

## ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ ПО ХИМИИ НА ПРОГРАММАХ ДЛЯ ОДАРЁННЫХ ДЕТЕЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ЦЕНТРЕ «СИРИУС»

**Ерёмин В.В., Гладилин А.К., Дроздов А.А.**

*Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова*

Образовательный центр (ОЦ) «Сириус» – ведущая площадка страны по работе с одарёнными детьми. Его главная цель – раннее выявление, развитие и дальнейшая профессиональная поддержка одарённых детей, проявивших выдающиеся способности в области искусства, спорта, науки и технического творчества.

Центр был создан образовательным фондом «Талант и успех» в 2015 году по инициативе Президента России В.В. Путина и работает в городе Сочи. Основной формат – очные образовательные программы (смены), которые длятся 24 дня, с 1 по 24 число каждого месяца. Образовательный центр работает круглый год, без перерывов.

В ОЦ «Сириус» параллельно развиваются три направления:

1. «Наука» – математика, информатика и естественнонаучные дисциплины: физика, химия и биология. Поддерживается также проектная деятельность.
2. «Искусство» – академическая музыка, классический балет, живопись, гончарное искусство, анималистическая скульптура, литературное творчество.
3. «Спорт» – это направление ограничено ледовыми дисциплинами (хоккеем и фигурным катанием) и шахматами.

По каждому из направлений в образовательных программах участвует в среднем 200 человек. Таким образом, одновременно в Сириусе постоянно находится около 600 школьников. Для организации занятий с таким количеством детей и создания им комфортных условий проживания активно используется инфраструктура, унаследованная от зимней Олимпиады-2014. Дети живут в хорошей гостинице на берегу моря, рядом с которой построена школа «Сириус», где проходят теоретические занятия и практикум для младших школьников. Основные лабораторные помещения расположены неподалеку, в бывшем главном медиацентре Олимпиады в Сочи.

Попасть в «Сириус» могут школьники 10–17 лет из любых регионов России, если они проявили способности и уже достигли некоторых успехов в науке, искусстве или спорте. На каждую смену проходит достаточно жёсткий отбор, условия которого всегда известны заранее. Открытость и прозрачность – важнейшие принципы деятельности «Сириуса». Для того чтобы привлечь как можно больше одарённых детей и максимально расширить региональное представительство, при отборе введен ряд ограничений: ни один, даже самый талантливый школьник не может участвовать в двух сменах по одному и тому же предмету (по разным – можно) в течение года. Число представителей одного региона обычно также ограничивается; в первую очередь это касается Москвы.

Кроме трёх основных направлений работы с одарёнными школьниками в Сириусе развиваются многочисленные научные программы для студентов и курсы повышения квалификации для учителей, работающих с одарёнными детьми.

Отметим важный принцип работы ОЦ «Сириус»: участие в образовательных программах – бесплатное для всех школьников и студентов. Государство берет на себя абсолютно все расходы: питание, проживание и даже транспорт: все билеты в Сочи из любых регионов России, даже самых удаленных, оплачиваются «Сириусом». В то же время, программы повышения квалификации учителей бывают платными.

Условия отбора школьников и формат работы образовательных программ для разных направлений и научных дисциплин сильно различаются. Мы подробно расскажем о химических сменах.

### **Химические смены в Сириусе**

Химические смены проводятся в «Сириусе» с 2017 года. В течение календарного года проходят три смены: две из них предназначены для подготовки к олимпиадам высшего уровня, еще одна – проектно-ориентированная. Олимпиадные смены проходят в апреле и августе, в них участвуют самые сильные и мотивированные дети, уже добившиеся значительных успехов в химических олимпиадах и желающие достичь большего. Как правило, школьники с более высокими результатами – победители и призеры финального этапа Всероссийской олимпиады по химии – участвуют в августовской смене, а в апреле основной контингент составляют победители регионального этапа и так называемых «перечневых» олимпиад, к числу которых относятся, например, Московская олимпиада школьников и олимпиада «Ломоносов». Олимпиадные смены готовит Московский университет.

Проектная химическая смена проходит в ноябре. Её основное содержание составляет групповая работа школьников над исследовательскими проектами по химии. Программу смены готовит и реализует Санкт-Петербургский университет.

Олимпиадные смены – крупные, в них участвует по 200 школьников 8–10-х классов со всей России. Ноябрьская проектная смена – более камерная, её состав – около 70 школьников 9–11-х классов.

