



НТО

МАТЕРИАЛЫ ЗАДАНИЙ
Всероссийской междисциплинарной олимпиады
школьников 8–11 класса
«Национальная технологическая олимпиада»
по профилю
«Наносистемы и наноинженерия»

2024/25 учебный год

УДК 373.5.016:62-022.53

ББК 74.263.0

Н25

Авторы:

Т. В. Байкова, Е. А. Ештукова-Щеглова, Е. Е. Катунина, Т. Е. Комарова, Н. Ю. Кузнецов, К. В. Лунева, Т. А. Маннанов, К. А. Переvoщикова, А. В. Рогачев, О. А. Рубан, Д. О. Яшина

Н25 Всероссийская междисциплинарная олимпиада школьников 8–11 класса «Национальная технологическая олимпиада». Учебно-методическое пособие
Том 15 **Наносистемы и наноинженерия**

— М.: Ассоциация участников технологических кружков, 2025. — 222 с.

ISBN 978-5-908021-14-2

Данное пособие разработано коллективом авторов на основе опыта проведения всероссийской междисциплинарной олимпиады школьников 8–11 класса «Национальная технологическая олимпиада» в 2024/25 учебном году, а также многолетнего опыта проведения инженерных соревнований для школьников. В пособии собраны основные материалы, необходимые как для подготовки к олимпиаде, так и для углубления знаний и приобретения навыков решения инженерных задач.

В издании приведены варианты заданий по профилю Национальной технологической олимпиады за 2024/25 учебный год с ответами, подробными решениями и комментариями. Пособие адресовано учащимся 8–11 классов, абитуриентам, школьным учителям, наставникам и преподавателям учреждений дополнительного образования, центров молодежного и инновационного творчества и детских технопарков.

Методические материалы также могут быть полезны студентам и преподавателям направлений, относящихся к группам:

11.00.00 Электроника, радиотехника и системы связи;

12.00.00 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии;

18.00.00 Химические технологии;

19.00.00 Промышленная экология и биотехнологии

20.00.00 Техносферная безопасность и природооустройство

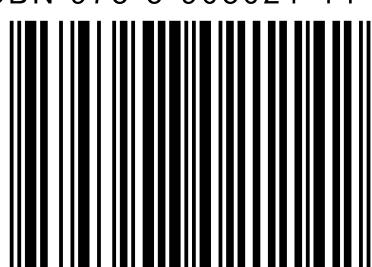
22.00.00 Технологии материалов;

28.00.00 Нанотехнологии и наноматериалы

ISBN 978-5-908021-14-2

УДК 373.5.016:62-022.53

ББК 74.263.0



9 785908 021142 >

Оглавление

| | |
|--|------------|
| 1 Введение | 5 |
| 1.1 Национальная технологическая олимпиада | 5 |
| 1.2 Наносистемы и наноинженерия | 13 |
| 2 Первый отборочный этап | 16 |
| 2.1 Работа наставника НТО на этапе | 16 |
| 2.2 Предметный тур. Химия | 17 |
| 2.2.1 Первая волна. Задачи 8–9 класса | 17 |
| 2.2.2 Первая волна. Задачи 10–11 класса | 26 |
| 2.2.3 Вторая волна. Задачи 8–9 класса | 37 |
| 2.2.4 Вторая волна. Задачи 10–11 класса | 47 |
| 2.2.5 Третья волна. Задачи 8–9 класса | 60 |
| 2.2.6 Третья волна. Задачи 10–11 класса | 72 |
| 2.2.7 Четвертая волна. Задачи 8–9 класса | 85 |
| 2.2.8 Четвертая волна. Задачи 10–11 класса | 97 |
| 2.3 Предметный тур. Физика | 111 |
| 2.3.1 Первая волна. Задачи 8–9 класса | 111 |
| 2.3.2 Первая волна. Задачи 10–11 класса | 115 |
| 2.3.3 Вторая волна. Задачи 8–9 класса | 120 |
| 2.3.4 Вторая волна. Задачи 10–11 класса | 127 |
| 2.3.5 Третья волна. Задачи 8–9 класса | 132 |
| 2.3.6 Третья волна. Задачи 10–11 класса | 137 |
| 2.3.7 Четвертая волна. Задачи 8–9 класса | 141 |
| 2.3.8 Четвертая волна. Задачи 10–11 класса | 147 |
| 2.4 Инженерный тур | 152 |
| 3 Второй отборочный этап | 158 |
| 3.1 Работа наставника НТО на этапе | 158 |

| | |
|--|------------|
| 3.2 Инженерный тур | 160 |
| 3.2.1 Командные задачи | 160 |
| 4 Заключительный этап | 168 |
| 4.1 Работа наставника НТО при подготовке к этапу | 168 |
| 4.2 Предметный тур | 170 |
| 4.2.1 Химия. 8–9 классы | 170 |
| 4.2.2 Химия. 10–11 классы | 177 |
| 4.2.3 Физика. 8–9 классы | 188 |
| 4.2.4 Физика. 10–11 классы | 196 |
| 4.3 Инженерный тур | 205 |
| 4.3.1 Общая информация | 205 |
| 4.3.2 Легенда задачи | 205 |
| 4.3.3 Требования к команде и компетенциям участников | 205 |
| 4.3.4 Оборудование и программное обеспечение | 206 |
| 4.3.5 Описание задачи | 207 |
| 4.3.6 Система оценивания | 213 |
| 4.3.7 Решение задачи | 218 |
| 4.3.8 Материалы для подготовки | 219 |
| 5 Критерии определения победителей и призеров | 220 |
| 6 Работа наставника после НТО | 222 |

