

Содержание

Предисловие	11
Глава 1. Введение	19
Ведение лабораторного журнала	24
Глава 2. Меры обеспечения безопасности в лаборатории	29
Рекомендуемые правила безопасности в лаборатории	30
Глава 3. Оснащение химической лаборатории	35
Стелянная и пластиковая лабораторная посуда универсального назначения	36
Микромасштабное оборудование	53
Рекомендуемая лабораторная посуда	55
Лабораторное оборудование и материалы	58
Рабочее место	73
Глава 4. Реактивы для домашней химической лаборатории	79
Химические названия	79
Квалификация химических реактивов	81
Факторы риска химикатов и рекомендации по безопасности	84
Пиктограммы опасности и буквенные обозначения	90
Правила техники безопасности	90
Химические вещества, используемые в данной книге	99
Глава 5. Совершенствование навыков работы в лаборатории	107
Погрешность измерений и значащие цифры	107
Правильное обращение с химическими веществами	109
Использование весов	111
Измерение объема жидкостей	113
Фильтрация	124
Разделение веществ	126
Использование нагревательного оборудования	128
Работа со стеклянными трубками	131
Очистка стеклянной посуды	134
Глава 6. Разделение смесей	139
Лабораторная работа 6.1. Дифференциальная растворимость: разделение песка и сахарозы	140

Лабораторная работа 6.2. Дистилляция: чистый этанол	143
Лабораторная работа 6.3. Рекристаллизация: выделение медного купороса	148
Лабораторная работа 6.4: Экстракция растворителями	153
Лабораторная работа 6.5: Хроматография: двухфазное разделение смесей	156
Лабораторная работа 6.6: Определение формулы гидрата	166
Глава 7. Растворимость и растворы	173
Лабораторная работа 7.1. Составление молярного раствора твердого химиката	179
Лабораторная работа 7.2. Создание молярного раствора твердого химиката	184
Лабораторная работа 7.3. Приготовление молярного раствора жидкого химиката	187
Лабораторная работа 7.4. Составление раствора с использованием массовой концентрации	192
Лабораторная работа 7.5. Определение концентрации раствора с помощью оптической колориметрии	194
Глава 8. Коллигативные свойства растворов	201
Лабораторная работа 8.1. Определение молярной массы раствора методом эбулиоскопии	203
Лабораторная работа 8.2. Определение молярной массы раствора методом понижения температуры замерзания	208
Лабораторная работа 8.3. Наблюдение за действием осмотического давления	212
Глава 9. Введение в химические реакции и стехиометрию	217
Лабораторная работа 9.1. Реакция соединения	219
Лабораторная работа 9.2. Реакция разложения	224
Лабораторная работа 9.3. Реакция замещения	229
Лабораторная работа 9.4. Стехиометрия реакции обмена	234
Глава 10. Окислительно-восстановительные реакции	241
Лабораторная работа 10.1. Восстановление (выделение) меди из медной руды	244
Лабораторная работа 10.2. Изучение степени окисления марганца	247
Глава 11. Кислотно-основная химия	253
Лабораторная работа 11.1. Что определяет водородный показатель pH?	255
Лабораторная работа 11.2. Определение показателя pH в водно-соляном растворе	261
Лабораторная работа 11.3. Изучение характеристик буферного раствора	264
Лабораторная работа 11.4. Стандартизация хлористоводородной кислоты путем титрования	268
Глава 12. Кинетика химических реакций	277
Лабораторная работа 12.1. Определение температурного воздействия на скорость реакции	278
Лабораторная работа 12.2. Определение влияния площади поверхности на скорость реакции	282
Лабораторная работа 12.3. Определение влияния концентрации на скорость реакции	285
Лабораторная работа 12.4. Определение влияния катализаторов на скорость реакции	288

Глава 13. Химическое равновесие и принцип Ле Шателье	295
Лабораторная работа 13.1. Изучение принципа Ле Шателье в действии	296
Лабораторная работа 13.2. Эффект общего иона в количественном выражении.....	302
Лабораторная работа 13.3. Определение константы произведения растворимости	305
Глава 14. Химия газов	313
Лабораторная работа 14.1. Изучение зависимости объема от давления (закон Бойля–Марриота)	316
Лабораторная работа 14.2. Изучение зависимости объема и температуры газов (закон Гей-Люссака)	321
Лабораторная работа 14.3. Изучение зависимости давления и температуры газов (закон Шарля)	326
Лабораторная работа 14.4. Применение уравнения состояния идеального газа для определения процентной доли уксусной кислоты в уксусе	330
Лабораторная работа 14.5. Определение молярной массы по плотности паров	334
Глава 15. Термохимия и калориметрия	341
Лабораторная работа 15.1. Определение теплоты растворения	343
Лабораторная работа 15.2. Определение теплоты плавления льда.....	346
Лабораторная работа 15.3. Определение удельной теплоемкости металла.....	349
Лабораторная работа 15.4. Определение теплового эффекта химической реакции (изменения энтальпии)	353
Глава 16. Электрохимия	359
Лабораторная работа 16.1. Получение водорода и кислорода методом электролиза воды	360
Лабораторная работа 16.2. Изучение электрохимического окисления железа	365
Лабораторная работа 16.3. Измерение потенциалов электродов	368
Лабораторная работа 16.4. Изучение преобразования энергии (напряжение и сила тока).....	373
Лабораторная работа 16.5. Как сделать гальваническую батарейку с двумя электродами.....	377
Лабораторная работа 16.6. Как сделать аккумулятор	381
Глава 17. Фотохимия	387
Лабораторная работа 17.1. Фотохимическая реакция йода и оксалата	388
Глава 18. Коллоиды и суспензии	397
Лабораторная работа 18.1. Изучение свойств коллоидов и суспензий.....	401
Лабораторная работа 18.2. Изготовление пены для пожаротушения	404
Лабораторная работа 18.3. Изготовление гелеобразного золя.....	406
Глава 19. Качественный анализ	413
Лабораторная работа 19.1. Применение реакции пламени для определения ионов металла.....	414
Лабораторная работа 19.2. Определение ионов металла при помощи перлов буры	418
Лабораторная работа 19.3. Качественный анализ неорганических анионов	421

Лабораторная работа 19.4. Качественный анализ неорганических катионов.....	427
Лабораторная работа 19.5. Качественный анализ костной ткани.....	434
Глава 20. Количественный анализ	441
Лабораторная работа 20.1. Количественный анализ витамина С методом кислотно-основного титрования	442
Лабораторная работа 20.2. Количественный анализ хлорсодержащего отбеливателя методом окислительно-восстановительного титрования.....	446
Лабораторная работа 20.3. Количественный анализ анионов морской воды	453
Глава 21. Синтез полезных соединений	463
Лабораторная работа 21.1. Синтез метилсалицилата из аспирина	464
Лабораторная работа 21.2. Получение искусственного волокна	471
Глава 22. Криминалистическая химия	477
Лабораторная работа 22.1. Применение теста Шерлока Холмса для обнаружения крови.....	478
Лабораторная работа 22.2. Проведение предварительного теста на содержание запрещенных наркотических веществ.....	481
Лабораторная работа 22.3. Обнаружение скрытых отпечатков пальцев.....	489
Лабораторная работа 22.4. Взятие пробы Марша.....	494
Предметный указатель	500



Предисловие

Рождественское утро 1964 года. Мне 11 лет. Мы с младшим братом проснулись ни свет ни заря и кубарем скатились вниз по лестнице, чтобы поскорее развернуть лежащие под елкой подарки. Наши родители, еще совсем сонные, спустились вслед за нами.

В тот год Санта расщедрился. Почти весь пол гостиной был заставлен подарками в пестрой оберточной бумаге. Будучи обычными мальчишками, мы беспечно разрывали упаковку, даже не задумываясь о том, с какой заботой были завернуты коробки. Мы набросились на них, как хищники на добычу.

Конечно, некоторых разочарований было не избежать: свитеры от бабушки, школьная форма от тети Бетти и вязаные шапочки от пожилой соседской пары, Пита и Сары. Но кроме этого, мы получили множество по-настоящему интересных подарков. Спортивное снаряжение и игрушечный пистолет с пистонами для моего младшего брата. Атомная подводная лодка «Поларис» на батарейках, которая стреляла маленькими пластиковыми баллистическими ракетами. Велосипед для моего брата и пневматический пистолет для меня! Много книг нашего любимого жанра. Игрушечный набор для литья, с печью для плавки свинца и формочками в виде солдатиков.

Открывая коробку за коробкой, мы с братом мысленно сверяли подарки с нашими списками желаний. Мы оба получили все, о чем попросили. Почти. Одну вещь я никак не мог отыскать: ту, которая каждый год возглавляла список моих желаний, с тех пор как поступила в продажу «Книга рождественских желаний» от холдинга «Сирз». Я отчаянно перерывал горы оберточной бумаги в надежде, что я просто не заметил одну коробку. Но ее нигде не было.

Стоя в стороне, мои родители наблюдали за тем, как мы с братом разрываем коробки, подобно тасманийским дьяволам. В тот момент, когда я осознал, что остался без самого желанного подарка, мама с папой позвали меня на кухню. Там, на кухонном столе, стояло то, что я так надеялся получить. Подарок был уже распакован, и его содержимое предстало перед моими глазами. Отец сказал: «Это от нас с мамой. Этот подарок не игрушка».

Это был набор для проведения химических экспериментов «Лайонел-Портер-Хемкрафт», именно та модель, о которой я мечтал: самая большая, с десятками реактивов и сотнями экспериментов. Стеклоянная лабораторная посуда, спиртовая горелка, весы и даже центрифуга. Все, что мне было необходимо для занятий химией. Я моментально забыл об

остальных подарках, даже о пневматическом пистолете, и принялся читать инструкцию по использованию, перескакивая от одного эксперимента к другому. Я тщательно изучил все флакончики с реактивами. Названия химикатов звучали как волшебные заклинания. Сульфат меди, карбонат натрия, сера, хлористый кобальт, кампешевое дерево, гексацаноферрат калия, сульфат аммония-железа и еще десятки слов.