Есть ещё естественнонаучная смена, проходящая в феврале. Её научная программа поделена поровну между химиками, физиками и биологами, каждому предмету посвящена ровно одна неделя. На смену получают приглашение 150 школьников, поделенных поровну между тремя дисциплинами. При этом все участники изучают все три предмета. Основная задача смены – дать возможность детям сравнить подходы различных наук к познанию мира и привить им первоначальные навыки межпредметного мышления.

Отбор на любые образовательные программы в «Сириусе» имеет открытый конкурсный характер. Школьники подают заявки, в которых указывают свои достижения во Всероссийской олимпиаде, перечневых олимпиадах, исследовательской и проектной деятельности. Достижения пересчитываются в рейтинговые баллы, разные для каждой смены, и обладателей наивысшего рейтинга приглашают на смену.

Для 8-классников порядок отбора на химические смены другой, поскольку, в силу возраста, большинство ребят ещё не имеет значимых достижений. Поэтому для них создан специальный обучающий видеокурс, по итогам которого проходит сначала дистанционное, а потом и очное тестирование. Впервые такой принцип отбора планировалось применить в апрельской химической смене 2020 г., но по известным причинам смену перенесли на более поздний срок.

Как происходит процесс обучения в «Сириусе»? Прежде всего, ребят разбивают на отряды по 25 человек, и за каждым отрядом закрепляется преподаватель, который составляет план обучения с учётом возраста и стартового уровня школьников, приглашает других преподавателей и курирует весь процесс обучения. Занятия ведутся 6 дней в неделю, минимум по три пары в день. Теоретические занятия проходят в главном корпусе и в школе «Сириуса», а практические – в лабораториях главного олимпийского медиацентра, об этом подробнее будет сказано дальше. Преподают на сменах ведущие сотрудники университетов (Московского, Казанского и Санкт-Петербургского), молодые учёные, аспиранты, среди них много бывших победителей олимпиад. В качестве стажеров к занятиям привлекают и лучших школьных учителей, прошедших специальный отбор.

После занятий ребята слушают научно-популярные лекции (не только по химии) приглашенных учёных, участвуют в разнообразных научных, культурных и спортивных мероприятиях. Завершает каждую смену химическая олимпиада, которая проходит отдельно по каждому классу и показывает, чему ребята научились на смене.

Научная программа любой химической смены основана на углубленном изучении основных разделов химии. Кроме того, для каж-

дой смены выбирается одна специальная, ведущая тема, которой уделяется больше внимания, чем остальным. Так, в апреле 2019 года олимпиадная смена проходила под знаком Периодического закона, поскольку этот год был объявлен Международным годом Периодической таблицы. Темы уже завершившихся и ближайших планируемых смен приведены в таблице.

Таблица

### Тематические смены в образовательном центре «Сириус»

№ смены	Время проведения	Приоритетная тема
1	август 2017	Неорганические материалы
2	февраль 2018	Биохимия
3	август 2018	Радиохимия
4	апрель 2019	Периодический закон в химии
5	август 2019	Элементоорганическая химия
6	апрель 2020	Электрохимия

Ещё одна особенность химических смен – итоговые журналы. Это профессионально оформленные издания со специальным дизайном, очень разнообразные по содержанию, в которых отражается всё самое интересное, что было на смене. Преподаватели пишут об актуальных для школьников темах и разбирают самые интересные задачи, научно-популярная статья по приоритетной теме и другие научные заметки гармонично сочетаются с методическими материалами, приводятся описания опытов и методики синтезов, участники смены откровенно делятся своими впечатлениями о химии, «Сириусе» и преподавателях, приводится статистика смены.

Почти половину времени на химических сменах школьники проводят в лабораториях.

### Экспериментальная работа на химических сменах

ОЦ «Сириус» изначально замышлялся как место, где школьники, представляющие все, даже самые отдаленные уголки нашей страны, смогут не только пополнить багаж теоретических знаний и разобраться в нетривиальных приёмах решения научных головоломок, но и научиться работать в лаборатории. Именно поэтому буквально с самого начала огромная территория Главного олимпийского медиацентра

была передана фонду «Талант и успех» для организации пространства для практических занятий, а сам центр превратился в Парк науки и искусства «Сириус».