1. Введение

1.1. Национальная технологическая олимпиада

Всероссийская междисциплинарная олимпиада школьников 8–11 класса «Национальная технологическая олимпиада» (далее — Олимпиада, НТО) проводится в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 10.02.2022 № 211-р при координации Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и при содействии Министерства просвещения Российской Федерации, Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, Ассоциации участников технологических кружков, Агентства стратегических инициатив по продвижению новых проектов, АНО «Россия — страна возможностей», АНО «Платформа Национальной технологической инициативы» и Российского движения детей и молодежи «Движение Первых».

Проектное управление Олимпиадой осуществляет структурное подразделение Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» — Центр Национальной технологической олимпиады. Организационный комитет по подготовке и проведению Национальной технологической олимпиады возглавляют первый заместитель Руководителя Администрации Президента Российской Федерации С. В. Кириенко и заместитель Председателя Правительства Российской Федерации Д. Н. Чернышенко.

Национальная технологическая олимпиада — это командная инженерная Олимпиада, позволяющая школьникам работать в самых передовых инженерных направлениях. Она базируется на опыте Олимпиады Кружкового движения НТИ и проводится с 2015 года, а с 2016 года входит в перечень Российского совета олимпиад школьников и дает победителям и призерам льготы при поступлении в университеты.

Всего заявки на участие в десятом юбилейном сезоне (2024–25 гг.) самых масштабных в России командных инженерных соревнованиях подали более 140 тысяч школьников. Общий охват олимпиады с 2015 года превысил 880 тысяч участников.

НТО способствует формированию профессиональной траектории школьников, увлеченных научно-техническим творчеством и помогает им:

- определить свой интерес в мире современных технологий;
- получить опыт решения комплексных инженерных задач;
- осознанно выбрать вуз для продолжения обучения и поступить в него на льготных условиях.

Кроме того, НТО позволяет каждому участнику познакомиться с перспективными направлениями технологического развития, ведущими экспертами и найти единомышленников.

Ценности НТО

Национальная технологическая олимпиада — командные инженерные соревнования для школьников и студентов. Олимпиада создает уникальное пространство, основанное на общих ценностях и смыслах, которыми делятся все участники процесса: школьники, студенты, организаторы, наставники и эксперты. В основе Олимпиады лежит представление о современном технологическом образовании как новом укладе жизни в быстро меняющемся мире. Эта модель предполагает:

- доступность качественного обучения для всех, кто стремится к знаниям;
- возможность непрерывного развития;
- совместное формирование среды, где гуманитарные знания и новые технологии взаимно усиливают друг друга.

Это — образ общества будущего, в котором участники Олимпиады оказываются уже сегодня.

Решать прикладные задачи, нацеленные на умножение общественного блага

В заданиях Олимпиады используются актуальные вызовы науки и технологий, адаптированные под уровень школьников. Они имеют прикладной характер и отражают реальные потребности общества, а системное и профессиональное решение подобных задач способствует развитию общего блага. Олимпиада предоставляет возможность попробовать себя в этом направлении уже сегодня и найти единомышленников.

Создавать, а не только потреблять

Стремление к созданию нового ценится выше потребления готового, а ориентация на общественную пользу — выше личной выгоды. Это не исключает заботу о собственных интересах, но подчеркивает: творчество приносит больше удовлетворения, чем пассивное потребление. Олимпиада — совместный труд организаторов, партнеров и участников, в котором важнее стремление решать общие задачи, чем критика чужих усилий.

Работать в команде

Командная работа рассматривается не только как эффективный способ достижения целей, но и как основа для формирования сообщества, объединенного общими ценностями. Команда помогает раскрыть индивидуальность каждого, при этом сохраняя уважение к другим. Такие горизонтальные связи необходимы для реализации амбициозных технологических проектов. Олимпиада способствует формированию подобного сообщества и приглашает к его созданию всех заинтересованных.

Осваивать и ответственно развивать новые технологии

Сообщество Национальной технологической олимпиады — часть Кружкового движения НТИ, объединенные интересом к современным технологиям, стремлением

к их пониманию и созданию нового. Возможности технологий постоянно расширяются, однако развитие должно сопровождаться ответственностью. Этика инженера и ученого предполагает осознание последствий своих решений. Главное правило — создавая новое, не навредить.

ИграТЬ честно и пробовАТЬ себя

Ценится честная победа, достигнутая в рамках установленных правил. Это предполагает отказ от списывания, давления и манипуляций. Честная игра означает уважение к себе, команде и соперникам. Олимпиада поддерживается как безопасное пространство, где каждый может пробовать новое, не опасаясь ошибок, и постепенно становиться сильнее и увереннее в себе.

Быть человеком

Соревнования — это сложный и эмоционально насыщенный процесс, в котором особенно важны порядочность, вежливость и чуткость. Эмпатия, уважение и забота делают участие полезным и комфортным. Высоко ценится бережное отношение к людям и их труду, отказ от токсичной критики и готовность нести ответственность за слова и поступки. Участие в общем деле помогает не только окружающим, но и самому человеку.

