики, информатики, электроники с успехом используются в учебном процессе и при организации внеурочных мероприятий. Практически все выполненные работы демонстрировались на различных выставках, конкурсах и конференциях. Многие из них отмечены медалями и дипломами.

Проведенный эксперимент позволил выделить и подтвердить целый ряд положительных аспектов:

а) в результате более тесного общения и сотрудничества улучшился психологический контакт учащихся занятых в проекте и преподавателя-предметника,

б) улучшилась психологическая атмосфера в классе, за счет дополнительной возможности реализации позитивных амбиций разработчиков проекта, демонстрирующих перед аудиторией класса результаты своих разработок,

в) достигается более глубокое усвоение изучаемого материала по соответствующей дисциплине участниками реализуемого проекта,

г) достигается более глубокое усвоение материала участниками реализуемого проекта по смежным дисциплинам, дополнительно привлекаемым для реализации задуманной идеи,

д) результаты разработок (программные продукты, лабораторные методики и установки, демонстрационные модели, а так же наглядные материалы, стенды, графики и таблицы) используемые в учебном процессе позволяют преподавателю в значительной мере оживить и разнообразить

урок, за счет представления материала в более наглядной и привлекательной форме,

е) наблюдается эффект преемственности поколений, когда участники проектов прошлых лет, к настоящему моменту уже закончившие школу и обучающиеся в других учебных заведениях, возвращаются для продолжения реализации задуманных, или неоконченных разработок, как в качестве непосредственных исполнителей, так и в качестве руководителей проектов. Их пример является во многом заразительным для многих школьников, которым значительно легче найти психологический контакт со своими сверстниками, чем с преподавателем. При этом через непрерывную связь поколений происходит непосредственный обмен опытом старших и младших участников процесса научно-технического творчества.

4. Нобелевские премии по химии и перспективные направления развития современной науки

Использование информации о современных достижениях науки и техники обязательное условие для более глубокого усвоения изучаемого материала, повышения кругозора и научного интереса к предмету у учащихся. Наибольший интерес вызывает информация о Нобелевских премиях.

4.1. Молекулярные машины – 2016 г

В 2016 году Нобелевскую премию по химии получили Жан-Пьер Соваж (Франция), Бернард Феринга (Нидерланды) и Джеймс Фрейзер Стоддарт (США) за разработку и создание молекулярных машин.

Наиболее привлекательными кандидатами для этих целей представляются сблокированные молекулярные компоненты. В последнее время развитие структурного и функционального проектирования таких систем привело к созданию и использованию сложных молекулярных

приборов и машин, которые способны в целом ряде случаев выполнять особые задачи.

Развитие человеческой цивилизации всегда было связано с конструированием новых приборов и машин. В зависимости от области применения приборы и машины могут быть очень большими или очень маленькими. Основной тенденцией в наше время является стремление к уменьшению веса и размера используемых компонентов настолько это возможно, в особенности, в области информационных технологий. Миниатюризация компонентов для создания приборов и машин осуществляется в наши дни в основном на основе подхода нисходящего проектирования. Этот подход имеет очень существенные недостатки, включая резкое увеличение затрат при приближении к наноразмерам. «Там внизу все еще много места» - утверждал Ричард П. Фейнман в своем знаменитом обращении к Американскому физическому обществу от 29 декабря 1959г, эта мысль до сих пор остается актуальной. Многообещающей стратегией использования науки и технологии в наноразмерном масштабе является подход восходящего проектирования, который предполагает работу по созданию наноструктур из атомов или молекул).

Снизу вверх атом за атомом. Сама идея о том, что атом можно использовать для конструирования наноразмерных машин, была впервые озвучена Фейнманом в работе «Принципы физики не отвергают возможности маневрирования объектами на атомном уровне» . В середине восьмидесятых годов К. Эрик Дрекслер заявлял, что станет возможным создать «наноробот» общего назначения с прозвищем «сборщик». Такая машина, в принципе, могла бы поатомно построить практически что угодно, включая и копии самой себя.

Удивительные, но, надо признать, абстрактные идеи Дрекслера рассматриваются большинством научного сообщества с большой долей скептицизма, т.к. постоянное встряхивание, которому подвергается каждая

наноразмерная структура из-за столкновений с окружающими молекулами, создаст помехи точности наноинжиниринга. В этой связи, сама идея применения принципа восходящего проектирования от атома к атому в нанотехнологии, которая кажется физикам такой привлекательной, не убеждает химиков, которые хорошо осведомлены о высокой реактивности многих видов атомов, мельчайших аспектах химических связей и свойствах молекул. Следует, тем не менее, осознавать, что фантастическим идеям Дрекслера, можно, по крайней мере, поставить в заслугу то, что они привлекли внимание общественности и повлияли на многих ученых, которые посвятили свои исследовательские проекты фантастическому миру нанотехнологий.

Снизу вверх, молекула за молекулой. В конце семидесятых годов, в рамках супрамолекулярной химии, начали поводить исследования молекулярных электронных машин, и в некоторых лабораториях родилась идея о том, что молекулы могут быть значительно более удобными строительными элементами, чем атомы, при создании наноразмерных машин и приборов. Эта идея основывается на следующих положениях: (1) молекулы являются стабильными образованиями, в то время как с атомами справиться нелегко; (2) в природе используются молекулы, а не атомы для строительства большого числа разнообразных наноприборов и наномашин, которые поддерживают жизнь; (3) большинство лабораторных химических процессов имеют дело с молекулами, а не атомами; (4) молекулы являются объектами, уже обладающими четкими формами и имеющими свойства, необходимые для работы таких машин (например, свойства, которыми можно манипулировать фотохимическими и электромеханическими методами); и (5) молекулы могут собираться самостоятельно или же их можно соединять для образования более крупных структур.

В последующие годы супрамолекулярная химия очень быстро развивалась, и вскоре стало ясно, что супрамолекулярный подход с

продвижением снизу вверх открывает практически безграничные возможности для проектирования и создания искусственных молекулярных приборов и машин (рис. 3). Кроме того, становилось все очевиднее, что такой подход может внести неоценимый вклад в наше понимание молекулярных аспектов исключительно сложных приборов и машин, которые отвечают за биологические процессы. Собственно говоря, эти системы представляют собой наглядную демонстрацию осуществимости и эффективности нанотехнологии.