Повышенное внимание к практической работе особенно важно для будущих химиков, ведь химия – наука экспериментальная. Следует подчеркнуть, что цели практических занятий напрямую зависят от направленности образовательных смен ОЦ «Сириус», которые, в первом приближении, можно подразделить на олимпиадные, проектные и межпредметные. При работе с ребятами, достигшими первых успехов в химических олимпиадах, приходится исходить из того, что материальная база кабинетов химии во многих школах нашей страны далека от совершенства, а в ряде образовательных организаций химические лаборатории просто отсутствуют. С таким положением дел можно встретиться даже в крупных городах, не говоря уже о сельских школах. В то же время, начиная с регионального этапа Всероссийской олимпиады школьников по химии, соревнование включает два тура: теоретический и практический. Как правило, экспериментальные задачи олимпиады не требуют овладения продвинутыми методиками или умения работать на сложном исследовательском оборудовании. Чаще всего задания включают титрование, качественный анализ, не очень сложный неорганический или органический синтез, но для достижения успеха школьники должны хорошо владеть базовыми навыками лабораторной работы. Конечно, этого невозможно добиться за время одной образовательной смены. Тем не менее, опытным преподавателям удается обучить ребят всем основным премудростям, разобрав с ними типичные ошибки и закрепить навыки и приёмы, которые участники должны совершенствовать уже после возвращения домой, например, участвуя в региональных олимпиадных сборах. Таким образом, существенная часть химического практикума на образовательных программах – развитие и закрепление базовых навыков лабораторной работы.

Особо следует подчеркнуть осознанность практической работы. Ведь истинный экспериментатор – не робот, способный, например,

без ошибок отмерять и вносить в колбу растворы заданного объёма через точно совпадающие промежутки времени. Химик-практик должен уметь вести научные наблюдения, объединять их в единую картину, искать объяснения и интерпретации, формулировать и проверять гипотезы. В том же качественном анализе неизвестных объектов, часто встречающемся на олимпиадах разного уровня, залогом успеха зачастую является выбор правильной стратегии исследования.

Несмотря на достигнутые за последние годы безусловные успехи ряда представителей России на практическом туре Международной химической олимпиады, совершенствование навыков экспериментальной работы всё ещё остается серьёзным резервом сборной команды школьников нашей страны. Многие кандидаты в сборную России также являются выпускниками ОЦ «Сириус». Для таких опытных ребят преподаватели готовят задания повышенной сложности, которые могут включать хроматографию, спектрофотометрию, сложные синтетические операции, например: вакуумную перегонку, определение температуры плавления продуктов органического синтеза, перекристаллизацию, экстракции при помощи делительной воронки и т.п. Конечно же, при этом участникам предлагают попрактиковаться и в базовых навыках, ведь доведенное до автоматизма титрование – залог успешного прохождения практического тура.

Другим важным направлением деятельности ОЦ «Сириус» являются проектно-исследовательские смены, на которых ребята группируются в команды, решающие те или иные актуальные (но при этом посильные школьнику!) задачи, стоящие перед научным сообществом. Выход на такой высокий научно-технический и инновационный уровень исследований предопределяет необходимость как углубления теоретических представлений ребят, так и совершенствования их практических навыков. Но в данном случае на первый план выходит знакомство с современным оборудованием, передовыми технологиями и методами. И здесь ОЦ «Сириус» выступает как уникальный инкубатор молодых исследователей. Будучи оснащённым оборудованием в соответствии с самыми высокими стандартами (такой базы, ко-

нечно же, нет ни в одной школе; даже не каждый университет может похвастаться её наличием!), Парк науки и искусства дает возможность ребятам приобщиться к современным исследовательским практикам, прочувствовать все сложности экспериментальной работы, но в то же время и ощутить радость открытий, которые по достоинству оценивают как другие участники смены, так и требовательные преподаватели. Зачастую работы, начатые в рамках образовательных смен в ОЦ «Сириус», трансформируются в исследовательские работы, добивающиеся признания на всероссийских и международных конкурсах проектов. Ещё более важно то, что очень часто три недели, проведенные в научном поиске, определяют дальнейшую образовательную траекторию и научно-исследовательскую карьеры ребят.

В этом смысле показательна вторая химическая смена, состоявшаяся в ОЦ «Сириус» в феврале 2018 г. Приоритетным научным направлением на смене стала биохимия. Четыре отряда исследователей (всего около 100 школьников из регионов России) прослушали цикл лекций и приняли участие в многочисленных семинарах, пополнив багаж теоретических знаний и рассмотрев темы, на обсуждение которых обычно не остается времени в рамках традиционной школьной программы. А главным событием смены стал лабораторный практикум по биохимии, в рамках которого ученики 10-х и 11-х классов получили возможность поработать на современном оборудовании, используя последние достижения биохимии и биоаналитической химии для изучения реальных объектов современного мира, таких как коммерческая фармацевтическая продукция или повседневные пищевые и косметические продукты.