Организационная структура НТО

НТО — межпредметная олимпиада. Спектр соревновательных направлений (профилей НТО) сформирован на основе актуального технологического пакета и связан с решением современных проблем в различных технологических отраслях. С полным перечнем направлений (профилей) можно ознакомиться на сайте НТО: <https://ntcontest.ru/tracks/nto-school/>.

Соревнования в рамках НТО проводятся по четырем трекам:

1. НТО Junior для школьников (5–7 классы).
2. НТО школьников (8–11 классы).
3. НТО студентов.
4. Конкурс цифровых портфолио «Талант НТО».

В 2024/25 учебном году 21 профиль НТО включен в Перечень олимпиад школьников, ежегодно утверждаемый Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, а также в Перечень олимпиад и иных интеллектуальных и (или) творческих конкурсов, утверждаемый приказом Министерства просвещения Российской Федерации. Это дает право победителям и призерам профилей НТО поступать в вузы страны без вступительных испытаний (БВИ), получить 100 баллов ЕГЭ или дополнительные 10 баллов за индивидуальные достижения. Преимущества при поступлении победителям и призерам НТО предлагаются более 100 российских вузов.

НТО для школьников 8–11 классов проводится в три этапа:

- Первый отборочный этап — заочный индивидуальный. Участникам предлагаются предметный тур, состоящий из задач по двум предметам, связанным

с выбранным профилем, а также инженерный тур, задания которого погружают участников в тематику профиля; образовательный модуль формирует теоретические знания и представления.

- Второй отборочный этап — заочный командный. На этом этапе участники выполняют как индивидуальные задания на проверку компетенций, так и командные задачи, соответствующие выбранному профилю.
- Заключительный этап — очный командный. В течение 5–6 дней команды участников со всей страны, успешно прошедшие оба отборочных этапа, соревнуются в решении комплексных прикладных инженерных задач.

Профили НТО 2024/25 учебного года и соответствующий уровень РСОШ

Профили II уровня РСОШ:

- Автоматизация бизнес-процессов.
- Автономные транспортные системы.
- Беспилотные авиационные системы.
- Водные робототехнические системы.
- Инженерные биологические системы.
- Наносистемы и наноинженерия.
- Нейротехнологии и когнитивные науки.
- Технологии беспроводной связи.
- Цифровые технологии в архитектуре.
- Ядерные технологии.

Профили III уровня РСОШ:

- Анализ космических снимков и геопространственных данных.
- Аэрокосмические системы.
- Большие данные и машинное обучение.
- Геномное редактирование.
- Интеллектуальные робототехнические системы.
- Интеллектуальные энергетические системы.
- Информационная безопасность.
- Искусственный интеллект.
- Летающая робототехника.
- Спутниковые системы.
- Кластер «Виртуальные миры»:
 - ◊ Разработка компьютерных игр.
 - ◊ Технологии виртуальной реальности.
 - ◊ Технологии дополненной реальности.

Профили без уровня РСОШ:

- Инфохимия.
- Квантовый инжиниринг.
- Новые материалы.
- Программная инженерия в финансовых технологиях.

- Современная пищевая инженерия.
- Умный город.
- Урбанистика.
- Цифровые сенсорные системы.
- Разработка мобильных приложений.

Обратите внимание на то, что в олимпиаде 2025/26 учебного года список профилей, в т. ч. входящих в РСОШ, и уровни РСОШ могут поменяться.

Участие в НТО старшеклассников может принять любой школьник, обучающийся в 8–11 классе. Чаще всего Олимпиада привлекает:

- учащихся технологических кружков, интересующихся инженерными и роботехническими соревнованиями;
- школьников, увлеченных олимпиадами и предпочитающих межпредметный подход;
- энтузиастов передовых технологий;
- активных участников хакатонов, проектных конкурсов и профильных школ;
- будущих предпринимателей, ищущих команду для реализации стартап-идей;
- любознательных школьников, стремящихся выйти за рамки школьной программы.

Познакомить школьников с НТО и ее направлениями, а также мотивировать их на участие в Олимпиаде можно с помощью специальных мероприятий — Урока НТО и Дней НТО. Методические рекомендации для педагогов по проведению Урока НТО и организации Дня НТО в образовательной организации размещены на сайте: <https://nti-lesson.ru>. Здесь можно подобрать и скачать готовые сценарии занятий и подборки материалов по различным направлениям Олимпиады.

Участвуя в НТО, школьники получают возможность работать с практико-ориентированными задачами в области прорывных технологий, собирать команды единомышленников, погружаться в профессиональное сообщество, а также заработать льготы для поступления в вузы.

По всей стране работают площадки подготовки к НТО, которые помогают привлекать участников и проводят мероприятия по подготовке к этапам Олимпиады. Такие площадки могут быть открыты на базе:

- школ и учреждений дополнительного образования;
- частных кружков по программированию, робототехнике и другим технологическим направлениям;
- вузов;
- технопарков и других образовательных и научно-технических организаций.