Тогда я впервые прибегнул к помощи весов. Я положил что-то на одну чашу и постепенно добавлял гирьки на вторую до тех пор, пока игла не показала равновесие. Потом я решил попробовать сделать еще что-нибудь интересное, но отец усмирил мое рвение. «Запиши результат, – сказал он. – Ученый всегда записывает свои наблюдения. Тебе не стать ученым, если не научишься методично работать и записывать все, что делаешь. Иначе это никакое ни исследование, а просто баловство». С тех пор я всегда записываю результаты своих наблюдений и исследований.

Вскоре я потерял интерес к другим игрушкам, так как набор реактивов – подарок, который изменил мою жизнь. Несколько лет спустя мама рассказала мне, что они с папой, покупая этот набор, надеялись, что он займет меня хотя бы на пару недель. Но, как позже выяснилось, я заинтересовался куда серьезнее, чем они предполагали. Вместе с отцом в подвале мы оборудовали место для проведения химических экспериментов, а позже сделали фотолабораторию. Я отовсюду таскал инструменты и реактивы и копил деньги на более дорогое оборудование. Каждую свободную минуту я проводил в этой лаборатории и, наконец, поступил в университет на химический факультет, а затем закончил аспирантуру. Даже сейчас, спустя более сорока лет, у меня в подвале есть химическая лаборатория. Она гораздо лучше той, что мы с отцом сделали в 1960-х годах, но полученные тогда навыки до сих пор помогают мне в работе.

То, что я испытал в то рождественское утро, повторялось в миллионах других домов на протяжении многих лет, когда мальчики (и, увы, лишь немногие девочки) открывали свои первые наборы для экспериментов. С 1930-х по 1960-е годы это был один из самых популярных рождественских подарков. Такие наборы продавались миллионами каждый год. Говорят, что в 1940-х и 1950-х годах в каждой семье, где был ребенок, был химический набор. Эти наборы оставались популярными до 1970-х годов и выставлялись во всех магазинах игрушек и универмагах. А потом случилось нечто ужасное. В 1980-х годах днем с огнем нельзя было отыскать наборы для химических экспериментов. Лишь немногие магазины все еще продавали их, и все же большинство из тех, которые еще можно было найти, были бледным подобием того, чем были эти наборы во времена моего детства.

Эта ситуация никак не была связана с отсутствием спроса: дети интересовались экспериментами всегда. Изменилось общество. Производители и розничные торговцы стали беспокоиться о юридической ответственности и судебных процессах, и само слово «химия» вызывало неодобрение. Большинство химических наборов стали настолько «безобидными», что потеряло всякую пользу и превратилось в обычные игрушки. Некоторые так называемые «наборы для химических экспериментов» сейчас рекламируются фразой «без использования нагрева, стекла и химикатов», как будто этим стоит гордиться. С таким же успехом их на них можно ставить пометку «без химии».

Даже самый лучший набор для экспериментов, который в России есть в продаже, «Юный химик» компании «Научные развлечения», стоит больше 3 тыс. руб. и представляет собой неудачный компромисс стоимости, безопасности и конкурентоспособности. В этом комплекте нет такого необходимого оборудования, как весы и термометр, не хватает стеклянных приборов, а реактивов так мало, что эксперименты можно проводить лишь по микроскопической химии. Несмотря на эти недостатки, набор «Юный химик» – неплохой вариант, чтобы познакомить учеников младшего школьного возраста с практической работой в химической лаборатории. С его помощью дети могут получить яркие вещества с едкими запахами, что, в конце концов, является обычным трюком, чтобы привлечь ребят к химии. Проблема в том, что этого недостаточно.

Лабораторная работа – это основа химии, а измерения – основа лабораторной работы. Практическое введение в настоящую химию требует настоящего оборудования и настоящих реактивов, а также настоящих количественных экспериментов. Все существующие на данный момент хими-

ческие наборы дают лишь представление об этих основах, поэтому очевидным решением будет составление своего собственного набора для занятий настоящей химией.

Все, что вам потребуется, легко найти в магазинах по удивительно низкой цене. Заплатив ненамного больше, чем за набор игрушек, вы можете купить необходимое оборудование и химикаты и начать изучать химию. Конечно, одна из главных причин высокой стоимости наборов заключается в скрытой надбавке за материальную ответственность. Если вы купили набор для химических экспериментов и обожглись спиртовкой, вы можете подать в суд на производителя набора. Если вы купили отдельно спиртовку и обожглись, работая с ней, виноваты вы сами.

Так что же насчет реальных опасностей, связанных с серьезной работой в химической лаборатории? В конце концов, в некоторых из экспериментов в этой книге используются концентрированные кислоты, легковоспламеняющиеся жидкости, коррозионные вещества и яды. Ради всего святого, в одном эксперименте мы будем делать напалм! Значит ли это, что читатели начнут массово вымирать, взрывать и сжигать дома или отращивать дополнительные конечности? Разумеется, нет. Опасности можно предусмотреть. Одним из уроков, повторяющихся на протяжении всей этой книги, является важность принятия личной ответственности за полезные, но опасные действия. Нужно понимать конкретные риски и принимать необходимые меры, чтобы их минимизировать или устранить.

Я решил написать эту книгу после разговора с другом и соседкой Жасмин Литлджон. Жасмин 14 лет, и она способный ребенок, который хочет связать свою карьеру с естественными науками. Я спросил ее однажды, сколько времени этому уделяют у них в школе. «Совсем немного, – ответила она. – Обычно мы тратим часы на математику, обществознание, английский язык и всякую ерунду, а на химию, физику и биологию уходит примерно 15 минут». Несмотря на то что Жасмин учится в хорошей государственной школе, там, как и везде, на естественные науки выделяется мало времени и ресурсов, а о хорошо оборудованных лабораториях и говорить не приходится. Несомненно, причинами этому школа назовет ограниченные финансовые возможности и безопасность, но эти отговорки никак не помогают Жасмин в ее стремлении стать ученым.

С одобрения ее мамы я мог бы предоставить Жасмин свою химическую лабораторию в подвале, но это решило бы только часть проблем. Если Жасмин намерена делать нечто большее, чем яркие вещества с едкими запахами, если Жасмин хочет заниматься настоящей химией, ей потребуется больше, чем просто доступ в лабораторию. Необходимы подробные инструкции и структурированный план, которые помогут ей в процессе обучения. Она должна научиться пользоваться оборудованием и безопасно обращаться с химикатами. Ей нужны хорошо продуманные эксперименты, ориентированные на конкретные аспекты лабораторной работы. Другими словами, ей понадобится справочник по проведению химических экспериментов в домашних условиях, посвященный серьезной химии, а не баловству.

Моей первой мыслью было дать Жасмин какой-нибудь классический учебник по домашней химии, опубликованный еще в 30-х, 40-х или 50-х годах. Среди них встречаются отличные справочники, но почти во всех требуются такие химикаты, как бензол, тетрахлорид углерода, соли ртути, свинца и бария, концентрированная азотная кислота и т. д. Когда-то эти вещества были в свободном доступе, но сейчас они очень дорого стоят, и найти их довольно сложно.

В некотором смысле это не было серьезной проблемой. Почти все вышеперечисленное уже было в моей лаборатории. Но даже лучшие из этих старых книг нужно было серьезно править, прежде чем рекомендовать их Жасмин. Например, один из учебников предлагал попробовать высокотоксичный ацетат свинца (также известный как «свинцовый сахар»), чтобы обнаружить его сладкий вкус. Другие давали немного небрежную информацию о том, как нужно обращаться с растворимыми соединениями ртути, или описывали потенциально опасные эксперименты.

Я пришел к выводу, что единственное хорошее решение – это написать новую книгу об изучении настоящей химии в домашних условиях, которая станет полезной для многих тысяч других людей – детей и взрослых, – которые хотели бы испытать магию химии так же, как я в то давнее рожде-

ственный урок, потратив на это разумную сумму, с легко доступным оборудованием и химикатами. Так и появилось «Иллюстрированное руководство по проведению химических экспериментов в домашних условиях».

ДЛЯ КОГО ПРЕДНАЗНАЧЕНА ЭТА КНИГА

Эта книга предназначена для всех, от ответственных подростков до взрослых, которые хотят понять химию путем настоящих практических лабораторных экспериментов.

Любители рубрики «Сделай сам» и энтузиасты науки могут использовать эту книгу, чтобы овладеть практическими навыками и фундаментальными знаниями, необходимыми, чтобы химия стала их увлечением на всю жизнь. И те, кто изучает химию в домашних условиях, и ученики государственных школ, где химия преподается только в форме лекций, с помощью этой книги могут получить практический опыт в реальной лабораторной химии. Выполнение всех лабораторных работ, описанных в этой книге, приравнивается к двум полным годам школьного курса или первой ступени университетского курса общей практической химии.

И, наконец, пару слов о том, для кого эта книга НЕ предназначена. Если вы хотите сделать фейерверк и взрывчатку, – или, лучше сказать, если вы хотите сделать только фейерверк и взрывчатку – эта книга не для вас. Если ваша цель – получить черный порошок, или нитроглицерин, или пероксид ацетона, лучше поищите другую книгу. Здесь вы также не найдете инструкции по производству метамфетамина или синтезу других незаконных веществ в домашней лаборатории. Словом, если вы планируете нарушить закон, эта книга не для вас.

КАК ОРГАНИЗОВАНА ЭТА КНИГА

Первая часть этой книги состоит из повествовательных разделов, которые охватывают основные теоретические знания, необходимые для оснащения вашей домашней химической лаборатории, овладения практическими навыками и безопасной работы:

- глава 1 «Введение»;
- глава 2 «Меры обеспечения безопасности в лаборатории»;
- глава 3 «Оснащение химической лаборатории»;
- глава 4 «Реактивы для домашней химической лаборатории»;
- глава 5 «Совершенствование навыков работы в лаборатории».