Участникам был предложен ряд практически важных поисковых задач. Одна из них представляла комплексное исследование по амплифицированию генетического материала и включала несколько подзадач, базирующихся на том или ином методе исследования. Так, школьники научились определять концентрацию белка методом Сми-та и общее содержание нуклеиновых кислот в образце при помощи системы NanoDrop™, выделять ДНК из биологического материала,



проводить полимеразную цепную реакцию (ПЦР) в пробирках и оценивать её результат, используя электрофорез в агарозном геле, а также ПЦР в реальном времени. Кроме того, ребята познакомились с флуоресценцией белков – сложным явлением, связанным с особым возбуждением биомолекул, и провели опыты с важным представителем таких белков – GFP (зелёным флуоресцирующим белком). Результатом работы явился набор генетического материала, который представляет безусловную ценность: ведь, используя данный подход, можно проверить содержание свиного мяса в колбасных изделиях под маркировкой «только из говядины», определить наличие генетических модификаций в томатах и выполнить иные опыты точно так же, как в лучших мировых исследовательских лабораториях.

Центральным объектом второй задачи стала лактатдегидрогеназа – фермент, катализирующий обратимую реакцию восстановления пирувата до лактата, сопровождающуюся окислением кофермента NADH. Третья задача была посвящена получению и анализу высокочистого препарата другого важного окислительно-восстановительного фермента – формиатдегидрогеназы (ФДГ). Для целей очистки были использованы электрофорез в полиакриламидном геле и гель-фильтрационная хроматография смеси белков. Четвёртая задача была посвящена определению каталитической активности и стабильности ФДГ. Для измерения характеристик фермента школьники использовали спектрофотометрический метод, поскольку восстановленная форма кофермента NADH, в отличие от окисленной формы  $\text{NAD}^+$ , поглощает свет при длине волны 340 нм.

Таким образом, будущие исследователи получили уникальную возможность овладеть современными методами лабораторных исследований и провести опыты на оборудовании, которое даже сейчас не встретишь в традиционных общих практикумах ведущих профильных университетов. Всё это, безусловно, способствует ранней профессиональной ориентации подрастающего поколения, позволяя ребятам сделать осознанный выбор и убеждая их в том, что быть исследователем – это интересно и престижно.

В 2019 г. введена в строй школа «Сириуса», химические, физические и биологические лаборатории которой оснащены самым современным оборудованием. Мы можем сделать вывод, что олимпиадные и проектные смены в образовательном центре «Сириус» – это долгосрочный проект, который в будущем приведёт в науку многих грамотных и мотивированных экспериментаторов.

### **Практико-ориентированные задачи**

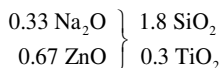
На химических образовательных программах, проводимых в ОЦ «Сириус», наряду с работой в практикуме, ребятам предоставляется возможность участвовать в выполнении практико-ориентированных задач. Набор этих задач варьируется в зависимости от специфики смены, её приоритетной направленности (см. таблицу). В то же время, мы стремимся последовательно развивать некоторые темы, которые соответствуют профилю различных лабораторий Научного парка с его богатой материально-технической базой.

Особый интерес представляют задачи с межпредметным содержанием в области неорганического материаловедения, о которых мы расскажем более подробно. Речь идёт о создании традиционных и разработке современных керамических материалов, под которыми мы понимаем поликристаллические материалы со свойствами диэлектрика. Данная область науки и технологии позволяет построить на базе Научного парка ОЦ «Сириус» мини-модель современного наукоемкого производства, в которую включены все составляющие – от заготовки сырья, его измельчения, подготовки, анализа, получения керамической массы до формования изделия, его сушки, обжига и декорирования. Участники смены знакомятся со всеми стадиями технологического процесса в его взаимосвязи. Занимаясь как исследовательской работой, так и знакомясь с технологией производства, приобретая производственные навыки, они на конкретных примерах видят связь науки, технологии и искусства. Ведь многие керамические изделия помимо функциональных свойств обладают ещё и эстетической привлекательностью. Исследовательская составляющая включает разработку составов стеклокерамических покрытий для высокотемпературной ке-

рамики, в том числе изучение морфологии поверхности, толщины контактного слоя при помощи имеющегося в Научном парке атомно-силового микроскопа.