Любое образовательное учреждение, ученики которого участвуют в НТО или НТО Junior, может стать площадкой подготовки к Олимпиаде и присоединиться к Кружковому движению НТИ. Подробные инструкции о том, как стать площадкой подготовки, размещены на сайте: <https://ntcontest.ru>. Условия регистрации и требования к ним актуализируются с развитием Олимпиады, а обновленная информация публикуется перед началом каждого нового цикла.

Наставники НТО

В Национальной технологической олимпиаде большое внимание уделяется работе с **наставниками** — людьми, сопровождающими участников на всех этапах подготовки и участия в Олимпиаде. Наставник оказывает поддержку как в решении организационных вопросов, так и в развитии технических и социальных навыков школьников, включая умение работать в команде.

Наставником НТО может стать любой взрослый, готовый помогать школьникам развиваться и готовиться к участию в инженерных соревнованиях. Это может быть:

- учитель школы или преподаватель вуза;
- педагог дополнительного образования;
- руководитель кружка;
- родитель школьника;
- специалист из технологической области или представитель бизнеса.

Даже если наставник сам не обладает достаточными знаниями в определенной области, он может привлекать к подготовке коллег и экспертов, а также оказывать поддержку и организовывать процесс обучения для самостоятельных учеников. Сегодня сообщество наставников НТО насчитывает более **7 000 человек** по всей стране.

Главная цель наставника — **организовать системную подготовку к Олимпиаде в течение всего учебного года**, поддерживать интерес и мотивацию участников, а также помочь им справляться с возникающими трудностями. Также наставник фиксирует цели команды и каждого участника, чтобы в дальнейшем можно было проанализировать развитие профессиональных и личных компетенций.

Основные направления работы наставника

Организационные задачи:

- Информирование и мотивация: наставник рассказывает учащимся об НТО, ее этапах и преимуществах, помогает с выбором подходящего профиля, ориентируясь на интересы и способности школьников.
- Составление программы подготовки: формируется расписание и план занятий, организуется работа по освоению необходимых знаний и навыков.
- Контроль сроков: наставник следит за календарем Олимпиады и напоминает участникам о сроках решения заданий отборочных этапов.

Содержательная подготовка:

- Оценка компетенций участников: наставник помогает определить сильные и слабые стороны учеников и подбирает задания и материалы для устранения пробелов.
- Подготовка к отборочным этапам: помочь в изучении рекомендованных материалов, заданий прошлых лет, онлайн-курсы по профилям.
- Подготовка к заключительному этапу: разбираются задачи заключительных этапов прошлых лет, отслеживаются подготовительные мероприятия (очные и дистанционные), в которых наставник рекомендует ученикам участвовать.

Развитие личных и командных навыков:

- Формирование команд: наставник помогает сформировать сбалансированные команды для второго отборочного и финального этапов, распределить роли, при необходимости ищет участников из других регионов и организует онлайн-коммуникацию.
- Анализ прогресса и опыта: после каждого этапа проводится совместная рефлексия, обсуждаются успехи и трудности, выявляются зоны роста и направления для дальнейшего развития.
- Поддержка и мотивация: наставник поддерживает интерес и энтузиазм участников (особенно в случае неудачных результатов), помогает справиться с разочарованием и сохранить настрой на дальнейшее участие.
- Построение индивидуальной образовательной траектории: наставник помогает школьникам осознанно планировать дальнейшее обучение: выбирать курсы, участвовать в конкурсах, определяться с вузами и направлениями подготовки.

Поддержка наставников НТО

Работе наставников посвящен отдельный раздел на сайте НТО: <https://ntcontest.ru/mentors/>.

Для систематизации знаний и подходов к работе наставников в рамках инженерных соревнований разработан курс «Дао начинающего наставника: как сопровождать инженерные команды»: <https://stepik.org/course/124633/>. Курс формирует общие представления об их работе в области подготовки участников к инженерным соревнованиям.

Для совершенствования профессиональных компетенций по направлениям профилей создан курс «Дао начинающего наставника: как развивать технологические компетенции»: <https://stepik.org/course/186928/>.

Для организации занятий с учениками педагогам предлагаются образовательные программы, разработанные на основе многолетнего опыта организации подготовки к НТО. В настоящий момент они представлены по передовым технологическим направлениям:

- компьютерное зрение;
- геномное редактирование;
- водная, летающая и интеллектуальная робототехника;
- машинное обучение и искусственный интеллект;
- нейротехнологии;
- беспроводная связь, дополненная реальность.

Программы доступны на сайте: <https://ntcontest.ru/mentors/education-programs/>.

Регистрируясь на платформе НТО, наставники получают доступ к личному кабинету, в котором отображается расписание отборочных соревнований и мероприятий по подготовке, требования к знаниям и компетенциям при решении задач отборочных этапов.

Сообщество наставников НТО существует и развивается. Ежегодно Кружко-

вое движение НТИ проводит Всероссийский конкурс технологических кружков: <https://konkurs.kruzhok.org/>. Принять участие в конкурсе может каждый наставник.

В 2022 году было выпущено пособие «Технологическая подготовка инженерных команд. Методические рекомендации для наставников». Методические рекомендации предназначены для учителей технологий, а также наставников и педагогов кружков и центров дополнительного образования. Рекомендации направлены на помочь в процессе преподавания технологий в школе или в кружке. Пособие построено на примерах из реального опыта работы со школьниками, состоит из теоретических положений, посвященных популярным взглядам в педагогике на тему подготовки инженерных команд к соревнованиям. Электронное издание доступно по ссылке: <https://journal.kruzhok.org/tpost/pggs3bp7y1-tehnologicheskaya-podgotovka-inzhenernih>.