Основная часть книги состоит из семнадцати практических лабораторных глав, каждая из которых посвящена определенной теме. Большинство лабораторных разделов включает в себя несколько лабораторных работ, от вступительных занятий, подходящих для средней школы или первого курса химии в средней школе, до более продвинутых, подходящих для студентов, планирующих сдавать экзамен по программе углубленного изучения химии:

- глава 6 «Разделение смесей»;
- глава 7 «Растворимость и растворы»;
- глава 8 «Коллигативные свойства растворов»;
- глава 9 «Введение в химические реакции и стехиометрию»;
- глава 10 «Окислительно-восстановительные реакции»;
- глава 11 «Кислотно-основная химия»;
- глава 12 «Кинетика химических реакций»;
- глава 13 «Химическое равновесие и принцип Ле Шателье»;
- глава 14 «Химия газов»;

-
- глава 15 «Термохимия и калориметрия»;
 - глава 16 «Электрохимия»;
 - глава 17 «Фотохимия»;
 - глава 18 «Коллоиды и суспензии»;
 - глава 19 «Качественный анализ»;
 - глава 20 «Количественный анализ»;
 - глава 21 «Синтез полезных соединений»;
 - глава 22 «Криминалистическая химия».

БЛАГОДАРНОСТИ

Несмотря на то что на обложке написано только мое имя, эта книга является результатом совместных усилий очень многих людей. Она не была бы написана без помощи и совета моей жены, Барбары Фричман Томпсон. Мои редакторы, Том Сгурос и Брайан Джемсон, помогли мне на каждом этапе и давали множество полезных советов. Как и всегда, дизайнеры и редакторы издательства O'Reilly чудесным образом превратили мою рукопись в готовую привлекательную книгу.

Наконец, особая благодарность моим друзьям и техническим рецензентам, доктору Мэри Червенак и доктору Полу Джонсу. Мэри, которая получила докторскую степень по органической химии в Университете Дьюка, является химиком-исследователем компании Dow Chemical. Пол, также получивший докторскую степень в области органической химии в Университете Дьюка, является профессором органической химии в Университете Уэйк-Форест. Мэри и Пол прекрасно справились с ролью технических рецензентов, исправили мои ошибки и внесли бесчисленные полезные предложения и комментарии. С их помощью (см. рис. 0.1) эта книга получилась гораздо лучше, чем могла бы быть. Спасибо, ребята.

КАК С НАМИ СВЯЗАТЬСЯ

Группа MAKE объединяет, вдохновляет, информирует и развлекает растущее сообщество находчивых людей, реализующих удивительные проекты в домашних условиях. Группа MAKE поощряет ваше право подстраивать, взламывать и использовать любую технологию по собственному желанию. Аудитория MAKE представляет собой растущее сообщество людей, верящих в возможность улучшения самих себя, окружающей среды, системы образования и всего мира. Это не просто аудитория, это всемирное движение, возглавляемое группой MAKE, — мы называем его *Maker Movement* («Движение творцов»).

Для получения дополнительной информации о группе MAKE посетите интернет-ресурсы:

- журнал MAKE: makezine.com/magazine;
- выставка Maker Faire: makerfaire.com;
- сайт Makezine.com: makezine.com;
- магазин Maker Shed: makershed.com.

СПАСИБО ВАМ

Благодарим вас за покупку «Иллюстрированной энциклопедии: химические эксперименты». Надеюсь, вам понравится читать и использовать эту книгу так же, как мне понравилось ее писать.

Рис. 0.1. *Paradoxybenzene, также известный как 1,4-дифенбензол*



ОТЗЫВЫ И ПОЖЕЛАНИЯ

Мы всегда рады отзывам наших читателей. Расскажите нам, что вы думаете об этой книге – что понравилось или, может быть, не понравилось. Отзывы важны для нас, чтобы выпускать книги, которые будут для вас максимально полезны.

Вы можете написать отзыв прямо на нашем сайте www.dmkpress.com, зайдя на страницу книги, и оставить комментарий в разделе «Отзывы и рецензии». Также можно послать письмо главному редактору по адресу dmkpress@gmail.com, при этом напишите название книги в теме письма.

Если есть тема, в которой вы квалифицированы, и вы заинтересованы в написании новой книги, заполните форму на нашем сайте http://dmkpress.com/authors/publish_book/ или напишите в издательство по адресу dmkpress@gmail.com.

Связаться напрямую с автором можно по электронной почте: robert@thehomescientist.com.

Я читаю все письма, которые присылают читатели, но не могу отвечать каждому из вас. Если бы я это делал, у меня бы не осталось времени ни на что другое. Но мне нравится получать ваши комментарии.

СПИСОК ОПЕЧАТОК

Хотя мы приняли все возможные меры, для того чтобы удостовериться в качестве наших текстов, ошибки все равно случаются. Если вы найдете таковые в одной из наших книг – возможно, ошибку в тексте или в коде, – мы будем очень благодарны, если вы сообщите нам о ней. Сделав это, вы избавите других читателей от расстройств и поможете нам улучшить последующие версии этой книги.

Если найдете какие-либо ошибки в коде, пожалуйста, сообщите о них главному редактору по адресу dmkpress@gmail.com, и мы исправим это в следующих тиражах.

НАРУШЕНИЕ АВТОРСКИХ ПРАВ

Пиратство в интернете по-прежнему остается насущной проблемой. Издательства «ДМК Пресс» и O'Reilly очень серьезно относятся к вопросам защиты авторских прав и лицензирования. Если вы столкнетесь с незаконно выполненной копией любой нашей книги, пожалуйста, сообщите нам адрес копии или веб-сайта, чтобы мы могли применить санкции.

Пожалуйста, свяжитесь с нами по адресу электронной почты dmkpress@gmail.com со ссылкой на подозрительные материалы.

Мы высоко ценим любую помощь по защите наших авторов, помогающую предоставлять вам качественные материалы.

Введение

- Ваши подход и цели во многом определяют, какой опыт вы получите.
- Если вы увлекаетесь химией, никаких проблем. Просто прочитайте книгу от начала до конца и сделайте лабораторные работы в том порядке, в котором они представлены.
- Для вас это станет хорошим развлечением, в ходе которого вы также узнаете много нового о химии.
- Если вы учитесь в школе или дома и хотите, чтобы лабораторный курс по химии дополнял и улучшал лекционный курс средней школы, вам нужно немного тщательнее спланировать ваши занятия. Лабораторные работы в этой книге охватывают два года школьного курса по химии, включая полный набор лабораторных работ, подходящих для студентов первого курса химического факультета и вторую группу лабораторных работ, подходящих для студентов второго курса или для тех, кто изучает химию углубленно.
- Лабораторные занятия в этой книге разбиты на главы по темам, но их порядок может не соответствовать порядку, в котором эти же темы рассматриваются в вашем учебнике по химии. Это не проблема, потому что вы можете выполнять эти лабораторные работы в любом порядке, соответствующем вашему учебнику. Другой вопрос – какие лабораторные работы выбрать?

ИЩИТЕ ТЕРМИНЫ

Поскольку в этой книге основное внимание уделяется лабораторным работам по химии, а не теории, в ней вам могут встретиться незнакомые термины, особенно, если вы пользуетесь этой книгой без опоры на какой-либо учебник. Обычно такие термины понятны из контекста. Но если вы все же не понимаете чего-либо, не нужно пытаться угадать. Поищите этот термин в интернете или в хорошем учебнике по общей химии.

Например, хороший учебник по общей химии – «Chemistry, The Central Science» (Brown, et al., Prentice Hall, 2002), но есть и многие другие. Учебники по химии часто можно купить по довольно низкой цене в магазинах подержанных книг, подойдет даже слегка устаревшее издание – они часто обновляются с очень незначительными изменениями. Но даже книга, выпущенная десять или более лет назад, охватывает все необходимые основы. За последние годы общая химия не сильно изменилась.

Тем студентам, которые не планируют углубленно изучать естественные науки в университете, нужен только первый курс химии с некоторым упором на основные химические лабораторные процедуры. Им достаточно 60–90 минут занятий в химической лаборатории в неделю. Хорошей отправной точкой послужат следующие лабораторные работы, но некоторые из них подразумевают два этапа:

- 6.1 «Дифференциальная растворимость: разделение песка и сахарозы»;
- 6.5 «Хроматография: двухфазное разделение смесей» (только первая часть);
- 7.1 «Составление молярного раствора твердого химиката»;

-
- 8.3 «Наблюдение за действием осмотического давления»;
 - 9.1 «Реакция соединения»;
 - 9.3 «Реакция замещения»;
 - 11.1 «Что определяет водородный показатель pH?»;
 - 13.1 «Изучение принципа Ле Шателье в действии»;
 - 14.1 «Изучение зависимости объема от давления (закон Бойля–Марриота)»;
 - 15.1 «Определение теплоты растворения»;
 - 15.2 «Определение теплоты плавления льда»;
 - 16.1 «Получение водорода и кислорода методом электролиза воды»;
 - 18.1 «Изучение свойств коллоидов и суспензий»;
 - 19.1 «Применение реакции пламени для определения ионов металла»;
 - 19.2 «Определение ионов металла при помощи перлов буры».