Отдельное исследование направлено на разработку новых кристаллических глазурей. Глазурь – это стекловидное покрытие на керамике. Она не только делает керамическую основу влагонепроницаемой, но и придает ей приятный внешний вид. Многие изделия из керамики глазуруют именно в декоративных целях. Глазури представляют собой стекла, которые тонкой пленкой растекаются по поверхности и прочно связываются с ней, формируя контактный слой. Если коэффициенты термического расширения основы и глазурного слоя различаются, со временем изделие покрывается сеткой мелких трещин (цек) или происходит отделение части глазури (отскок). Глазурь, как и все стекла, термодинамически нестабильна, то есть склонна к кристаллизации, однако в силу высокой вязкости данный процесс кинетически затруднен. При введении в глазурь компонентов, способных вызывать кристаллизацию одной из фаз, в глазурном слое наблюдается фазовое разделение, вызванное образованием и ростом кристаллов. Из вязких силикатных расплавов хорошо кристаллизуется ортосиликат цинка  $Zn_2SiO_4$  – виллемит. В зависимости от температуры и состава глазури (который в том числе регулирует и вязкость), он образует кристаллы разной формы. Легче всего получить сферолиты, состоящие из узких перьевидных кристаллов, формирующихся из центра сферы. Иногда рост происходит так, что сфера не замыкается, а весь «кристалл» представляет собой сросток из веерообразно расположенных перьев. При высоких температурах образуются отдельные перья.

Одна из самых простых кристаллических глазурей имеет состав, выражаемый формулой Зегера:



Эта глазурь представляет собой силикатное стекло, в котором ионы натрия выступают как модификаторы, а ионы цинка – как стабилизаторы, упрочняющие структуру. Помимо этого, оксид цинка необхо-

дим и для образования виллемита. Рутил  $TiO_2$ , входящий в состав большинства кристаллических глазурей, играет важную роль в образовании центров нуклеации. В расплаве при высокой температуре рутил полностью переходит в стеклофазу, а при понижении температуры выделяется из неё в виде наночастиц, на которых происходит гетерогенное зародышеобразование кристаллов виллемита.

Введение в глазурь ионов магния, щёлочноземельных металлов и алюминия приводит к упрочнению стеклофазы, уменьшает текучесть. Оксид лития дополнительно понижает текучесть глазури и увеличивает температуру, при которой происходит фазовое разделение и кристаллизация.

В процессе обжига глазури в ней формируются кристаллы виллемита в виде асимметричных сферолитов. Стандартный режим обжига изделий с кристаллической глазурью предполагает: 1) быстрый подъём температуры в печи до максимальной (она может составлять 1210–1260 °С); 2) снижение температуры до 1000 °С; 3) последующее повышение температуры до 1050–1080 °С; 4) выдержку при этой температуре в течение нескольких часов; 5) быстрое понижение температуры.

На первой стадии глазурь растекается по поверхности изделия и покрывает её равномерным тонким слоем. На второй стадии образуются центры кристаллизации, которые претерпевают бурный рост при длительной выдержке в условиях возросшей вязкости (стадия 4). Чем ниже температура на стадии 4 и длительнее время выдержки, тем крупнее образующиеся кристаллы. Интересно, что после завершения всего цикла обжига рост кристаллов не может быть возобновлен, даже при повторном нагреве до исходной температуры изотермической выдержки.

Чистые, без примесей, кристаллы виллемита бесцветны, едва выделяются на белом фоне стекловидной глазури. В структуре виллемита присутствуют два типа тетраэдров  $[ZnO_4]$ , соединённые общими вершинами с кремнекислородными тетраэдрами  $[SiO_4]$ . Окраску кристаллам виллемита придают двухзарядные катионы металлов, которые

замещают один из атомов цинка. Согласно правилу Гольдшмидта, полный изоморфизм (то есть полное замещение одного атома другим без изменения структуры) возможен лишь между атомами, ионные радиусы которых различаются на 10–15%. Частичное замещение возможно при отличии между ионными радиусами 15–30%. Кристаллографический радиус иона  $Zn^{2+}$  в тетраэдрическом окружении равен 0,6 А. Для ионов  $3d$ -металлов эта величина составляет:  $Mn^{2+}$  – 0,60 А;  $Fe^{2+}$  – 0,64 А;  $Ni^{2+}$  – 0,55 А;  $Co^{2+}$  – 0,58 А;  $Cu^{2+}$  – 0,57 А. По величине ионного радиуса цинку ближе всего кобальт, поэтому он наиболее легко замещает цинк, окрашивая кристаллы виллемита в интенсивный синий цвет (рис. 1).