В нем рассмотрены особенности подготовки к пяти направлениям:

- Большие данные.
- Машинное обучение.
- Искусственный интеллект.
- Спутниковые системы.
- Летающая робототехника.

Для наставников НТО разработана и постоянно пополняется страница с материалами для профессионального развития: <https://nto-forever.notion.site/c9b9cbd21542479b97a3fa562d15e32a>.

1.2. Наносистемы и наноинженерия

Профиль Наносистемы и наноинженерия соответствует сквозным технологиям НТИ: технологии моделирования и разработки новых функциональных материалов с заданными свойствами. Его основная тематика — современные наноматериалы и их практическое применение.

Профиль построен на взаимосвязи физики и химии в условиях современного научного мира. Для решения задач профиля требуются:

- глубокое понимание школьных предметов;
- умение работать в команде;
- стремление разрабатывать собственные технологические решения и новые материалы своими руками.

В рамках профиля проводятся вебинары и разборы заданий, которые доступны всем участникам. Кроме того, для самостоятельного изучения и углубления знаний им предоставляется подборка полезных материалов из открытых источников.

Профиль Наносистемы и наноинженерия состоит из двух отборочных этапов и заключительного этапа.

Задачи отборочных этапов профиля разработаны таким образом, чтобы не только выявить участников, готовых к выполнению финального задания, но и обеспечить им необходимую подготовку к заключительному этапу. Финальная задача традиционно предполагает достаточный объем самостоятельной практической работы в лаборатории.

На первом отборочном этапе участникам предлагаются задачи продвинутого школьного уровня по физике и химии. Это позволяет выявить школьников, готовых к дальнейшей работе, а также оценить уровень подготовки и адаптировать под него задания второго отборочного тура.

Образовательный блок инженерного тура на первом этапе погружает участников в тематику финальной задачи:

- получение нанокатализаторов из комплексных соединений: знакомство с понятием и классификацией катализаторов и нанокатализаторов, а также комплексными соединениями (участники учатся проводить расчеты для синтеза комплексных соединений, опираясь на школьные знания);
- основы химического катализа: изучение области применения нанокатализаторов, формирование представления о том, как проводится химический синтез с использованием нанокатализаторов;
- основы химической технологии и понятие материального баланса: приобретение знаний о химической технологии, принципах и критериях успешно разработанной технологии; проведение базовых расчетов материального баланса.

Инженерный тур первого этапа позволяет проверить уровень усвоения материала по тематике финальной задачи, а также оценить общую подготовку.

На втором отборочном этапе участники работают в командах, решая задания, приближенные по формату и тематике к заключительному этапу. Задания включают

выбор ответа и краткий числовой ответ с учетом допустимой погрешности округления. Основное внимание уделяется созданию нанокатализаторов и их применению в химико-технологических процессах.

Участники погружаются в тематику получения нанопорошков катализаторов из комплексных соединений, применяемых в технологиях органического синтеза:

- изучают методы анализа комплексных соединений физико-химические характеристики наночастиц;
- осваивают особенности проведения катализических процессов и контроль синтеза целевых продуктов;
- приобретают навыки выполнения расчетов материального баланса реакций.

Задачи этого этапа выходят за рамки стандартной школьной программы. Чтобы справиться с ними, участники получают методические материалы, включающие дополнительную информацию или ссылки на открытые источники. Это позволяет познакомить школьников с реальными проблемами, находящимися на стыке нанотехнологий, производственных процессов, физики и химической технологии, а также сформировать представление о процессе инженерной разработки.

Для решения требуется уверенное владение материалом школьной программы по химии и физике. При этом задания представляют собой формат, непривычный для классического школьного курса, что развивает у участников гибкость мышления и способность применять знания в нестандартных ситуациях. Методические материалы, сопровождающие задачи, не только помогают успешно преодолеть текущий этап, но и подготовиться к содержанию и логике финального задания.

Задачи второго отборочного этапа сочетают в себе творческий подход к поиску решений и развитие практических навыков выполнения расчетов. Творческая составляющая позволяет глубоко погружаться в тематику задания: для проверки собственных гипотез школьники активно работают с методическими материалами и изучают рекомендованную дополнительную литературу. Такой формат способствует развитию самостоятельного научного мышления и навыков анализа.

Одновременно задания формируют устойчивые навыки выполнения расчетных задач, что является необходимым элементом инженерной подготовки и важной основой для успешного выполнения командной задачи на заключительном этапе Олимпиады.

Заключительный этап профиля включает в себя два блока задач:

- индивидуальные теоретические (решение олимпиадных задач по химии и физике);
- командные инженерные (созданиеnanoструктурированных катализаторов и апробация на модельной реакции, оценка их эффективности по нескольким параметрам).

На основе предоставленных теоретических материалов участники подбирают оптимальные условия получения нанокатализаторов из комплексных соединений, а затем проверяют эффективность полученных катализаторов по некоторым параметрам. При этом они самостоятельно разрабатывают один или несколько путей их получения.