Студентам, которые планируют изучать естественные науки в университете углубленно, необходим курс химии с гораздо большим упором на химические лабораторные процедуры. В таком случае вам следует выделить два лабораторных занятия в неделю от 90 до 120 минут или же одно занятие продолжительностью 3–4 часа. (Регулярные лабораторные занятия в выходные дни, когда вы свободны от других занятий, лучше всего подходят для практики как ученикам на домашнем обучении, так и учащимся государственных школ.) Хорошей отправной точкой для вас будут следующие лабораторные занятия:

- 6.1 «Дифференциальная растворимость: разделение песка и сахарозы»;
- 6.2 «Дистилляция: чистый этанол»;
- 6.3 «Рекристаллизация: выделение медного купороса»;
- 6.4 «Экстракция растворителями»;
- 6.5 «Хроматография: двухфазное разделение смесей»;
- 7.1 «Составление молярного раствора твердого химиката»;
- 7.2 «Создание молярного раствора твердого химиката»;
- 7.3 «Приготовление молярного раствора жидкого химиката»;
- 7.4 «Составление раствора с использованием массовой концентрации»;
- 8.1 «Определение молярной массы раствора методом эбулиоскопии»;
- 8.2 «Определение молярной массы раствора методом понижения температуры замерзания»;
- 8.3 «Наблюдение за действием осмотического давления»;
- 9.1 «Реакция соединения»;
- 9.2 «Реакция разложения»;
- 9.3 «Реакция замещения»;
- 9.4 «Стехиометрия реакции обмена»;
- 10.1 «Восстановление (выделение) меди из медной руды»;
- 10.2 «Изучение стадий окисления марганца»;
- 11.1 «Что определяет водородный показатель pH?»;
- 12.1 «Определение температурного воздействия на скорость реакции»;
- 12.2 «Определение влияния площади поверхности на скорость реакции»;
- 12.3 «Определение влияния концентрации на скорость реакции»;
- 13.1 «Изучение принципа Ле Шателье в действии»;

- 13.2 «Эффект общего иона в количественном выражении»;
- 14.1 «Изучение зависимости объема от давления (закон Бойля–Марриота)»;
- 14.2 «Изучение зависимости объема и температуры газов (закон Гей-Люссака)»;
- 14.3 «Изучение зависимости давления и температуры газов (закон Шарля)»;
- 15.1 «Определение теплоты растворения»;
- 15.2 «Определение теплоты плавления льда»;
- 15.3 «Определение удельной теплоемкости металла»;
- 16.1 «Получение водорода и кислорода методом электролиза воды»;
- 18.1 «Изучение свойств коллоидов и суспензий»;
- 18.2 «Изготовление пены для пожаротушения»;
- 18.3 «Изготовление гелеобразного золя»;
- 19.1 «Применение реакции пламени для определения ионов металла»;
- 19.2 «Определение ионов металла при помощи перлов брыз».

ПРИМЕЧАНИЕ К ЭКЗАМЕНУ ДЛЯ СТУДЕНТОВ, ИЗУЧАЮЩИХ ХИМИЮ УГЛУБЛЕННО

В ходе обсуждения экзамена для студентов, изучающих химию углубленно (AP Chemistry Exam), д-р Пол Джонс сделал глубокий комментарий, заслуживающий серьезного рассмотрения. Многие из студентов первого курса, изучающих у Пола Джонса органическую химию, сдают экзамен AP Chemistry на оценку «4» или «5» и пропускают первый год общей химии в университете. Пол считает, что это ошибка, потому что почти никто из этих студентов не получает полного эквивалента первого курса общей химии на своих курсах углубленного изучения.

По мнению Пола, студенту, изучающему историю, очень удобно написать такой экзамен и сдать экстерном первый курс общей химии в университете, и наоборот, студенту, изучающему химию, очень трудно с помощью этого экзамена сдать экстерном первый курс общей истории. Но студент-историк не должен сдавать экстерном курс истории, а студент-химик (или студент другого естественно-научного направления) не должен сдавать экстерном курс химии.

Это не значит, что будущие химики (или физики, биологи или другие ученые) не должны проходить углубленные курсы по химии и сдавать экзамен. В худшем случае, на вступительных курсах по вашей специализации, даже если вы уже сдали углубленный экзамен, вы с легкостью получаете свою пятерку, впечатляете преподавателя и с ходу приступаете к дальнейшему изучению.

Если вы студент-химик второго курса углубленной программы, выделите как минимум два занятия химией в неделю по 2 часа или одно занятие продолжительностью 4 часа. Хорошей отправной точкой станут следующие лабораторные работы (которые предполагают, что в ходе первого курса вы выполнили предыдущую группу работ):

- 6.6 «Определение формулы гидрата»;
- 7.5 «Определение концентрации раствора с помощью оптической колориметрии»;
- 11.2 «Определение показателя pH в водно-соляном растворе»;
- 11.3 «Изучение характеристик буферного раствора»;
- 11.4 «Стандартизация хлористоводородной кислоты путем титрования»;
- 12.4 «Определение влияния катализаторов на скорость реакции»;
- 13.3 «Определение константы произведения растворимости»;
- 14.4 «Применение уравнения состояния идеального газа для определения процентной доли уксусной кислоты в уксусе»;

- 14.5 «Определение молярной массы по плотности паров»;
- 15.4 «Определение теплового эффекта химической реакции (изменения энтальпии)»;
- 16.2 «Изучение электрохимического окисления железа»;
- 16.3 «Измерение электродного потенциала»;
- 16.4 «Изучение преобразования энергии (напряжение и сила тока)»;
- 16.5 «Как сделать гальваническую батарейку с двумя электродами»;
- 16.6 «Как сделать аккумулятор»;
- 17.1 «Фотохимическая реакция йода и оксалата»;
- 19.3 «Качественный анализ неорганических анионов»;
- 19.4 «Качественный анализ неорганических катионов»;
- 19.5 «Качественный анализ костной ткани»;
- 20.1 «Количественный анализ витамина С методом кислотно-основного титрования»;
- 20.2 «Количественный анализ хлорсодержащего отбеливателя методом окислительно-восстановительного титрования»;
- 20.3 «Количественный анализ анионов морской воды»;
- 21.1 «Синтез метилсалицилата из аспирина»;
- 21.2 «Получение искусственного волокна»;
- 22.1 «Применение теста Шерлока Холмса для обнаружения крови»;
- 22.2 «Проведение предварительного теста на содержание запрещенных наркотических веществ»;
- 22.3 «Обнаружение скрытых отпечатков пальцев»;
- 22.4 «Взятие пробы Марша».

В табл. 1.1 показано, как лабораторные работы в этой книге сопоставляются с экспериментами, рекомендованными Советом колледжа для углубленного экзамена AP Chemistry. Обратите внимание, что некоторые из рекомендуемых экспериментов выполняются в течение первого года обучения и повторять их на втором курсе не нужно.

Таблица 1.1. Рекомендуемые эксперименты для углубленного изучения в сопоставлении с лабораторными работами в этой книге

#	Рекомендуемый эксперимент AP	#	Соответствующая лабораторная работа
1	Определение формулы соединения	9.2	Реакция разложения
2	Определение процента воды в гидрате	6.6	Определение формулы гидрата
3	Определение молярной массы по плотности паров	14.5	Определение молярной массы по плотности паров
4	Определение молярной массы методом понижения точки замерзания	8.2	Определение молярной массы раствора методом понижения температуры замерзания
5	Определение молярного объема газа	14.4	Применение уравнения состояния идеального газа для определения процентной доли уксусной кислоты в уксусе
6	Титрование раствора с использованием первичного стандарта	11.4	Стандартизация хлористоводородной кислоты путем титрования

Таблица 1.1 (окончание)

#	Рекомендуемый эксперимент AP	#	Соответствующая лабораторная работа
7	Определение концентрации кислотного-основным титрованием, включая слабую кислоту или слабое основание	20.1	Количественный анализ витамина С методом кислотного-основного титрования
8	Определение концентрации методом окислительно-восстановительного титрования	20.2	Количественный анализ хлорсодержащего отбеливателя методом окислительно-восстановительного титрования
9	Определение отношения массы и моля в химической реакции	9.4	Стехиометрия реакции обмена
10	Определение константы равновесия для химической реакции	13.3	Определение константы произведения растворимости
11	Определение показателей кислотного-основного титрования; определение pH	11.1 11.2	Что определяет водородный показатель pH? Определение показателя pH в водно-соляном растворе
12	Определение скорости и порядка реакции	12.1 12.2 12.3 12.4	Определение температурного воздействия на скорость реакции Определение влияния площади поверхности на скорость реакции Определение влияния концентрации на скорость реакции Определение влияния катализаторов на скорость реакции
13	Определение изменения энтальпии, связанное с реакцией	15.4	Определение теплового эффекта химической реакции (изменения энтальпии)
14	Разделение и качественный анализ катионов и анионов	19.3 19.4 19.5	Качественный анализ неорганических анионов Качественный анализ неорганических катионов Качественный анализ костной ткани
15	Синтез комплексного соединения и его химический анализ	21.2	Получение искусственного волокна
16	Аналитическое гравиметрическое измерение	20.3	Количественный анализ анионов морской воды
17	Колориметрический или спектрофотометрический анализ	7.5 17.1	Определение концентрации раствора с помощью оптической колориметрии Фотохимическая реакция йода и оксалата
18	Хроматографическое разделение	6.5	Хроматография: двухфазное разделение смесей
19	Приготовление буферных растворов и их свойства	11.3	Изучение характеристик буферного раствора
20	Определение ряда электродных потенциалов	16.1 16.2 16.3	Получение водорода и кислорода методом электролиза воды Изучение электрохимического окисления железа Измерение электродного потенциала
21	Измерения с использованием электрохимических элементов и гальванизации	16.4 16.5 16.6	Изучение преобразования энергии (напряжение и сила тока) Как сделать гальваническую батарейку с двумя электродами Как сделать аккумулятор
22	Синтез, очистка и анализ органического соединения	21.1	Синтез метилсалицилата из аспирина

Разделение смесей

Смесь представляет собой вещество, которое содержит два или более элементов и/или соединений, которые смешаны физически, но не вступают в химическую реакцию с образованием новых веществ. Смесь может быть твердой, жидкой, газообразной или некоторой комбинацией этих состояний.

Мы окружены смесями как в химии, так и в повседневной жизни. Воздух, которым мы дышим, – это смесь азота, кислорода и небольших количеств других газов. Безалкогольные напитки, которые мы пьем, – это сложные смеси воды, сахара, углекислого газа и различных органических соединений, которые обеспечивают цвет и аромат. Пища, которую мы едим, – это сложные смеси органических и неорганических соединений.

Чаще всего смеси создаются намеренно, потому что каждая смесь обладает особыми желаемыми характеристиками. Например, нержавеющая сталь представляет собой смеси железа, хрома, углерода, никеля, марганца и других элементов в определенных пропорциях, выбранных для оптимизации таких характеристик, как устойчивость к коррозии, твердость, предел прочности, цвет и блеск. Аналогичным образом, бетон – это сложная смесь компонентов, подобранных, чтобы минимизировать затраты и улучшить его прочность, долговечность, устойчивость к солям, водонепроницаемость и другие свойства в зависимости от цели использования бетона.