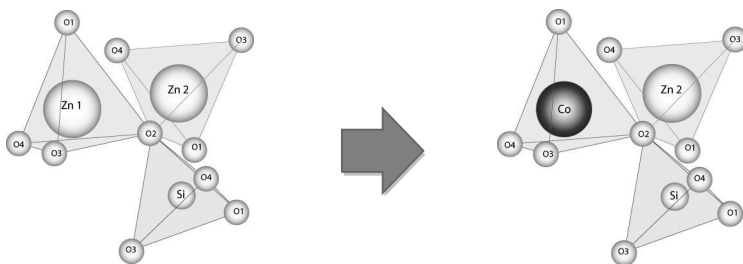


Рис. 1. Изоморфное замещение цинка на кобальт в структуре виллемита

Задача разработки составов новых кристаллических глазурей актуальна и для ведущего отечественного предприятия по производству фарфора – Императорского фарфорового завода, сотрудники которого (заведующая отделом НИОКР О.В. Куранова) не только обмениваются опытом со школьниками, но и предоставляют ОЦ «Сириус» образцы масс для отливки и пластического формования твердого, мягкого и костяного фарфора.

На базе лаборатории прототипирования ОЦ «Сириус» участники химических образовательных программ осваивают 3D-печать керамическими массами. Эта технология, получившая развитие в 2000-е годы, в нашей стране была применена к созданию изделий из керамики именно здесь.



Рис. 2. Ваза (форма «Березка», ИФЗ), мягкий фарфор, покрытая виллемитовой кристаллической глазурью (3-я химическая образовательная программа, ОЦ «Сириус»). На поверхности вазы хорошо видны кристаллы виллемита

Для бытовых изделий из керамики важно достичь сочетания функциональности и декоративизма. Форма изделия должна быть эстетически привлекательной (рис. 2). С созданием оригинальных форм участники химических смен знакомятся, работая в тесном сотрудничестве с коллективом кафедры художественной керамики Московской художественно-промышленной академии имени С.Г. Строганова (зав. кафедрой Е.А. Юдина, профессор кафедры Н.Ю. Хлебцевич).

Коллектив этого учебного заведения помогает школьникам освоить и простейшие приёмы декорирования художественных изделий, такие как подглазурная и надглазурная роспись, использование препаратов золота, платины, люстровых красок.

Результаты выполнения практико-ориентированных задач демонстрируются на выставках художественных изделий, организуемых в конце каждой смены. Фрагмент экспозиции одной из таких выставок показан на рис. 3. Центральное место в нём занимает подарочное блюдо, дизайн которого был разработан на 5-й химической смене (август 2019 г.). Блюдо декорировано молекулой циклического олигосахарида и логотипом Сириуса, декор нанесен на готовое изделие в технике декалькомании (руководитель проекта Н.Ю.Хлебцевич).



Рис. 3. Фрагмент выставки художественных изделий, созданных во время 5-й химической смены

Это блюдо было подарено школьниками Президенту РФ В.В.Путину, который пришёл в гости к ребятам во время практических занятий.

### Выводы

Работа в химических практикумах и лабораториях занимает очень важное место в химических образовательных программах образовательного центра «Сириус». Можно выделить 4 основных уровня практических задач, решаемых на химических сменах:

- отработка базовых навыков экспериментальной работы в области неорганической, органической и аналитической химии;
- решение более сложных практических задач на современном оборудовании;
- выполнение групповых исследовательских проектов;
- решение практико-ориентированных задач на стыке науки и искусства.

Задачи первого, второго и четвёртого уровня решаются на олимпиадных сменах, третьего уровня – на проектно-ориентированной смене.

Экспериментальная химия имеет свои особенности. Она не только интересная, но и затратная. Большое количество школьников на смене (до 200 человек) делает химические смены одними из наиболее дорогих и не позволяет масштабировать многие интересные эксперименты, требующие индивидуальной работы на приборе. В результате усиливается разделение юных химиков на теоретиков и экспериментаторов. Программа практических занятий на смене и расписание работы в лаборатории в значительной степени определяются имеющимся оборудованием. Но образовательный центр «Сириус» имеет очень хорошие возможности для оснащения химических практикумов необходимым оборудованием, а лабораторий Научного парка – современными приборами, поэтому участники химических образовательных программ глубоко погружаются в мир экспериментальной химии.