Задача является нелинейной, для ее решения существует несколько вариантов, при этом участникам не дается готовая инструкция с нужными параметрами полу-

чения комплексов и катализаторов на их основе и последовательностью выполнения работ. Принять решение о методах и параметрах для синтеза они должны исключительно на основе собственного понимания наноинженерии таких систем, основанном на материалах подготовки (в том числе задачах второго этапа, инженерного тура отборочного этапа, дополнительных теоретических материалах перед заключительным этапом).

Типовые примеры всех расчетов, с которыми сталкиваются участники, решая командную практическую задачу, разобраны в рамках второго отборочного этапа и вебинаров. Все необходимые теоретические материалы представлены в методических пособиях к ним, а также в виде дополнительного теоретического блока, приложенного к материалам задачи заключительного этапа.

Финальная задача сформирована на основе разработок Института тонких химических технологий имени М. В. Ломоносова РТУ МИРЭА, поэтому школьники получают возможность познакомиться с актуальными технологиями и современными научными исследованиями, которые они смогут углубленно изучать в дальнейшем в рамках высшего образования.

Профиль Наносистемы и наноинженерия знакомит участников с такими специальностями как материаловедение, инженерия наноматериалов, химическая технология и пр.

Первые выпускники профиля — школьники, принимавшие участие в Олимпиаде на протяжении нескольких лет и завершившие обучение в школе, — уже выбрали для себя профессиональный путь в сфере нанотехнологий и химии. Многие из них поступили на профильные направления в ведущие вузы, продолжив развитие в области, с которой начали знакомство в рамках участия в НТО.

2. Первый отборочный этап

2.1. Работа наставника НТО на этапе

Педагог-наставник играет важную роль в подготовке участника к первому отборочному этапу Национальной технологической олимпиады. На этом этапе школьникам предстоит справиться как с предметными задачами, соответствующими профилю, так и с заданиями инженерного тура, погружающими в выбранную технологическую область.

Наставник может организовать подготовку участника, используя разнообразные форматы и ресурсы:

- Разбор заданий прошлых лет. Совместный анализ задач отборочного этапа предыдущих лет позволяет понять структуру, уровень сложности и типичные подходы к решению. Это формирует у школьника устойчивые стратегии работы с олимпиадными заданиями.
- Мини-соревнования. Проведение тренировочных турниров с заданиями предметных олимпиад муниципального уровня помогает развить соревновательный навык, тренирует скорость и уверенность при решении задач в ограниченное время.
- Углубленные занятия. Наставник может выстроить образовательную траекторию, опираясь на рекомендации разработчиков профиля, и провести занятия по ключевым темам. Это особенно важно для системного понимания предметной области.
- Использование онлайн-курсов. Для самостоятельной подготовки и проверки знаний участник может использовать предметные курсы НТО, размещенные на платформах Степик и Яндекс Конкурс. Наставник может также организовать занятия с использованием этих материалов в рамках групповой или индивидуальной подготовки.
- Привлечение внешних экспертов. Если у наставника нет достаточной экспертизы в какой-либо предметной области, он может пригласить других педагогов или специалистов для проведения тематических занятий.
- Поддержка в инженерном туре. Инженерный тур включает теоретические материалы и задания, помогающие глубже погрузиться в тематику профиля. Наставник может сопровождать изучение курса, помогать в разборе теоретических вопросов и тренировать участника на практических задачах.

Таким образом, наставник не только помогает систематизировать подготовку, но и мотивирует участника, создавая для него комфортную и продуктивную образовательную среду.

2.2. Предметный тур. Химия

2.2.1. Первая волна. Задачи 8–9 класса

Задачи первой волны предметного тура по химии за 8–9 класс открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Конкурс: <https://contest.yandex.ru/contest/63467/enter/>.

Задача 2.2.1.1. Что в имени тебе моем? (10 баллов)

Темы: неорганическая химия, номенклатура неорганических веществ.

Условие

У каждого вещества — неорганического или органического — должно быть свое название. Иначе ни химики, ни обычные люди не будут понимать друг друга. Для этого и существует номенклатура веществ (на латыни *nomenclatura* — называние имен). Многие вещества имеют исторически сложившиеся «собственные имена», которые известны как тривиальные названия. Они не вытекают из каких-либо единых систематических принципов, не выражают строения соединения и чрезвычайно разнообразны. В настоящее время используется систематическая международная номенклатура ИЮПАК (IUPAC) — Международный союз теоретической и прикладной химии (International Union of Pure and Applied Chemistry), позволяющая дать веществу однозначное название и отражающая его принадлежность к определенному классу веществ, то есть строение.

Соотнесите тривиальные названия веществ с их систематическими названиями.

В ответе укажите сочетание буквы тривиального названия с соответствующей цифрой систематического названия через тире; между сочетаниями для различных веществ поставьте запятую. Например: А — 1, В — 2, С — 3 и т. д.

Тривиальное название вещества: Систематическое название:

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| A. Негашеная известь. | 1. Гидроксид натрия. |
| B. Веселящий газ. | 2. Гидроксид кальция. |
| C. Бурый газ, лисий хвост. | 3. Карбонат кальция. |
| D. Поташ. | 4. Гидрокарбонат натрия. |
| E. Пищевая сода. | 5. Карбонат калия. |
| F. Гашеная известь. | 6. Нитрат натрия. |
| G. Едкий натр. | 7. Нитрат калия. |
| H. Индийская селитра. | 8. Оксид кальция. |
| I. Чилийская селитра. | 9. Оксид азота (I). |
| J. Известняк. | 10. Оксид азота (IV). |

Ответ: А — 8, В — 9, С — 10, Д — 5, Е — 4, F — 2, G — 1, H — 7, I — 6, J — 3.