Поскольку компоненты смеси химически не реагируют, можно разделить смесь на ее составные вещества, используя исключительно физические средства. Химики разработали множество методов разделения компонентов на основе дифференциальных физических характеристик, включая дифференциальную растворимость, дистилляцию, вторичную кристаллизацию, экстракцию растворителем и хроматографию. В этой главе мы рассмотрим эти общие методы разделения смесей.

Лабораторная работа 6.1. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ РАСТВОРИМОСТЬ: РАЗДЕЛЕНИЕ ПЕСКА И САХАРОЗЫ

Дифференциальная растворимость была одним из самых ранних методов, разработанных для разделения смесей. Она основывается на том, что разные вещества имеют разную растворимость в разных растворителях. В этой лабораторной работе мы рассмотрим простейший пример дифференциальной растворимости: разделение смеси двух соединений, один из которых свободно растворим в воде, а другой – не растворим в воде вообще.

Разделение смесей в повседневной жизни

Смеси являются начальными точками многих веществ, которые мы используем каждый день.

- Нефтеперерабатывающие заводы используют дистилляцию и другие методы разделения для переработки сырой нефти – комплексной смеси углеводородов – в бензин, дизельное топливо и сотни других полезных органических соединений.
- Промышленные химики синтезируют тысячи ценных соединений, от фармацевтических препаратов и пластмасс до красителей, которые экстрагируются из сложных смесей побочных продуктов. Зачастую эти соединения очищаются путем использования одного или нескольких методов разделения, которые мы рассмотрим в этой главе.
- Горные компании извлекают, измельчают и обрабатывают тонны породы, чтобы получить лишь несколько граммов драгоценной металлической руды. Например, обычная золотая руда содержит менее 50 г золота на 1000 кг руды (0,005 %).

Необходимое оборудование и материалы

- Весы и бумага для взвешивания
- Вода
- Мензурка, 150 мл (2)
- Микроволновая или обычная печь
- Очки, перчатки и защитная одежда
- Палочка для перемешивания
- Предметное стекло
- Промывочная бутылка (с водой)
- Сахароза (10,0 г)
- Сухой песок (10,0 г)
- Фильтровальная бумага
- Фильтровальная воронка
- Электрическая плитка

ЗАМЕНЫ И МОДИФИКАЦИИ

- Вы можете заменить мензурки любыми удобными термостойкими контейнерами нужного размера.
- Вы можете заменить фильтровальную воронку обычной кухонной, а фильтровальную бумагу – фильтром для кофемашины.
- Если песок не полностью сухой, распределите его тонким слоем и высушите в микроволновой печи или обычной духовке.
- Вы можете заменить сахарозу обычным сахаром.



Предупреждение

Несмотря на то что химические вещества, используемые в этой лабораторной работе, не являются опасными, надлежащая лабораторная практика требует всегда надевания защитных очков, перчаток и защитной одежды. Будьте осторожны при нагревании смеси с помощью электроплитки.

ПРОЦЕДУРА

1. Если вы еще этого не сделали, наденьте защитные очки, перчатки и защитную одежду.
2. Взвесьте около 10,0 г сухого песка и около 10,0 г сахарозы и добавьте оба вещества в мензурку. Запишите массу каждого вещества в строках А и В табл. 6.1.
3. Перемешайте смесь или покрутите мензурку до тех пор, пока сахароза и песок не будут тщательно перемешаны.
4. Добавьте в мензурку около 25 мл воды и тщательно перемешайте, чтобы растворить сахарозу.
5. Взвесьте кусочек фильтровальной бумаги и запишите его массу в табл. 6.1.
6. Взвесьте вторую мензурку и запишите ее массу в табл. 6.1.
7. Установите фильтровальную воронку над второй мензуркой, используя фильтровальную бумагу, которую вы взвешивали на предыдущем этапе.
8. Слегка раскрутите содержимое первой мензурки, чтобы добиться взвешенного состояния песка в жидкости, и вылейте жидкость в фильтровальную воронку.
9. Используйте промывочную бутылку, чтобы сполоснуть мензурку несколькими миллилитрами воды, и вылейте эту воду со всем оставшимся песком в фильтровальную воронку, собирая фильтрат (это жидкость, которая проходит через фильтровальную бумагу; твердое же вещество, оставшееся на фильтровальной бумаге, называется осадком) во второй мензурке. При необходимости повторите, пока весь песок не будет перенесен из первой мензурки в фильтровальную воронку.
10. Удалите фильтровальную бумагу из воронки, стараясь не потерять ни малейшего количества песка. Поместите фильтровальную бумагу на предметное стекло, как показано на рис. 6.1, и аккуратно нагревайте ее под лампой накаливания, в микроволновой печи или обычной духовке, пока вся влага не выпарится.
11. Взвесьте фильтровальную бумагу и запишите массу фильтровальной бумаги с песка в табл. 6.1. Вычислите массу песка.
12. Поместите вторую мензурку на электрическую плитку и осторожно доведите до кипения. Продолжайте кипятить раствор до тех пор, пока не испарится практически вся вода. По мере уменьшения объема раствора сахар начинает кристаллизоваться. Палочкой для перемешивания разбивайте большие куски кристаллизованного сахара по мере их образования. Уменьши-

те нагрев и продолжайте осторожно выпаривать жидкость, пока оставшаяся в мензурке сахароза полностью не высохнет. Следите за тем, чтобы не перегреть и не сжечь сахарозу.

13. Когда мензурка с ее содержимым полностью остынет, взвесьте ее и запишите общую массу мензурки и сахарозы в табл. 6.1. Рассчитайте массу сахарозы.

Рис. 6.1. Фильтровальная бумага захватывает песок, позволяя раствору сахарозы проходить в приемную мензурку



Комментарий доктора Пола Джонса

Понаблюдайте за физическим видом песка и сахара. Изменяется ли он в процессе проведения эксперимента? Это хорошее правило, которого следует придерживаться при любых физических или химических манипуляциях.

Таблица 6.1. Дифференциальная растворимость – наблюдаемые и расчетные данные

Пункт	Значение
A. Песок, начальная масса	____, ____ г
B. Сахароза, начальная масса	____, ____ г
C. Фильтровальная бумага	____, ____ г
D. Вторая мензурка	____, ____ г
E. Фильтровальная бумага + песок	____, ____ г
F. Вторая мензурка + сахароза	____, ____ г
G. Песок, конечная масса (E – C)	____, ____ г
H. Сахароза, конечная масса (F – D)	____, ____ г



Утилизация

Все отходы от этого эксперимента можно утилизировать с бытовыми отходами.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА

1. После этой процедуры вы должны получить отдельные кучки песка и сахарозы, массы которых будут совпадать с начальными значениями. Насколько близки результаты вашего эксперимента к ожидаемым результатам? Предложите объяснение, почему конечные массы песка и/или сахарозы могут быть выше или ниже начальных масс.

2. Вам необходимо смешать бетон, но единственный доступный песок сильно загрязнен солью, которая ослабляет бетон. У вас есть много воды, но нет средств для фильтрации. Как можно удалить соль из песка?

3. У вас есть смесь двух компонентов, оба из которых свободно растворяются в воде. Что можно сделать, чтобы разделить эти компоненты с использованием метода дифференциальной растворимости?

Лабораторная работа 6.2. ДИСТИЛЛЯЦИЯ: ЧИСТЫЙ ЭТАНОЛ

Дистилляция является самым старым методом, используемым для разделения смесей жидкостей. Он основывается на том, что разные жидкости имеют разные точки кипения. Когда смесь жидкостей нагревается, жидкость с более низкой (или самой низкой) точкой кипения испаряется первой. Этот пар направляется через *конденсатор*, который охлаждает его и конденсирует в виде жидкости, после чего она собирается в приемном сосуде. По мере того как исходная жидкая смесь продолжает нагреваться, жидкость с более низкой температурой кипения или ее часть отводится, и в дистилляционной емкости остается только жидкость или жидкости с более высокой температурой кипения.

Я говорю «жидкость или ее часть», потому что дистилляция – это несовершенный метод разделения смесей жидкостей, которые образуют азеотропы. Азеотропная смесь, которая также называется смесью с постоянной температурой кипения, представляет собой смесь двух или более жидкостей

в определенном соотношении, состав которой не может быть изменен путем простой перегонки. Каждая азеотропная смесь имеет характерную точку кипения, которая может быть ниже (положительные азеотропы, или минимально кипящая смесь) или выше (отрицательные азеотропы, или максимально кипящая смесь), чем точка кипения отдельных жидкостей, составляющих азеотропную смесь.

Например, этанол образует положительную азеотропную смесь с водой. Точка кипения смеси 95,6%-го этанола (по массе) с 4,4%-ной водой составляет 78,1 °С, что ниже температуры кипения чистой воды (100 °С) или чистого этанола (78,4 °С). Поскольку азеотропная смесь закипает при более низкой температуре, для получения этанола в концентрациях выше 95,6% невозможно использовать простую дистилляцию. (Более концентрированные растворы этанола могут быть получены с использованием сухих веществ, таких как безводный хлорид кальция, которые физически поглощают воду из 95,6%-го раствора этанола. Хранить и обращаться с этими растворами следует очень аккуратно; в противном случае они будут поглощать водяной пар из воздуха, пока не достигнут 95,7%-ной азеотропной концентрации.)

Этанол также образует азеотропы со многими другими жидкостями, включая ядовитые или горькие на вкус вещества. Это позволяет производить денатурированный токсичный этанол, который нельзя пить, и, следовательно, его можно продавать намного дешевле без снижения продаж (и налогов) гораздо более дорогого питьевого этанола, например водки, и других дистиллированных напитков.

В этой лабораторной работе мы будем использовать дистилляцию для увеличения концентрации раствора этанола. При 25 °С чистая вода имеет плотность 0,99704 г/мл, а чистый этанол – 0,78736 г/мл. Плотность раствора этанола и воды имеет среднее значение между этими двумя числами. Если вы сложите значения плотности чистых жидкостей и разделите это число на два, вы получите 0,89220 г/мл, что можно считать плотностью смеси этанола и воды в пропорции 50 : 50. На самом деле это не так. Этанол и вода не смешиваются объемным способом; то есть если вы смешаете 100 мл чистого этанола с 100 мл чистой воды, вы не получите 200 мл раствора по той же причине, по которой растворение 100 мл сахарозы в 100 мл воды не дает 200 мл раствора.