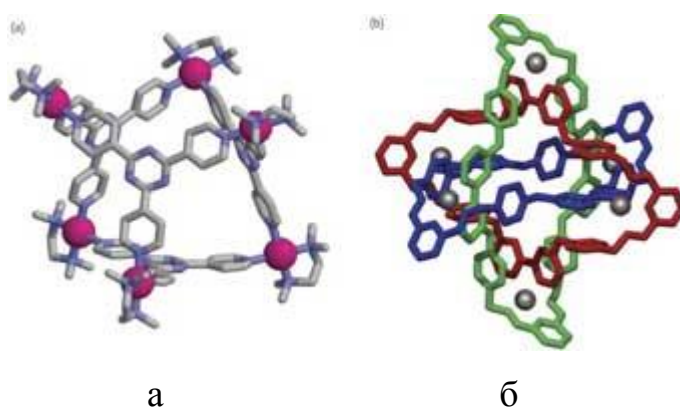


Рис. 3. Два примера сложных искусственных многокомпонентных молекул. (а) Координационная структура, полученная за счет самосборки четырех мостиковых лигандов на триазиновой основе и шести Pd(диаминовых) комплексов. (б) Молекулярные тройные кольца, синтезированные за счет использования координационной, супрамолекулярной и динамической ковалентной химии.

Приборы и машины. В макроскопическом мире, приборы и машины являются совокупностями компонентов, предназначенных для осуществления определенной функции. Каждый компонент такой совокупности выполняет определенное простое действие, в то время как вся совокупность выполняет более сложную и полезную функцию, свойственную именно данным прибору или машине. Например, функция, выполняемая феном для волос, представляет собой результат операций, которые выполняют выключатель, нагреватель, и пропеллер, должным образом соединенные проводами и собранные в соответствующую

структуру. Макроскопические концепции организации приборов и машин могут быть распространены и на молекулярный уровень. Молекулярный прибор может быть определен как соединение дискретного количества молекулярных компонентов, предназначенных для выполнения специальных функций. Каждый молекулярный компонент выполняет одно действие, в то время как вся супрамолекулярная конструкция выполняет более сложную функцию, которая реализуется в результате взаимодействия различных компонентов. Молекулярная машина это особый вид молекулярного прибора, в котором компоненты могут менять свое положение относительно друг друга в результате воздействия какого-либо внешнего фактора. Приборы и машины молекулярного уровня функционируют за счет электронной и/или ядерной перекомпоновки, и, подобно макроскопическим приборам и машинам, нуждаются в энергии для функционирования и в сигналах для связи с оператором. Распространение понятия прибора и машины на молекулярный уровень представляет интерес не только для базовых исследований, но также и для роста нанонауки и развития нанотехнологий.

Следует отметить, что наноразмерные приборы и машины не могут рассматриваться просто как «уменьшенные» копии макроскопических аналогов, поскольку наномасштабная физика отличается от обычной. Некоторые наномасштабные явления управляются законами квантовой механики и, что важнее всего, некоторые внутренне присущие свойства единиц молекулярного уровня сильно отличаются от свойств макроскопических объектов, даже полностью состоящих из таких молекул. Например: (1) молекулы находятся в состоянии постоянного случайного движения и подвергаются постоянным столкновениям (броуновское движение); (2) в наном мире объекты тесно прилегают друг другу из-за электромагнитных воздействий; и (3) размеры молекул намного меньше, чем длины световых волн, используемых для снабжения энергией или получения

информации.

«Физический» метод нисходящего проектирования позволил создавать большое количество находящихся в твердом состоянии микроэлектронных приборов и микро-электромеханических систем. В настоящее время ожидается, что «химический» метод восходящего проектирования продвинет науку и технологию не только от микромасштабности к наномасштабности, но также и от электроники к фотонике и химионике, поскольку введение света и химических веществ является удобными способами снабжения молекулярных приборов энергией и обмена информацией на молекулярном уровне. Более того, под воздействием природных наноразмерных приборов метод восходящего проектирования сможет переместить сферу интересов ученых с твердого состояния на растворы и мягкие вещества.

Снабжение энергией, обмен сигналами, и прочие аспекты.

Молекулярные приборы и машины представляют собой химические системы и поэтому функционируют с помощью химических реакций, которые, вообще говоря, подразумевают электронные перестановки. В ряде случаев выполняемая функция существенно основывается на переносе электронов или энергии электронов. Как и в макроскопическом мире, приборы и машины молекулярного уровня нуждаются в энергии для функционирования и сигналах для осуществления связи с оператором. Энергия, необходимая для функционирования молекулярного прибора или машины, может поставляться в виде (1) химического реактива, (2) поглощенного фотона, или (3) добавления или удаления электрона. Принимая во внимание ограниченность химических видов топлива и всевозрастающие проблемы с окружающей средой, идеальным первичным энергетическим источником можно считать свет и наилучшими являются процессы, при реализации которых не образуется отходов. В самом деле, даже в интеллектуальном обществе потребление не возобновляемых энергетических ресурсов и накопление отходов будет продолжаться и создавать очень существенные

проблемы.

Для того чтобы осуществлять управление и контроль работы молекулярных приборов или машин, необходим подходящий сигнал. Поскольку хотя бы один молекулярный компонент системы изменяет свое состояние при выполнении требуемой функции, можно использовать любой сигнал, связанный с таким изменением. В этом отношении полезными могут оказаться самые различные химические или физические методы. Чаще всего управление состоянием системы осуществляется с помощью спектроскопического метода (ядерный магнитный резонанс - ЯМР, поглощение ультрафиолетовой и видимой области спектра, люминесценция и т. д.). Для некоторых систем, например, систем, основанных на донорно-акцепторном взаимодействии, можно с успехом использовать электрохимические методы.

Поскольку прибор и машина должны работать с повторяющимися циклами, важным требованием является перезагрузка. Это означает, что используемая при выполнении данной операции химическая реакция должна быть обратимой. Хотя ни одна из химических реакций не является полностью обратимой, это требование довольно хорошо выполняется с помощью процессов передачи энергии, переноса электронов (окисление-восстановление), и переноса протонов (кисотно-основной процесс), а также некоторых видов фотоизомеризации и координационных реакций металл-лиганд. Шкала продолжительности работы молекулярного прибора и машины может находиться в диапазоне от пикосекунды до нескольких дней в зависимости от природы осуществляемых процессов. Процессы переноса энергии, электронов и протонов, а также реакции изомеризации могут протекать очень быстро, но крупные и сложные перемещения составных частей могут происходить значительно медленнее. Информация о константах скорости реакций может быть получена с помощью обычных кинетических методов при реализации медленных процессов, с помощью электрохимии и

хроматографии с прерыванием потока при относительно быстрых процессах, и с помощью спектроскопии вспышки (с разными временными шкалами) для очень быстрых процессов.