Задача 2.2.1.2. Сплавы в современном мире (30 баллов)

Темы: неорганическая химия, массовая доля вещества в смеси, расчет по уравнению реакции.

Условие

В современном мире технологии и инженерии сплавы металлов играют важнейшую роль. Эти материалы сочетают свойства различных металлов, создавая уникальные характеристики, которые невозможно достичь с помощью чистых веществ. Сплавы — это не просто комбинации элементов, а инновационные решения для множества проблем, стоящих перед инженерами и учеными. Использование сплавов дает возможность создавать материалы с уникальным набором физико-химических характеристик, чтобы оптимизировать производственные процессы и повысить эффективность изделий. Это причина того, почему они так широко распространены в самых разнообразных областях: от строительства до высоких технологий.

Силумин (сплав на основе алюминия и кремния) представляет собой важный материал, сочетающий в себе прочность, устойчивость и легкость, что обеспечивает его широкое применение в различных областях промышленности и дизайна. Благодаря прочности, низкому весу, коррозионной стойкости силумин используется в автомобилестроении, авиастроении, кораблестроении, в космической промышленности.



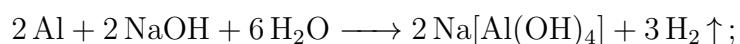
Для анализа образца силумина, содержащего алюминий и кремний, массой 30 г его растворили в 400 г 15%-го раствора едкого натра, при этом выделился газ объемом 38,4 л (н. у.).

Задание 1. (10 баллов)

Определите массовую долю алюминия в сплаве (в процентах). Число округлите до целых.

Решение

Составим уравнения реакций:





$$n(\text{H}_2) = \frac{38,4 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 1,714 \text{ моль.}$$

Если $n(\text{Al}) = x$ моль, $n(\text{Si}) = y$ моль, тогда:

$$\begin{cases} 27x + 28y = 30, \\ 1,5x + 2y = 1,714. \end{cases}$$

$x = 1$ моль, $y = 0,107$ моль.

$$m(\text{Al}) = n \cdot M = 1 \cdot 27 = 27 \text{ г};$$

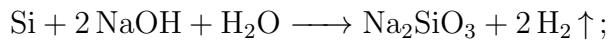
$$\omega(\text{Al}) = \frac{27}{30} = 0,9 \text{ или } 90\%.$$

Ответ: 90.

Задание 2. (10 баллов) Определите массовую долю кремния в сплаве (в процентах). Число округлите до целых.

Решение

Составим уравнения реакций:



$$n(\text{H}_2) = \frac{38,4 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 1,714 \text{ моль.}$$

Если $n(\text{Al}) = x$ моль, $n(\text{Si}) = y$ моль, тогда:

$$\begin{cases} 27x + 28y = 30, \\ 1,5x + 2y = 1,714. \end{cases}$$

$x = 1$ моль, $y = 0,107$ моль.

$$m(\text{Si}) = n \cdot M = 0,107 \cdot 28 = 2,996 \approx 3 \text{ г};$$

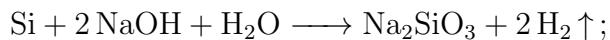
$$\omega(\text{Si}) = \frac{3}{30} = 0,1 \text{ или } 10\%.$$

Ответ: 10.

Задание 3. (10 баллов) Определите массовую долю гидроксида натрия в полученном растворе (в процентах). Число округлите до десятых.

Решение

Составим уравнения реакций:



$$n(\text{H}_2) = \frac{38,4 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 1,714 \text{ моль.}$$

Если $n(\text{Al}) = x$ моль, $n(\text{Si}) = y$ моль, тогда:

$$\begin{cases} 27x + 28y = 30, \\ 1,5x + 2y = 1,714. \end{cases}$$

$x = 1$ моль, $y = 0,107$ моль.

$$m(\text{NaOH})_{\text{в исх. растворе}} = 400 \cdot 0,15 = 60 \text{ г};$$

$$m(\text{NaOH})_{\text{прореагир.}} = (1 + 0,107 \cdot 2) \cdot 40 = 48,56 \text{ г};$$

$$m(\text{NaOH})_{\text{оставшегося}} = 60 - 48,56 = 11,44 \text{ г};$$

$$\omega(\text{NaOH}) = \frac{11,44 \cdot 100}{400 + 30 - 1,714 \cdot 2} = 2,7\%.$$

Ответ: 2,7.

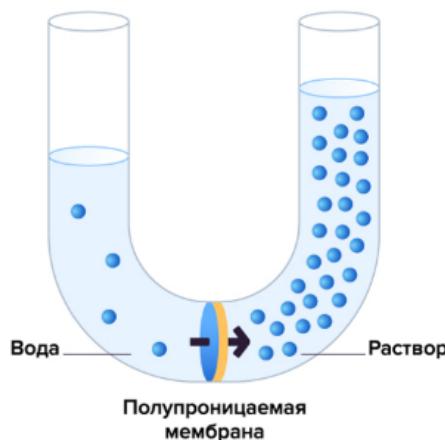
Задача 2.2.1.3. Оsmос в биологических системах (25 баллов)

Темы: концентрации, растворы, осмос.