Тем не менее можно определить концентрацию этанола, измерив плотность раствора и сравнив это значение с таблицами плотности этанола и воды, доступными в справочнике по химии и физике и подобной литературе. Мы будем измерять плотность исходного раствора и полученного дистиллята и сравнивать эти значения с опубликованными значениями, чтобы определить концентрацию этанола в двух растворах.

На рис. 6.2 показан дистилляционный аппарат, который я использовал для выполнения этой лабораторной работы. Обратите внимание, что обе колбы надежно закреплены для предотвращения опрокидывания и что отверстие в пробке приемной колбы (справа) открыто – это позволяет выпускать лишний воздух из колбы и не накапливать давление. Приемная колба стоит в большом контейнере с ледяной водой. Когда пары спирта проходят через трубку в приемную колбу, они немедленно конденсируются при контакте с холодным воздухом в приемной колбе.

Рис. 6.2. Мой дистилляционный аппарат



Необходимое оборудование и материалы

- Весы
- Дистилляционный аппарат (см. «Замены и модификации»)
- Кипящий камень
- Мензурка, 250 мл
- Мерная колба, 100 мл
- Очки, перчатки и защитная одежда
- Электрическая плитка или другой беспламенный нагревательный элемент
- Этанол, 70%-ный (200 мл)

ЗАМЕНЫ И МОДИФИКАЦИИ

- Вы можете заменить мерную колбу объемом 100 мл на мерный цилиндр того же объема с некоторой потерей точности.
- Если у вас нет готового дистилляционного аппарата, вы можете сделать его из стандартного набора оборудования. Я использовал устройство, показанное на рис. 6.2. В его конструкцию входят две колбы Эрленмейера, подходящие к ним крышки с одним и двумя отверстиями, несколько коротких стеклянных трубок, несколько пластиковых трубок и ванна с холодной водой. Используйте пробку с двумя отверстиями в приемной колбе, чтобы предотвратить накопление давления в аппарате. Ванна с холодной водой будет охлаждать приемную колбу, что заставит пары этанола конденсироваться сразу после поступления в колбу. В зависимости от емкости вашего дистилляционного аппарата, максимальной емкости ваших весов, емкости вашей мерной колбы или другой мерной посуды и концентрации этанола вам может потребоваться изменение исходного количества этанола.
- Этанол продается иногда под таким названием, а иногда под названием «этиловый» или «медицинский» спирт (если на бутылке указано «медицинский спирт», убедитесь, что это этанол, а не изопропанол).
- Чаще всего концентрация этанола составляет 70 % по объему (около 64,7 % по массе), но также можно найти концентрации 90 и 95 %. Если вы используете более концентрированный этанол, разбавьте его водой до 70 %, прежде чем начать дистилляцию.

ПРОЦЕДУРА

1. Если вы еще этого не сделали, наденьте защитные очки, перчатки и защитную одежду.
2. Взвесьте мерную колбу и запишите ее массу в строке А табл. 6.2.
3. Налейте 100,00 мл этанола в мерную колбу и снова взвесьте ее. Запишите общую массу колбы и этанола в строке В табл. 6.2.
4. Вычитите значение строки А из значения строки В и запишите результат (массу 100 мл этанола) в строке С. Разделите значение в строке С на 100, чтобы получить плотность этанола в г/мл и запишите это значение в строке D.
5. Вылейте этанол из мерной колбы в дистилляционный сосуд и добавьте еще 100 мл этанола. Положите в колбу один или два кипящих камня.
6. Соберите дистилляционный аппарат, используя мензурку объемом 250 мл в качестве приемного сосуда.
7. Включите электрическую плитку и медленно доведите этанол до кипения. Когда этанол закипит, температура, отображаемая на термометре дистилляционного аппарата, начнет быстро расти, пока не стабилизируется при температуре пара этанола и воды.

8. Продолжайте перегонку до тех пор, пока в приемном сосуде не будет собрано более 100 мл дистиллята (убедитесь, что температура не поднимается выше стабильного значения, иначе это будет означать, что весь этанол испарился из дистилляционного сосуда, а то, что вы передаете в приемный сосуд, – это чистая вода. В таком случае начните снова, используя больше исходной смеси этанола).
9. Дайте дистилляту остыть до комнатной температуры.
10. Перенесите 100,0 мл дистиллята в мерную колбу, взвесьте колбу и ее содержимое и запишите массу в строке E табл. 6.2.
11. Вычтите значение строки A из значения строки E, чтобы определить массу дистиллята, и запишите полученный результат в строку F табл. 6.2.
12. Разделите значение строки F на 100, чтобы получить плотность дистиллята в г/мл и запишите результат в строке G.

Таблица 6.2. Дистилляция этанола – наблюдаемые и расчетные данные

Пункт	Данные
A. Мерная колба	____, ____ г
B. Мерная колба с 100 мл 70%-го этанола	____, ____ г
C. Массовая доля 100 мл 70%-го этанола (B – A)	____, ____ г
D. Плотность 70%-го этанола (C/100)	____, ____ г/мл
E. Мерная колба с 100 мл дистиллированного этанола	____, ____ г
F. Масса 100 мл дистиллированного этанола (E – A)	____, ____ г
G. Плотность дистиллированного этанола (F/100)	____, ____ г/мл



Утилизация

Вы можете сохранить дистиллированный этанол и использовать его в качестве топлива для спиртовки или любых других целей, для которых требуется денатурированный этанол, концентрация которого не является критичным фактором. Или же вы можете безопасно вылить этанол в канализацию. Если вы решите сохранить дистиллят, промаркируйте сосуд.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Если у вас достаточно времени и необходимых материалов, вы можете выполнить следующие дополнительные задания.

- Повторите дистилляцию, переведя исходный дистиллят в дистилляционный сосуд для повторной перегонки. Объем второго дистиллята будет меньше, чем объем первого, так что вам необходимо или перегнать значительно больше, чем изначальные 100 мл, или же использовать меньшую мерную колбу, чтобы определить плотность второго дистиллята. Вы также можете использовать мерный цилиндр для определения плотности второго дистиллята с некоторой потерей точности.
- Проведите дистилляцию в третий раз и определите плотность (и концентрацию этанола) третьего дистиллята.

АЗЕОТРОПЫ С ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ КИПЕНИЯ

Соляная кислота является одним из знакомых примеров отрицательного азеотропа (с высокой температурой кипения). Чистый хлористый водород имеет температуру кипения $-84\text{ }^{\circ}\text{C}$, а чистая вода – $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Раствор 20,2%-го хлористого водорода (по массе) в воде имеет температуру кипения $+110\text{ }^{\circ}\text{C}$, что выше, чем точка кипения любого из компонентов. Это означает, что кипячение раствора хлористоводородной кислоты любой концентрации в конечном итоге приводит к получению раствора хлористого водорода с точной концентрацией 20,2%. Если исходный раствор более разбавленный, вода отводится до тех пор, пока раствор не достигнет концентрации 20,2%. Если исходный раствор более концентрирован, газообразный хлористый водород отгоняется до тех пор, пока раствор не достигнет концентрации 20,2%.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА

1. Ожидаете ли вы, что плотность раствора дистиллированного этанола будет ниже или выше, чем плотность исходного раствора этанола? Почему?

2. Используя значения плотности различных концентраций этанола и воды, которые можно найти в справочнике по химии и физике или в надежном онлайн-источнике, оцените концентрацию этанола в исходном растворе и в дистилляте.

3. В аптеке продается денатурированный этанол в концентрациях 70, 95 и 99% по весу. Растворы с концентрацией 70 и 95% стоят относительно недорого в отличие от раствора с концентрацией 99%. Почему?

4. В процессе дистилляции вина получается не бесцветный чистый этанол, как можно ожидать, а коньяк с глубоким цветом и сложным ароматом. Почему?

Лабораторная работа 6.3. РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ: ВЫДЕЛЕНИЕ МЕДНОГО КУПОРОСА

В этой лабораторной работе для очистки необработанного сульфата меди мы будем использовать процедуру, называемую *рекристаллизацией*. Неочищенный сульфат меди представляет собой смесь сульфата меди и различных примесей, которые могут включать карбонат меди, оксиды меди и другие соединения меди. Вы можете найти необработанный сульфат меди в хозяйственном или садовом магазине, где он продается как средство для уничтожения корней растений или для ухода за прудом.

Многие химические вещества, кроме сульфата меди, можно найти по низкой цене в необработанных формах, например, технического и практического класса. Несмотря на то что они могут быть недостаточно чистыми для общего лабораторного использования, при помощи метода рекристаллизации многие из них можно очистить до эквивалента лабораторного или даже реактивного класса.

Успешная рекристаллизация зависит от двух факторов. Во-первых, кристаллы представляют собой самую чистую форму химического вещества, поскольку в кристаллической решетке нет места для примесей. По мере роста кристаллов в растворе необработанного химического вещества, все примеси остаются в растворе. Во-вторых, некоторые химические вещества гораздо лучше растворяются в горячей воде, нежели в холодной. Например, растворимость пентагидрата сульфата меди, который мы очистим в этой лабораторной работе составляет 203,3 г / 100 мл при 100 °С против 31,6 г / 100 мл при 0 °С.

Другими словами, насыщенный раствор сульфата меди при 100 °С содержит примерно в шесть раз больше вещества, чем такое же количество раствора при 0 °С. Если мы насытим кипящую воду необработанным сульфатом меди, а затем охладим этот раствор до 0 °С, около 5/6 сульфата меди кристаллизуется в чистом виде, оставляя примеси в растворе (а также примерно 1/6 исходного сульфата меди).