Молекулярные приборы и машины могут выполнять очень разнообразные функции. Они могут участвовать в передаче сигналов (в виде энергии, электронов, протонов и т. д.), обработке информации (например, с помощью логической схемы молекулярного уровня), преобразовании энергии (например, преобразовании света в электрохимический потенциал или химическое топливо), и в целом ряде процессов механического типа (например, перемещении вещества через мембрану). Сообщается о попытках разработки набора компонентов молекулярного уровня для обработки информации, эти химические соединения способные играть роль проводов, выключателей, элементов памяти, сенсоров, антенн, вилок-розеток, систем удлинительных кабелей, и логических схем для наноразмерных машин. В частности, исследование молекулярных соединений, способных выполнять бинарные логические операции, может привести к практическому применению, к такому как маркировка и разметка очень маленьких объектов и, в конечном итоге, к проектированию и созданию молекулярного компьютера. Следует отметить, что все фундаментальные логические операции осуществлялись молекулярными системами, что позволило не так давно провести лабораторную демонстрацию бинарной арифметики с помощью молекулярных приборов: полного сумматора и полного вычитателя. Эти системы, в которых в качестве входных/выходных сигналов используются свет, молекулы и ионы, действуют в растворе, эти идеи позаимствованы из процессов обработки информации в живых организмах. Независимо от возможности скорейшей реализации применения таких машин, разработка набора приборов молекулярного уровня представляется достойным вложением инвестиций. Имеется много обзоров по данному вопросу, и уже опубликована подробная монография. В настоящем обзоре

мы проиллюстрируем некоторые последние достижения в этой области с использованием последних примеров создания молекулярных машин, заимствованных из совместной работы с коллективом Дж. Фрейзера Стоддарта, Университет шт. Калифорния, Лос Анжелес [12].

Механически соединенные молекулы как наноразмерные машины. В принципе, молекулярные машины можно проектировать на основе нескольких видов молекулярных и супрамолекулярных систем, включая ДНК. Тем не менее, по указанным ниже причинам, большинство сконструированных на сегодняшний день искусственных систем основано на взаимосвязанных молекулярных соединениях, таких как ротаксаны, катенаны и родственные им соединения. Эти компаунды получили свое название от латинских слов *rota* и *axis*, что означает «колесо» и «ось», а также *catena*, что означает «цепь». Ротаксаны состоят из гантелеобразной молекулы, с большими группами («ограничителями») на концах, которые предотвращают соскальзывание макроциклического соединения («кольца»), рис. 4а и 4б. Катенаны создаются по крайней мере из двух сцепленных вместе макроциклов, рис. 4с. Источником существенных отличий в свойствах этих систем являются нековалентные взаимодействия между компонентами, которые содержат комплементарные центры узнавания. К числу таких взаимодействий, которые также отвечают за эффективные управляемые матрицей синтеза ротаксанов и катенанов, относятся: способность к переносу заряда, образование водородной связи, гидрофобно-гидрофильные взаимодействия, π - π стэкинг, силы электростатического взаимодействия и в дополнение к пределу сильного взаимодействия образование связи металл-лиганд.

Ротаксаны и катенаны являются очень привлекательными системами для построения молекулярных машин, поскольку: (1) механическая связь предоставляет большие возможности для создания взаимных расположений

молекулярных компонентов, придавая, в то же время, стабильность системе; (2) взаимосвязанная архитектура ограничивает амплитуду межкомпонентного движения в трех направлениях; (3) стабильность специального расположения (соконформация) определяется прочностью межкомпонентных взаимодействий; и (4) такие взаимодействия могут регулироваться внешним стимулированием. Движение с большой амплитудой, которое можно получить при использовании ротаксанов и катенанов, схематически изображено на рисунке 4. В частности, два представляющих интерес вида движения можно рассмотреть на ротаксанах, а именно (1) перемещение, т. е. челночное перемещение, кольца вдоль оси, и (2) вращение кольца вокруг оси. По этой причине ротаксаны являются хорошими прототипами для построения как линейных, так и вращающихся молекулярных двигателей. Системы первого типа, называемые молекулярными челноками, рис 4а, представляют собой наиболее распространенное применение концепции молекулярных машин с ротаксанами.

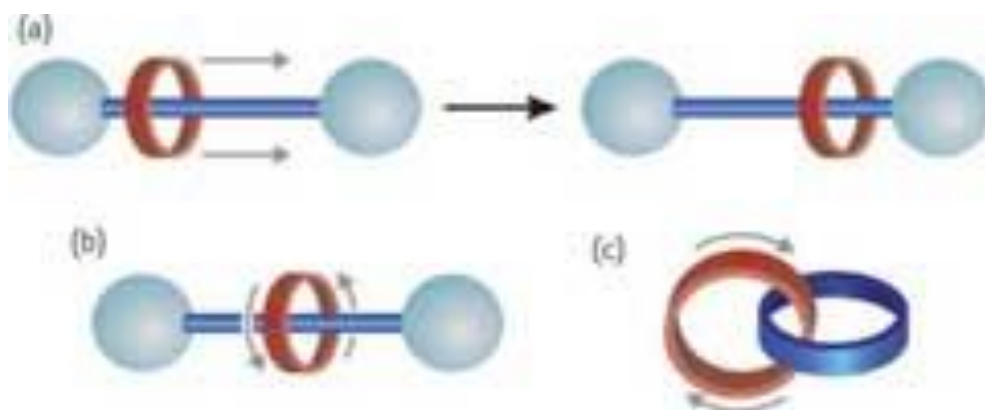


Рис. 4. Схематическое изображение межкомпонентного движения, которое можно получить с помощью простых архитектур взаимосвязанных молекул: круговое челночное движение в ротаксанах (а), кольцевое движение в ротаксанах (b) и катенанах (с).