Как только кристаллы сформировались, их можно отделить от надосадочной жидкости при помощи фильтрации или сцезивания. В любом случае часть загрязненной жидкости остается смешанной с кристаллами очищенного сульфата меди. Последние остатки загрязнения можно удалить, промыв кристаллы небольшим количеством ледяной воды или другого смешиваемого с водой растворителя, например, ацетона, после чего останутся только очищенные кристаллы сульфата меди.

Мы будем использовать ацетон для финального промывания, потому что сульфат меди почти не растворим в ацетоне. Если бы мы использовали ледяную воду, часть нашего очищенного сульфата меди растворилась бы в промывочной воде, снижая конечный выход. Ацетон смывает примеси и не растворяет кристаллы сульфата меди. Кроме того, такие летучие органические растворители, как ацетон, испаряются быстрее и более полно, чем вода.

ПЕРЕСЫЩЕННЫЕ РАСТВОРЫ

Пересыщенный раствор – это такой раствор, который содержит больше вещества на единицу объема раствора, чем обычный раствор при данной температуре. Перенасыщение обычно происходит, когда температура насыщенного раствора постепенно уменьшается. Вместо выпадения в осадок избыточное растворенное вещество остается в растворе до тех пор, пока не произойдет какое-либо явление, из-за которого оно может выпасть в осадок. Это явление может быть столь же незначительным, как попадание крошечного кристалла растворенного вещества в раствор или просто постукивание по контейнеру. Это называется зародышеобразованием. Кристаллы, полученные из пересыщенного раствора, не всегда будут чистыми, поскольку быстрая кристаллизация может захватить примеси в кристаллической структуре.

Необходимое оборудование и материалы

- Ацетон (несколько миллилитров)
- Ванна со льдом
- Весы и бумага для взвешивания
- Гептагидрат карбоната натрия (50 г)
- Мензурка, 250 мл (2)
- Мерный цилиндр, 100 мл
- Очки, перчатки и защитная одежда
- Палочка для перемешивания
- Пентагидрат сульфата меди (250 г неочищенных кристаллов)
- Термометр
- Фильтровальная бумага
- Фильтровальная воронка и штатив
- Щипцы для мензурки
- Электрическая плитка

ЗАМЕНЫ И МОДИФИКАЦИИ

- Если ваша электрическая плитка работает от нагревательной катушки, а не от плоской поверхности нагрева, используйте между катушкой и мензуркой большую крышку от консервной банки или крышку для горелки. Не допускайте прямого контакта мензурки и горелки.
- Количество сульфата меди, используемого в этой лабораторной работе, предполагает, что вы на самом деле хотите очистить несколько десятков граммов сульфата меди для использования в последующих экспериментах этой книги. Если вы хотите только продемонстрировать принцип рекристаллизации, вы можете пропорционально уменьшить количество сульфата меди (и воды) и размер мензурки.
- Вы можете заменить 50 г гептагидрата карбоната натрия на 50 г кристаллической соды.
- Вы можете заменить 50 г гептагидрата карбоната натрия на 23 г безводного карбоната натрия.
- Вместо использования ванны со льдом вы можете охладить раствор в морозильной камере. В таком случае убедитесь, что раствор находится в герметичном контейнере и не сможет загрязнить какие-либо продукты питания в морозильной камере. Промаркируйте раствор, чтобы никто не перепутал его с продуктами питания (это должно быть совершенно очевидно, ведь маркировка контейнеров – хорошая лабораторная техника, и никогда не следует хранить какой-либо продукт в немаркированном контейнере).

ПРОЦЕДУРА

1. Если вы еще этого не сделали, наденьте защитные очки, перчатки и защитную одежду.
2. Положите бумагу для взвешивания на чашу весов и обнулите весы до 0,00 г. Добавляйте неочищенный пентагидрат сульфата меди до тех пор, пока весы не покажут примерно 250 г. Запишите массу неочищенного сульфата меди с точностью до 0,01 г в строке А табл. 6.3. Если максимальная емкость ваших весов составляет менее 250 г, взвесьте несколько образцов, пока не получите суммарно 250 г. Перенесите сульфат меди во вторую мензурку объемом 250 мл.
3. Установите весы на 0,00 г и взвесьте кусочек фильтровальной бумаги. Запишите ее массу с точностью до 0,01 г в табл. 6.3 и на самой фильтровальной бумаге.
4. Согните фильтровальную бумагу веером и отложите для последующего использования.
5. Установите фильтровальную воронку с еще одним кусочком сложенной веером фильтровальной бумаги над одной из мензурок емкостью 250 мл.

- Используйте мерный цилиндр объемом 100 мл, чтобы отмерить 150 мл горячей водопроводной воды, и добавьте ее к сульфату меди в мензурку на 250 мл.
- Поставьте мензурку на конфорку и медленно доведите воду до кипения. Размешивайте раствор до тех пор, пока весь необработанный сульфат меди не растворится. Любое твердое вещество, которое вы не можете растворить, является нерастворимой примесью, и его можно проигнорировать.

Комментарий доктора Пола Джонса

Я бы не сказал, что его можно «игнорировать». Как описано на следующей стадии, любой нерастворимый остаток нужно собрать при помощи горячей фильтрации и выбросить. Не стоит добавлять больше воды в попытках растворить его. Кроме того, горячая фильтрация работает лучше всего, если вы нагреете приемный сосуд перед фильтрацией. Используйте немного кипящей воды для нагрева фильтровальной бумаги и воронки. Это уменьшает кристаллизацию на бумаге.

- Используя щипцы для мензурки, как можно быстрее вылейте горячий раствор сульфата меди через фильтровальную бумагу. Некоторые сульфаты меди могут рекристаллизоваться при контакте с более холодной фильтровальной бумагой, воронкой или приемным сосудом, но, по мере того как вы продолжаете заливать горячий раствор в воронку, они должны снова возвращаться в раствор.
- По мере охлаждения раствора сульфат меди начнет кристаллизоваться. Медленное охлаждение приводит к образованию более крупных кристаллов, а быстрое охлаждение дает небольшие кристаллы. Маленькие кристаллы легче обрабатывать и взвешивать, поэтому мы хотим сделать кристаллы как можно меньшего размера. В таком случае, наша цель – охладить раствор от точки кипения до точки замерзания как можно быстрее. Для этого поместите мензурку с горячим раствором в ванну со льдом или морозильник.

Комментарий доктора Пола Джонса

Да, но гораздо круче выращивать большие кристаллы, позволяя раствору отстояться и медленно остыть. После этого вы увидите, как они растут. Вы даже можете снять замедленное видео.

- По мере охлаждения раствора периодически помешивайте его термометром. Ожидая, пока раствор остынет до 0 °C, удалите использованную фильтровальную бумагу из фильтровальной воронки, дочиста промойте воронку и вложите в нее сложенную веером фильтровальную бумагу, которую вы взвешивали ранее. Также дочиста промойте первую мензурку на 250 мл и поставьте ее под воронку.
- Когда раствор остынет до 0 °C, палочкой для перемешивания соскоблите кристаллы, которые выросли по бокам стакана. Осторожно закрутите содержимое стакана, чтобы кристаллы спензировались в растворе, и слейте раствор в фильтровальную воронку.
- Используйте несколько миллилитров ацетона, чтобы смыть оставшиеся кристаллы из мензурки, и вылейте ацетон в фильтровальную воронку, убедитесь, что он смочил все кристаллы в фильтровальной бумаге.
- Осторожно удалите фильтровальную бумагу и отложите очищенные кристаллы сульфата меди, чтобы дать им обсохнуть.
- Когда фильтровальная бумага и сульфат меди полностью высохнут, взвесьте их и запишите общую массу бумаги и кристаллов в табл. 6.3.
- Перенесите очищенные кристаллы сульфата меди в промаркированную бутылку и сохраните их для использования в следующих лабораторных экспериментах.

Рис. 6.3. Рекристаллизованный сульфат меди



Рис. 6.4. Осадок карбоната меди



РАСТВОРИМОСТЬ И ТЕМПЕРАТУРА РАСТВОРИТЕЛЯ

Большинство твердых водорастворимых соединений лучше растворяются в горячей воде, чем в холодной. Газы и некоторые твердые соединения, наоборот, лучше растворяются в холодной воде, чем в горячей. Это явление называется *ретроградной растворимостью*. Для этих твердых соединений можно сделать рекристаллизацию в обратном направлении. Вместо того чтобы составлять насыщенный раствор соединения в горячей воде, а затем охлаждать его, чтобы вызвать образование кристаллов, вы можете сделать насыщенный раствор соединения в холодной воде, а затем нагреть его, чтобы вызвать образование кристаллов.

Изменение растворимости в зависимости от температуры растворителя отличается от соединения к соединению. Некоторые соединения, такие как сульфат меди, который мы используем в этой лабораторной работе, гораздо лучше растворяются в горячей воде, чем в холодной. Но на растворимость многих соединений температура растворителя влияет мало. Например, растворимость хлорида натрия в воде составляет 355 г/л при 0 °С, увеличиваясь всего на 10% до 390 г/л при 100 °С. Для очистки таких соединений метод рекристаллизации неэффективен, поскольку большая часть соединения остается в растворе независимо от температуры.

НЕОБРАБОТАННЫЕ, НО ЧИСТЫЕ

По иронии судьбы, «необработанные» кристаллы сульфата меди, которые мы купили, оказались совершенно чистыми. На этикетке были указаны данные анализа: «сульфат меди – 99,0%», а это значение практически равно реактивному классу чистоты химиката. Доктор Пол Джонс, один из моих технических рецензентов, является профессором химии. Я показал ему килограммовую бутылку сульфата меди, которую купил в местном гипермаркете материалов для поделок своими руками. Он изучил этикетку, прокомментировал высокую чистоту химиката и спросил: «Сколько это стоило?». Когда я сказал ему, что заплатил около 7,50 долл. за бутылку химиката весом один килограмм, а также добавил, что бутылка гидроксида натрия весом один килограмм, этикетка с анализом на которой гласила: «100,0%», стоила примерно 5 долл., Пол сказал: «Возможно, мне стоит начать покупать химикаты именно там». И правда.