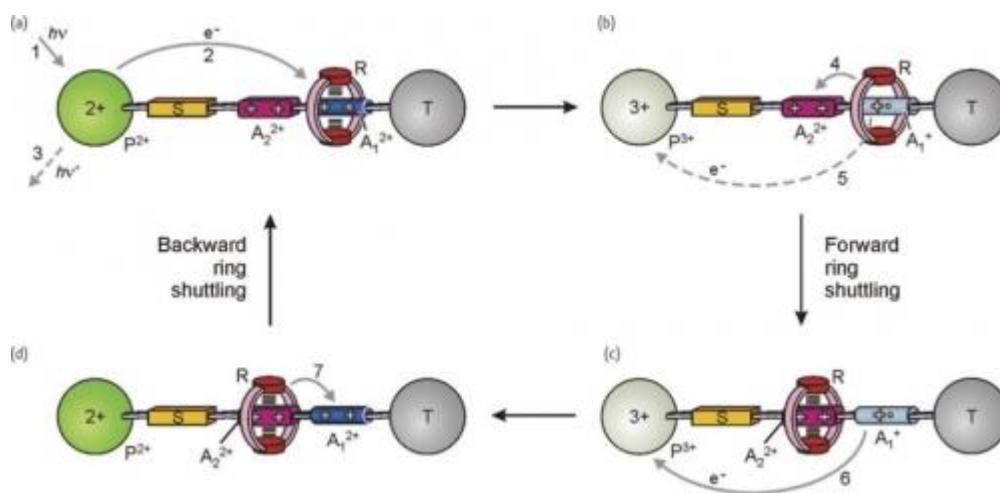


Рис. 5. Схема работы ротаксана 3^{6+} , функционирующего в качестве независимого «четырёхтактного» молекулярного челнока, работающего на энергии света.

Спектроскопические исследования в сочетании с электрохимическими измерениями показали, что поглощение видимого фотона 3^{6+} может вызвать движение кольца вперед и назад, т. е. реализацию полного механического цикла в соответствии с представленным на рисунке 5 механизмом. По проведенным оценкам, доля энергии возбужденного состояния, используемая для движения кольца, составляет примерно 10%, и система может вырабатывать механическую энергию порядка $3 \cdot 10^{-17}$ Вт на молекулу.

Исследуемая система вобрала в себя следующие черты: (1) она работает от энергии видимого света (другими словами, солнечного света); (2) она демонстрирует независимое поведение, подобно белкам; (3) она не создает отходов; (4) ее функционирование может зависеть только от внутримолекулярных процессов, в принципе позволяя работать только на молекулярном уровне; (5) ее можно заставить работать при частоте примерно равной 1 кГц; (6) она работает в умеренных условиях окружающей среды (т. е. в жидком растворе при температуре окружающей среды); и (7) она стабильна на протяжении, по крайней мере, 10 циклов. Хотя система в ее нынешнем состоянии и не смогла выйти на полезную работу при полном цикле эксплуатации, она показала, что структурная и функциональная

интеграция различных молекулярных соединений в многокомпонентную структуру представляет собой эффективную стратегию для создания наноразмерных машин. Благодаря своей модульной конструкции, ротаксан Z^{6+} восприимчив к изменениям структуры для того, чтобы попытаться улучшить его рабочие параметры при использовании в качестве молекулярного челнока, работающего на световой энергии.

Выводы и прогнозы. Коллективное использование искусственных наномашин в тщательно сконструированных расположенных на поверхности монослоях может дать механическую работу большого масштаба. Распространение понятия прибора или машины на наноразмерные объекты уже само по себе захватывающая проблема для базовых исследований. Рассмотрение молекулярных и супрамолекулярных частиц в качестве машин молекулярного мира вводит новые понятия в химию как научную дисциплину. Быстрый рост этой области исследования внушает некоторый оптимизм, что практическое использование молекулярных приборов и машин произойдет в не столь отдаленном будущем. В этом плане, есть надежда, что нанонаука и нанотехнология внесут свой вклад в дело решения четырех основных проблем, которые стоят перед большей частью населения Земли: продукты питания, здоровье, энергия и окружающая среда.

Люди должны проявлять любопытство, спрашивать и искать – а наука должна сбрасывать ограничения наложенные традициями – чтобы стать самым мощным двигателем перемен к лучшему» – С. Дж. Гоулд.

4.2. Супрамолекулярная химия. Краун-эфир, 1987 г.

Чарльз Педерсен, Дональда Крам, Жан-Мари Лен – Нобелевская премия за разработку и применение молекул со структурно специфическими взаимодействиями с высокой селективностью.

Открытие и синтез краун-эфиров – одна из наиболее ярких страниц в развитии органической химии последних десятилетий. Первый из этого класса макроциклических соединений – дибензо-18-краун-6 – был получен Ч.

Педерсеном (США) в 1967 г. (За открытие нового класса соединений он был удостоен Нобелевской премии по химии в 1987г.)

Краун-эфиры – макроциклы, содержащие в своем составе наряду с метиловыми звеньями ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$) кислородные атомы, в некоторых случаях часть атомов О заменена атомами N или S. Обратив внимание на удивительную способность этих макроциклов заключать в свою полость катионы металлов – "короновать" их, Педерсен и предложил соответствующее название этому новому классу веществ – краун - соединения (от англ. crown – корона).

Что, собственно, сделал Чарльз Педерсен? Он синтезировал соединение, названное им краун-эфиром за особенность его структуры: она представляла собой пустое внутри и подвижное кольцо из углеродных атомов, связанное через мостики кислородными атомами. Варьируя размер цикла, учёный установил, что краун-эфиры способны избирательно связывать некоторые катионы, помещая их в центр своей «короны» (рис.6).

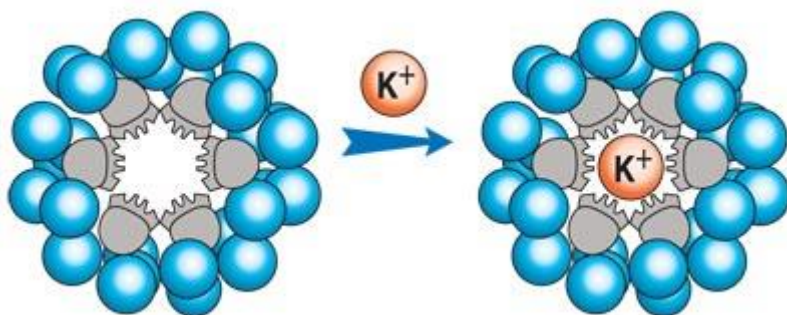


Рис. 6. Образование краун-эфира — комплекса 18-краун-6 и иона K^+

Открытие Чарльза Педерсена получило развитие в работах американца Дональда Крама (1919—2001) и француза Жан-Мари Лена (родился в 1939 году).

Краун-эфиры обладают двухмерной структурой. Краму удалось создать аналогичного рода трёхмерные структуры, способные захватывать ионы (сферанды, кавитанды, криптанды). В результате сложных многостадийных органических синтезов в начале 1980-х годов он создал так называемые молекулы-«контейнеры» с заранее организованной структурой — сферанды

(буквально пустые внутри сферические структуры) и молекулы, обладающие внутренней полостью, — кавитанды (от английского слова «cavity» — полость), своего рода молекулярные чаши с углублениями. В чашах этих, так же как и в молекулах краун-эфиров, могли вольготно размещаться ионы.

Крам предположил и доказал, что, в отличие от относительно гибких молекул краун-эфиров в растворе, жёсткие молекулы сферанда или кавитанда, в силу особенностей своей трёхмерной структуры, должны проявлять более сильное связывание с ионами и превосходную катионную селективность (рис. 7).

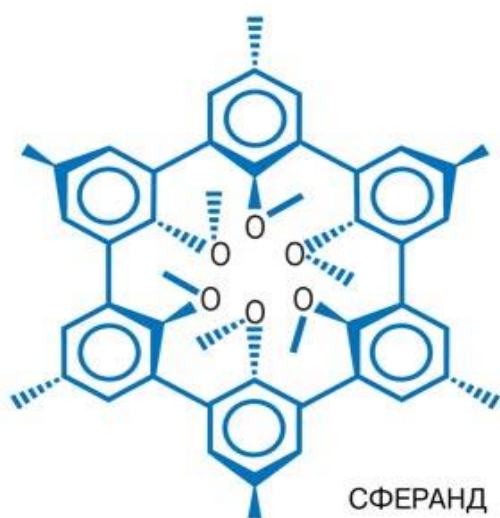


Рис. 7. Кольцевая жёсткая трёхмерная структура сферанда.

Трёхмерный сферанд – это один из сильнейших комплексообразователей, известных для катиона лития. Все другие катионы исключаются, поскольку слишком велики для того, чтобы соответствовать связывающей полости. Теперь попавший «в лапы» к сферанду или кавитанду катион металла оказывается в очень крепких «объятиях». Однако с той особенностью, что объятия эти открыты лишь для данного рода катионов. Селективность связи сферанда с катионом натрия (Na^+) на 10 (!) порядков величины выше его сродства к катиону калия (K^+). Отметим и другое: селективность для пары катионов Na^+/K^+ у сферанда много выше, чем селективность у природных ионофоров, не говоря уж об ионофорах синтетических.

Важное достоинство кавитанда состоит в том, что эта молекула способна принять и прочно удерживать не только ионы металлов, но и небольшие

нейтральные молекулы, такие, например, как хлороформ или ацетон.

Другая большая заслуга Дональда Крама — он ввёл в науку новую концепцию «хозяин — гость» (о способности большой молекулы («хозяина») специфически «захватывать» и прятать в своём молекулярном «чреве», если можно так выразиться, «гостя» — ион того или иного знака или даже целую небольшую молекулу).

Жан-Мари Лен создал искусственные химические соединения, обладающие свойствами природных ионофоров. В результате были синтезированы особые молекулярные структуры — криптанды. Как и Крам, Лен стремился сконструировать трёхмерный аналог краун-эфиров. Он предвидел, что с помощью таких структур ионы металлов могут быть полностью капсулированы внутри краунподобного «хозяина». Это должно было привести к увеличению катионной селективности молекулы-«хозяина» и к усилению его ионофороподобных транспортных свойств.

Криптанды получили своё название благодаря способности сферически окружать, как бы «погребать в склепе», ионы металлов (греческое «*kruptos*» означает «скрытый»). Ассоциация со склепом обусловлена наличием у этих соединений внутренней полости, защищённой с трёх сторон атомами кислорода, соединёнными между собой группами CH_2CH_2 .

Было также доказано, что криптанды можно приспособить и для «захватывания» уже не катионов, а анионов.

Химия «хозяин – гость». Эта область исследований быстро расширялась, развившись в то, что Лен в последствии назвал термином «супрамолекулярная химия». Супрамолекулярная химия изучает всесторонние аспекты взаимодействий молекулы «гостя» с молекулой «хозяина». Что же такое супрамолекулярная химия? Лен определил ее как химию межмолекулярных связей, изучающую ассоциацию двух и более химических частиц, а также структуру подобных ассоциаций. Она лежит за пределами классической химии, исследующей структуру, свойства и превращения отдельных молекул.

Если последняя имеет дело, главным образом, с реакциями, в которых происходят разрыв и образование валентных связей, то объектом изучения супрамолекулярной химии служат почти исключительно невалентные взаимодействия: водородная связь, электростатические взаимодействия, гидрофобные силы, структуры «без связи». Как известно, энергия невалентных взаимодействий на 1–2 порядка ниже энергии валентных связей, однако, если их много, они приводят к образованию прочных и вместе с тем гибко изменяющих свою структуру ассоциатов. Именно сочетание прочности и способности к быстрым и обратимым изменениям – характерное свойство всех биологических молекулярных структур: нуклеиновых кислот, белков, ферментов, переносчиков частиц.

Открытие краун-эфиров стимулировало огромную армию химиков-органиков на новые исследования подобного же рода. Была проявлена уйма изобретательности, чтобы придать ожидающей «гостя» внутренней полости макроциклической молекулы-«хозяина» большую организованность и ёмкость.

Ход рассуждений учёных был примерно таков. Если уподобить краун-эфир молекуле-«тарелке», то почему бы не получить ещё, образно выражаясь, молекулы-«чашки», молекулы-«пиалы», молекулы-«кувшины» и прочие мыслимые ёмкости? Ведь тогда «гость», возможно, чувствовал бы себя в них гораздо удобнее. Концепцию «хозяин — гость» можно иллюстрировать такой простенькой схемой (рис. 8). Маленький «гость» и крупный «хозяин» с полостью, готовой принять «гостя». «Гость» прочно удерживается с помощью слабых, нековалентных сил.



Рис. 8. Иллюстрация взаимодействия по принципу «хозяин — гость».

Так постепенно начала оформляться и претворяться в жизнь идея того, что теперь называется «контейнерная химия». Со времени первой публикации Чарльза Педерсена прошли четыре десятка лет. За это время получены сотни и тысячи новых искусственных ионофоров и их аналогов. Появляются всё более и более сложные структуры. Они подчас имеют замысловатые имена: «корзины», «щётки», «осьминоги». Номенклатура этих диковинных соединений крайне сложна и пока ещё недостаточно разработана. Синтезированное химиками-органиками новое множество хитроумных органических молекул имеет огромное поле применения на практике.