На этом этапе мы имеем (без потерь) около 200 г кристаллов чистого сульфата меди на фильтровальной бумаге и около 50 г неочищенного сульфата меди, растворенного примерно в 150 мл раствора. Вместо того чтобы впустую тратить 50 г неочищенного сульфата меди, мы используем его для получения неочищенного карбоната меди, который пригодится нам в более поздней лабораторной работе.

Сульфат меди довольно растворим в воде, как и карбонат натрия и сульфат натрия, но карбонат меди чрезвычайно не растворим в воде. Мы воспользуемся этой разницей в растворимости для производства, разделения и очистки карбоната меди. Проведем реакцию отработанного раствора

сульфата меди с раствором карбоната натрия, мы выделим в осадок почти все ионы меди в виде нерастворимой карбонатной соли, оставив сульфат натрия в растворе.

1. Взвесьте около 50 г гептагидрата карбоната натрия и перенесите его в пустую мензурку на 250 мл.
2. Используйте мерный цилиндр, чтобы отмерить около 100 мл теплой водопроводной воды, и вылейте эту воду в мензурку с карбонатом натрия. Перемешайте до растворения карбоната натрия.
3. Вылейте 100 мл раствора карбоната натрия в стакан с раствором сульфата меди, постоянно перемешивая.
4. Поместите свежий кусок сложенной веером фильтровальной бумаги в фильтровальную воронку и поставьте пустую мензурку под воронку. Закрутите содержимое стакана, чтобы суспензировать осадок в растворе, и вылейте раствор через фильтровальную бумагу.
5. Промойте осадок три раза, каждый раз используя примерно 50 мл воды. На этой стадии мы удаляем из осадка почти весь сульфат натрия, а также любые другие растворимые соли, образованные следами загрязнений в исходном растворе отходов.
6. Осторожно удалите фильтровальную бумагу и отложите карбонат меди в сторону, чтобы дать ему высохнуть. Если у вас достаточно ацетона, вы можете окончательно ополоснуть осадок 25–50 мл ацетона, чтобы удалить почти всю воду и дать ему быстрее сохнуть.
7. Перенесите карбонат меди в промаркированную бутылку и сохраните его для использования в более поздней лабораторной работе.

Таблица 6.3. Рекристаллизация сульфата меди – наблюдаемые и расчетные данные

Пункт	Данные
A. Неочищенный сульфат меди	____, ____ г
B. Фильтровальная бумага	____, ____ г
C. Фильтровальная бумага и очищенный сульфат меди	____, ____ г
D. Очищенный сульфат меди (C – B)	____, ____ г

Комментарий доктора Мэри Червенак

Пол также начал покупать бикарбонат натрия в продуктовом магазине, потому что он намного дешевле и такой же чистый (если не чище, так как он обычно используется для выпечки), чем контейнеры, которые он покупает у своих обычных поставщиков лабораторного химического оборудования!



Утилизация

Осадок со стадии № 19 содержит только сульфат натрия и небольшое количество меди. Вы можете смыть его в раковину большим количеством воды. Использованная фильтровальная бумага может быть утилизирована с бытовыми отходами.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА

1. Растворимость пентагидрата сульфата меди составляет 2033 г/л при 100 °С, что означает, что 305 г должны растворяться в 150 мл воды при 100 °С. Как вы думаете, почему мы использовали только 250 г необработанного сульфата меди, а не 305 г?

-
-
-
-
-
-
2. Мы получили около 80 % выхода (примерно 200 г очищенного сульфата меди из 250 г необработанного сульфата меди). Возможно, мы немного улучшили процентный выход, поскольку сначала растворили немного больше, чем 250 г сырого сульфата меди, но в лучшем случае этот метод все равно привел бы к тому, что примерно шестая часть необработанного сульфата меди перешла бы в отходы. Какой метод мы можем использовать для существенного увеличения процентного выхода?
-
-
-
-
3. Химику для конкретной процедуры требуется чистый сульфат меди – как минимум, на 99,9%. Он собирается провести рекристаллизацию необработанного сульфата меди, как это сделали мы, но анализ показывает, что чистота полученного сульфата меди составляет всего 99,4%. Что он может сделать, чтобы получить сульфат меди с чистотой 99,9% или выше?
-
-
-
-

Лабораторная работа 6.4: ЭКСТРАКЦИЯ РАСТВОРИТЕЛЯМИ

Экстракция растворителем, также называемая *жидкостной экстракцией*, или *разделением*, представляет собой процедуру, используемую для разделения соединений на основе их растворимости в двух несмешивающихся жидкостях, обычно в воде и органическом растворителе. Во время экстракции растворителем один или несколько растворов в одной из жидких фаз мигрируют в другую жидкую фазу. Затем две жидкие фазы разделяют физически, а желаемый продукт выделяют из той фазы, которая его содержит.

Экстракция растворителем является одним из наиболее часто используемых методов лабораторной очистки, особенно в лабораториях органической химии. В химических лабораториях этот метод обычно осуществляется в пределах микромасштабной химии порционно, с использованием *разделительной воронки*. Экстракция растворителем также широко используется в промышленных операциях. Некоторые промышленные применения задействуют порционную экстракцию, хотя обычно применяется непрерывная экстракция зачастую в огромных масштабах, когда два растворителя непрерывно добавляют в большой реакционный сосуд и удаляют из него.

В некоторых случаях при экстракции растворителем желаемый продукт мигрирует из исходной жидкой фазы во вторую жидкую фазу. В других случаях из исходной жидкой фазы во вторую жидкую фазу мигрируют примеси, оставляя продукт в исходной жидкой фазе. Фаза, которая содержит

желаемый продукт, называется слоем продукта. Фаза, которая содержит примеси, избыточные реагенты и другие нежелательные соединения, называется слоем отходов. Многие студенты-первокурсники, начинающие изучать органическую химию, терпят фиаско, выбрасывая то, что они считают слоем отходов, и позже понимая, что на самом деле это был слой продукта.

В этой лабораторной работе мы будем применять метод экстракции растворителем для выделения йода, присутствующего в растворе Люголя, водного раствора йода и йодида калия.

Необходимое оборудование и материалы

- Водопроводная вода
- Жидкость для розжига (~ 2 мл)
- Очки, перчатки и защитная одежда
- Пипетка
- Предметное стекло
- Пробирка с твердой пробкой
- Раствор Люголя (1 мл)
- Стойка для пробирок

ЗАМЕНЫ И МОДИФИКАЦИИ

- Вы можете заменить предметное стекло чашкой Петри, маленькой мензуркой или блюдцем.
- Вы можете заменить раствор Люголя настойкой йода. Настойка йода представляет собой раствор йода в этаноле, поэтому, если вы используете именно его, вы делаете простой перенос йода из одного слоя в другой, а не разделяете йод и йодид калия, присутствующие в растворе Люголя. Тем не менее настойкой йода этот принцип тоже можно проиллюстрировать.
- Вы можете заменить жидкость для розжига бензином, разбавителем краски или любым другим органическим растворителем, который не смешивается с водой.

Комментарий доктора Пола Джонса

Может быть, вы хотите, чтобы они научились на собственном горьком опыте, что, честно говоря, является единственным способом на самом деле выучить этот урок, но я всегда ясно говорю своим студентам, что нельзя выбрасывать ничего до тех пор, пока они не получат желаемый или ожидаемый продукт. Но, конечно же, меня никто не слушает. Увы, такова жизнь учителя. Пока вы находитесь рядом с ними, они думают, что вы идиот, и только по прошествии многих лет понимают, что вы не болван и никогда им не были.

ПРОЦЕДУРА

1. Если вы еще этого не сделали, наденьте защитные очки, перчатки и защитную одежду.
2. Заполните пробирку водой примерно наполовину.
3. Добавьте в пробирку около 1 мл (~20 капель) раствора Люголя. Закройте пробирку пробкой и взбалтывайте ее до тех пор, пока содержимое тщательно не перемешается. Запишите, наблюдаете ли вы что-нибудь необычное в том, как выглядит водный раствор в строке А табл. 6.4.
4. Пипеткой аккуратно добавьте в пробирку около 1 мл жидкости для розжига, позволяя ей стечь по внутренней стенке пробирки, как показано на рис. 6.5 (если вы заменили жидкость для розжига другим растворителем, убедитесь, что он образует отдельный слой поверх водного раствора йода. В ином случае вам нужно будет начать эксперимент заново, используя раство-

ритель, который не смешивается с водой). Опишите внешний вид слоя органического растворителя в строке В табл. 6.4.

Рис. 6.5. Водный раствор йода (справа) с верхним органическим слоем (слева) перед экстракцией



5. Закупорите пробирку и энергично встряхните ее в течение 15 с. Опишите вид смешавшихся слоев сразу после завершения перемешивания в строке С табл. 6.4.
6. Поставьте пробирку в стойку и дайте ей отстояться в течение примерно 30 с. Опишите вид водного и органического слоев в строках D и E табл. 6.4.
7. После того как два слоя полностью разделятся, используйте пипетку, чтобы удалить максимум верхнего (органического) слоя. Перенесите его в предметное стекло и отложите, чтобы дать растворителю испариться.
8. Добавьте около 1 мл жидкости для розжига к водному раствору. Закупорите пробирку, взболтайте ее и подождите, пока слои не разделятся. Опишите внешний вид водного и органического слоев в строках F и G табл. 6.4.



Предупреждение

Йод – токсичное вещество, которое раздражает и окрашивает кожу и одежду. Пятна можно удалить разбавленным раствором тиосульфата натрия. Жидкость для розжига легко воспламеняется. Наденьте защитные очки, перчатки и защитную одежду.

Таблица 6.4. Экстракция йода растворителем – наблюдаемые данные

Слой	Внешний вид
A. Водный раствор йода	
B. Органический слой (перед перемешиванием)	
C. Смешанные слои (после перемешивания)	
D. Водный слой (после отстаивания)	
E. Органический слой (после отстаивания)	
F. Водный слой (после второй экстракции)	
G. Органический слой (после второй экстракции)	



Утилизация

Водные отходы можно смыть в канализацию большим количеством воды. Несколько миллиграммов твердого йода можно смыть в канализацию или утилизировать с твердыми бытовыми отходами.