Контейнерную химию – в жизнь!

Наука. Соединения, способные образовывать комплексы типа «хозяин — гость» с органическими молекулами, нужны для разделения и очистки органических веществ, их активации и решения множества других научных задач. Сейчас химики-органики пытаются синтезировать «хозяев» для сульфаниламидов, катехоламинов, аминокислот, пептидов, пуриновых и пиримидиновых оснований. И тут возникает возможность создавать лекарственные препараты новых поколений.

Техника. Разрабатываются процессы извлечения ценных цветных и редких металлов из сточных вод промышленных предприятий.

Большая перспектива в использовании краун-соединений открылась в области разделения изотопов. Например, можно отделить кальций-40 от кальция-44, разделить натрий-23 и натрий-24, литий-6 и литий-7, изотопы радиоактивных элементов. Это может иметь огромное значение для создания будущих реакторов термоядерного синтеза.

Синтетические ионофоры широко используют в буровой технике для ликвидации в нефтепроводах пробок, вызванных применением в буровом растворе практически нерастворимого сульфата бария.

На основе краун-соединений созданы специальные противокоррозионные присадки, значительно продлевающие срок службы масел и улучшающие их

эксплуатационные свойства.

Иммобилизованные (прикреплённые к подложке-носителю) краун-эфир являются прекрасными промышленными катализаторами для самых разных химических реакций.

Сельское хозяйство. В животноводстве созданы эффективные добавки к кормам, которые регулируют обмен ионов и, таким образом, значительно улучшают усвоение корма животными. Это, в частности, экономит значительное количество корма для скота.

Некоторые синтезированные ионофоры оказались мощными пестицидами, очень специфичными (то есть действующими избирательно — только на ту или иную мишень) и не загрязняющими окружающую среду.

Медицина. Крауны можно применять как средства для лечения болезней, вызванных избытком или недостатком в организме ионов того или иного металла.

Краун-соединения становятся действенным инструментом регулирования процессов переноса металлов через биологические мембраны. Это создаёт основу и для разработки лекарственных препаратов, направленных на борьбу с заболеваниями, вызванными избытком тяжёлых металлов в организме, или для выведения из организма опасных радиоактивных ионов, таких как цезий -137. Тетраэтакраун эфир циклен, в котором все атомы кислорода замещены на азот, используется в магнитно-резонансной томографии в качестве контрастного вещества

Получение краун-эфиров. Существует множество методов синтеза краун - соединений, однако наиболее важный аспект любого из них заключается в подавлении побочных реакций, приводящих к линейным полимерам, для преимущественного протекания реакции циклизации, приводящей к циклическим соединениям.

Обычно для синтеза краун - соединений используют реакцию Вильямсона:



Для подавления образования побочных линейных полимеров часто применяются следующие методы: способ высокого разбавления, двухстадийная конденсация, матричные реакции.

С 1978 г. с использованием вышеупомянутых методов промышленностью производятся такие краун-эфиры, как дибензо-18-краун-6, дибензо-24-краун-8, дициклогексил-18-краун-6 и другие. При конденсации дихлоралкилов, содержащих в цепи простые эфиры группировки С–О–С, с полиэтиленгликолями протекает циклизация, приводящая к образованию краун-эфира. В зависимости от длины цепочки исходных соединений получают краун-эфиры с различной величиной цикла.

4.3. Наноматериалы на основе углерода. Фуллерены, 1996 г.

Крото, Смолли и Кёрлу в 1996 году была присуждена Нобелевская премия по химии за открытие фуллеренов

В 1985 году группа исследователей — Роберт Керл, Харолд Крото, Ричард Смолли, Хис и О'Брайен — исследовали масс-спектры паров графита, полученных при лазерном облучении (абляции) твёрдого образца, и обнаружили пики с максимальной амплитудой, соответствующие кластерам состоящими из 60 и 70 атомов углерода. Они предположили, что данные пики отвечают молекулам C_{60} и C_{70} . Полиэдрические кластеры углерода получили название фуллеренов.

Происхождение термина "фуллерен" связано с именем американского архитектора Ричарда Букминстера Фуллера, конструировавшего полусферические архитектурные конструкции, состоящие в виде шестиугольников и пятиугольников.

В середине 60-х гг. Дэвид Джонс конструировал замкнутые сфероидальные клетки из своеобразным образом свернутых графитовых слоев. Было показано, что в качестве дефекта, внедренного в гексагональную решетку обычного графита, и приводящего к образованию сложной

искривленной поверхности, может быть пятиугольник.

В начале 70-х гг. физхимик–органик Е.Осава предположил существование полой, высокосимметричной молекулы C_{60} , со структурой в виде усеченного икосаэдра, похожей на футбольный мяч. Чуть позже (1973 г.) российские ученые Д.А. Бочвар и Е.Г. Гальперин сделали первые теоретические квантово-химические расчеты такой молекулы и доказали ее стабильность.

В 1985 ученые: Г. Крото, Хит, О' Брайен, Р.Ф. Керл и Р. Смолли удалось обнаружить молекулу фуллерена при исследовании масс-спектров паров графита после лазерного облучения твердого образца.

В 1991 японский ученый Иджима на полярном ионном микроскопе впервые наблюдал различные структуры, составленные из шестичленных колец углерода: нанотрубки, конусы, наночастицы.

В 1992 в природном углеродном минерале – шунгите (от названия поселка Шуньга в Карелии) были обнаружены природные фуллерены.

Строение фуллеренов. Известны фуллерены с разным числом атомов углерода в молекуле C_{60} , C_{70} , C_{72} , C_{78} и другие, но центральное место среди фуллеренов занимает C_{60} (рис. 9), который характеризуется наиболее высокой симметрией и, как следствие, наибольшей стабильностью.

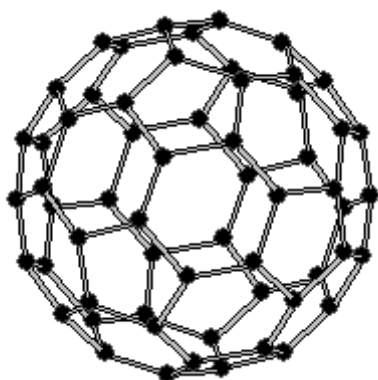


Рис.9. Структура молекулы фуллерена C_{60} .

В этой молекуле, напоминающей крышку футбольного мяча, и имеющей структуру правильного усеченного икосаэдра атомы углерода располагаются на сферической поверхности в вершинах 20 правильных шестиугольников и

12 правильных пятиугольников. Так что каждый шестиугольник граничит с тремя шестиугольниками и тремя пятиугольниками, а каждый пятиугольник - с пятью шестиугольниками. Электронная оболочка s^2p^2 атома углерода обеспечивает оптимальную структуру углерода, когда соседние атомы образуют пяти и шестиугольники. Эта структура является оптимальной и для наиболее устойчивых кластеров углерода, образующихся в результате термического распыления графита. Поскольку наиболее эффективные способы получения фуллеренов основаны на термическом разрушении графита, естественно заключить, что шестиугольники, имеют те же размеры, что и шестиугольники, входящие в графит. Радиус молекулы C_{60} равен примерно 0.35 нм. В структуре C_{60} имеются два типа связей: двойная (является общей стороной двух шестиугольников) и одинарная (является общей стороной шестиугольника и пятиугольника).

Свойства фуллеренов. Фуллерен – мелкокристаллический порошок черного цвета, лишенный запаха.

Плотность фуллерена C_{60} – 1,65 г/см³, что значительно меньше, чем у графита (2,3 г/см³) и алмаза (3,5 г/см³). Это связано с тем, что молекулы полые.

Практически нерастворимы в полярных растворителях (вода, этанол, ацетон); хорошо растворимы в бензоле, толуоле, фенилхлориде.

Длины углеродных связей в молекуле составляют 0,143 и 0,139 нм, а диаметр внутренней полости составляет 0,714 нм, что благоприятствует включению в полость другого атома или молекулы – "гостя".

C_{60} сохраняет свою термическую стабильность вплоть до 1700К.

Энтальпия образования C_{60} составляет ≈ 42.5 кДж/моль (для сравнения: энтальпия образования графита - 0 кДж/моль и алмаза - 1.67кДж/моль).

Взаимодействие между атомами разных фуллеренов слабее, чем между ближайшими атомами одного фуллерена. Это означает, что взаимодействие двух молекул фуллерена не приведет к их слипанию, как в случае взаимодействия двух кластеров с пространственным расположением атомов. В

этом случае образуется система двух слабо взаимодействующих молекул фуллерена, где каждая молекула фуллерена сохраняет свою индивидуальность.

Кристаллические фуллерены и пленки из них представляют собой полупроводники с шириной запрещенной зоны 1.2 - 1.9 эВ и обладают фотопроводимостью при оптическом облучении. Кристаллы C_{60} , легированные атомами щелочных металлов обладают металлической проводимостью, и переходят в сверхпроводящее состояние в диапазоне от 19 до 55К в зависимости от типа щелочного металла. Указанный диапазон температуры сверхпроводящего перехода является рекордным для молекулярных сверхпроводников. Еще более высокая температура сверхпроводящего перехода (вплоть до 100К) ожидается для сверхпроводников на основе высших фуллеренов.

Молекулы фуллеренов, в которых атомы углерода связаны между собой как одинарными, так и двойными связями, являются трехмерными аналогами ароматических структур. Обладая высокой электроотрицательностью (они способны накачивать на сферу до 6 дополнительных электронов!), они выступают в химических реакциях как достаточно сильные окислители. Присоединяя к себе радикалы различной химической природы, фуллерены способны образовывать широкий класс химических соединений, обладающих различными физико-химическими свойствами. Так, были получены пленки полифуллерита, в которых молекулы C_{60} уже связаны не слабыми Ван-дер-ваальсовыми связями, а химическим взаимодействием. Эти пленки, обладающие пластическими свойствами, являются новым типом полимерных материалов.

Другим, не менее перспективным и удивительным свойством фуллеренов является их реакции с водородом. Так, фуллерены способны формировать комплексы с молекулярным водородом. Внутри молекулы C_{70} возможно поместить до трех молекул H_2 и сформировать комплекс $(H_2)_3 \cdot C_{70}$. Особо

следует отметить способность холодных фуллеренов поглощать 17 атомов водорода на одну молекулу C_{60} при обработке водородом под давлением порядка 70 атм. Это открывает перспективы в будущем на переход на абсолютно экологически чистое и самое энергонасыщенное горючее - водород. Фуллерены являются в настоящее время самым наилучшим хранилищами для молекулярного водорода

Фуллерены отличаются высокой химической инертностью по отношению к процессу мономолекулярного распада. Так, молекула C_{60} сохраняет свою термическую стабильность вплоть до 1700К. Однако в присутствии кислорода, окисление этой формы углерода до CO и CO₂ наблюдается уже при существенно более низких температурах - порядка 500К. При комнатной температуре окисление C_{60} происходит только при условии облучения фотонами с энергией в диапазоне 0.5-1200 эВ, что объясняется необходимостью образования ионов O^{2-} , обладающих повышенной реакционной способностью.

В результате хлорирования образуется соединение, содержащее либо 12, либо 24 атома хлора. Привлекательной особенностью хлорсодержащих фуллеренов является то, что атомы хлора могут замещаться на другие органические заместители. Среди таких “фуллероидов” можно отметить продукты присоединения радикалов водорода, фосфора, галогенов, металлов (и их оксидов), одинарных и двойных бензольных колец и их производных.

Добавки фуллероидных наночастиц существенно влияют на адгезионную прочность эпоксидных полимерных материалов: увеличивают прочность клеевого соединения. Возрастание прочностных характеристик и эластичности большинства модифицированных полимерных материалов связываются с влиянием этого класса наночастиц на надмолекулярную структуру полимеров и полимерных композитов.

Получаемые гетеро - и эндоэдральные фуллерены могут обладать весьма интересными и полезными свойствами. Например, если в фуллереновую

клетку будет имплантирован и закреплен возбужденный атом водорода, то полученное вещество может стать абсолютным поглотителем электромагнитного излучения.

Следует отметить, что чистый C_{60} обладает сравнимой или даже большей антиоксидантной активностью, чем у природного антиоксиданта витамина Е (α-токоферол), а также демонстрирует мощную гепатопротекторную активность, т.е. защищает печень от токсических повреждений.

Фуллериты (фуллерены в конденсированном состоянии) обладают высокой сорбционной способностью и как сорбенты по эффективности намного превышают широко используемый в настоящее время в качестве сорбента активированный уголь.

Получение фуллеренов. Наиболее эффективный способ получения фуллеренов основан на термическом разложении графита в гелиевой атмосфере. Если полученную графитовую сажу соскоблить и выдержать в течение нескольких часов в кипящем толуоле, то получается темно-бурая жидкость. При выпаривании ее во вращающемся испарителе получается мелкодисперсный порошок, вес его составляет не более 10% от веса исходной графитовой сажи, в нем содержится до 10% фуллеренов C_{60} (90%) и C_{70} (10%).

Применение фуллеренов. Фуллерены обладают рядом важных характеристик: химической стойкостью, высокой прочностью, жесткостью, ударной вязкостью, теплопроводностью и электропроводностью. В зависимости от тонких особенностей молекулярной симметрии фуллерены могут быть диэлектриками, полупроводниками, обладать металлической проводимостью и высокотемпературной сверхпроводимостью. Эти свойства в сочетании с наномасштабной геометрией делают их почти идеальными возможно даже уникальными материалами для изготовления электрических проводов, сверхпроводящих соединений или целых устройств, которые с полным основанием можно назвать изделиями молекулярной электроники. Химической сборке элементов различных схем благоприятствуют свойства

фуллерена, который может образовывать ионы от +6 до 6 и в различных матрицах связи с донорами, акцепторами, свободными радикалами и ионами. Фуллерены могут также использоваться при создании средств молекулярной оптоэлектроники для оптоволоконной передачи информации. Полимеризация фуллеренов при электроннолучевом или ионизирующем воздействии дает возможность получать резистры нового поколения.

Другим применением фуллеренов в энергетической области является то, что они способны обратимо формировать соединения типа $C_{60}H_{36}$. Еще в 1994 году компания “Мицубиси” распространила сообщение о первом применении фуллеренов в электронике. Согласно этому сообщению, фуллерены используются в качестве основы для производства аккумуляторных батарей. Эти батареи, принцип которых основан на упоминавшейся выше реакции присоединения водорода, во многих отношениях аналогичны широко распространенным металлгидридным никелевым аккумуляторам. Однако в отличие от последних они обладают способностью запасать в пять раз больше энергии. Такие батареи характеризуются более высокой эффективностью, малым весом, экологической и санитарной безопасностью по сравнению с наиболее распространенными в этом плане аккумуляторам на основе лития.

Другими уникальными соединениями фуллеренов являются эндоэдральные комплексы. В частности, ожидается, что на основе эндоэдральных комплексов в будущем будут созданы высокоэффективные лекарства против рака. Так, нетрудно представить себе, что внутрь фуллереновой сферы можно поместить атом высокоактивного нуклида, а на сферу поместить органические хвосты, делающие подобное соединение специфичным тем или иным структурам или органам (например - раковой опухоли) организма. Таким образом, можно будет добиться того, что, будет проводиться селективная радиотерапия без повреждения соседствующих органов и тканей.

Механические свойства фуллеренов позволяют использовать их в качестве высокоэффективной твердой смазки.

Ученые предлагают новые металлоорганические молекулы на базе C_{60} . В 2001-2002 годах в Японии построен завод по производству фуллеренов в объеме десятков тонн, выпускаются первые партии изделий, в которых фуллерены используются как компонент новых композитных материалов.

Исследование водорастворимых соединений фуллеренов открыло новое перспективное направление, связанное с возможностью использования их в биологии и медицине, т.к. фуллерены, обладая определенным числом ненасыщенных связей, являются уникальными объектами акцепции электронов, а также идеальными реагентами для радикальных реакций. Это позволяет использовать их в качестве потенциальных "ловушек" (антиоксидантов) при гиперпродуцировании активных форм кислорода, являющегося ведущим механизмом при старении организмов или его патологическом состоянии. Различные водорастворимые комплексы фуллеренов оказывают влияние на окислительно-восстановительные процессы в органических соединениях. Это очень важно, так как может быть использовано для создания препаратов, обладающих биологической активностью противораковой и противовирусной направленности.

Рекомендации для школьного курса химии: При изучении углерода можно рекомендовать рассмотреть фуллерены, нанотрубки и графен в качестве примера современных наноматериалов на основе аллотропной модификации углерода, обладающих уникальными свойствами и имеющих широкую область применения.

5. Заключение

Включение информации о современных достижениях науки, техники и инженерной мысли в учебный процесс является важным инструментом для формирования у школьников мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки, для формирования компетенций в области учебно-исследовательской и проектной деятельности. Интерес

учащихся к передовым технологиям является мощным фактором их мотивации к получению знаний в рамках образовательного процесса и профессионального выбора.

6. Список литературных источников

1. Федеральный государственный образовательный стандарт среднего общего образования (приказ Минобрнауки РФ № 413 от 17 мая 2012, с изменениями и дополнениями от 31.12.2015, приказ Минобрнауки РФ № 1578)
2. Курашов В.И., Соловьев Ю.И. О проблеме "сведения" химии к физике // Вопросы философии. 1984. № 9. С. 89-98.
3. Корольков Д.В. Теоретическая химия - суверенная дисциплина // Российский химический журнал. 1996. Т. 40. № 3. С. 26-38.
4. Еремин В.В., Борщевский А.Я. Основы общей и физической химии. Долгопрудный: Издательский дом "Интеллект". 2012.
5. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэнде М. Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир. 1967. С. 34.
6. де Шарден П.Т. Феномен человека. М.: Прогресс. 1965.
7. Губин С.П. Химия кластеров. Основы классификации и строение. М.: Наука, 1987.
8. Словохотов Ю.Л., Стручков Ю.Т. Архитектура кластеров // Журн. ВХО им. Д.И. Менделеева. 1987. Т. 32, № 1.
9. Ананьева Е.А., Наговицына О.А., Сергиевский В.В. О взаимосвязи химии и физики: принцип дополнительности. *RussianJournalofPhysicalChemistryA*, 2016, 90 (2) pp. 511 - 516
10. Федянин А.Б., Ананьева Е.А., Гурова И.В., Жукова Т.В., Сорока И.В., Глаголева М.А. Способы образовательной интеграции школьных предметных дисциплин с научно-исследовательской практикой учащихся. «Вестник развития науки и образования», №6, 2010, с.103-110.
11. Федянин А.Б. Реализация межпредметного взаимодействия в процессе

организации научно-исследовательской и проектной деятельности учащихся.
Научно-практический журнал "Современная наука: актуальные проблемы теории и практики", Серия: Гуманитарные науки, №3 (ноябрь), 2011, с.59-63.

12. Интернет ресурсы