Условие

Рассмотрим такую систему: мембрана, по разные стороны от которой расположены растворы с разным содержанием растворенного вещества. Поры полупроницаемой мембраны пропускают молекулы растворителя, но не молекулы растворенного вещества. Из-за того, что концентрации растворов различны, растворитель (например, вода) начнет диффундировать (перетекать) из более разбавленного раствора в более концентрированный и разбавлять его до тех пор, пока концентрация не станет равной по обе стороны мембраны. Это явление называют осмосом.

Мембранны всех живых клеток используют осмос для контроля поглощения необходимых веществ, поэтому он играет очень важную роль в медицине, биотехнологии и агротехнологии, особенно в гидропонике. Но осмос значим и в быту: с древности с его помощью консервировали пищу — в соленой среде вода вытекает из клеток, что приводит к сморщиванию (весь материал внутри клетки отслаивается от клеточной стенки) и потере жизнедеятельности микроорганизмов (этот процесс называют плазмолизом).



Задание 1. (7 баллов) Рассчитайте массу поваренной соли, необходимую для приготовления 1,5 л рассола для засаливания огурцов (плотность $\rho = 1055 \text{ г/л}$), массовая доля соли в котором составляет 7,5%. Ответ запишите в граммах с точностью до десятых.

Решение

Рассчитаем массу раствора

$$m_{\text{р-ра}} = \rho V = 1055 \cdot 1,5 = 1582,5 \text{ г.}$$

Масса соли составляет:

$$m(\text{NaCl}) = m_{\text{р-ра}} \omega(\text{NaCl}) = 1582,5 \cdot 0,075 = 118,7 \text{ г.}$$

Ответ: 118,7. Диапазон 118–119.

Задание 2. (9 баллов) Осмотическим давлением называют величину избыточного давления на раствор, отделенный от чистого растворителя полупроницаемой мембраной, при котором прекращается осмос, то есть диффузия растворителя через мембрану. Голландский химик Якоб Хендрик Вант-Гофф установил, что для разбавленных растворов осмотическое давление прямо пропорционально молярной концентрации частиц (молекул, ионов) растворенного вещества: $\pi = CRT$, где π — осмотическое давление, кПа; C — молярная концентрация частиц (молекул, ионов) растворенного вещества, моль/л; R — универсальная газовая постоянная, 8,314 Дж/(моль·К); T — температура, К. Это открытие было отмечено первой Нобелевской премией по химии.

При внутривенном введении используют изотонические растворы — растворы, осмотическое давление которых соответствует давлению плазмы крови — в такой среде вода не поступает в клетку и не выводится из клетки, что предотвращает от повреждения эритроциты. Изотонический 5%-й раствор глюкозы применяют для улучшения антитоксической функции печени, восполнения водного и энергетического дефицита, для разведения и растворения лекарственных препаратов.



Рассчитайте величину осмотического давления 5%-го водного раствора глюкозы ($C_6H_{12}O_6$) при температуре $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ (плотность $\rho = 1\,018\text{ г/л}$). Ответ приведите в килопаскалях (кПа) с точностью до целых.

Решение

Рассчитаем массу 1 л раствора $m_{\text{p-pa}} = \rho V = 1\,018 \cdot 1,0 = 1\,018\text{ г}$.

Масса глюкозы составляет

$$m(C_6H_{12}O_6) = m_{\text{p-pa}}\omega(C_6H_{12}O_6) = 1\,018 \cdot 0,05 = 50,9\text{ г.}$$

Количество вещества глюкозы

$$n(C_6H_{12}O_6) = \frac{m(C_6H_{12}O_6)}{M(C_6H_{12}O_6)} = \frac{50,9}{6 \cdot 12 + 12 + 6 \cdot 16} = 0,283\text{ моль,}$$

соответственно, молярная концентрация раствора

$$C(C_6H_{12}O_6) = \frac{n(C_6H_{12}O_6)}{V} = \frac{0,283}{1} = 0,283\text{ моль/л.}$$

Осмотическое давление

$$\pi = CRT = 0,283 \cdot 8,314 \cdot (273 + 37) = 729,4\text{ кПа.}$$

Ответ: 729. Диапазон 710–750.

Задание 3. (9 баллов) Водные растворы полимера гидроксиэтилкрахмала вводят внутривенно для предотвращения шока при значительной кровопотере, например, в случае травмы, поскольку это способствует нормализации и улучшению гемодинамических показателей, уменьшает вязкость плазмы, снижает агрегацию тромбоцитов и эритроцитов. Осмотическое давление раствора полимера мало, поэтому в состав также включают неорганические соли, чтобы сделать раствор препарата изотоничным крови.

Установите молярную массу гидроксиэтилкрахмала в граммах на моль (г/моль) с точностью до целых, если осмотическое давление раствора, содержащего 15,0 г полимера в 250 мл раствора, составляет 1,022 кПа при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Решение

Молярная концентрация раствора полимера

$$C = \frac{\pi}{RT} = \frac{1,022}{8,314 \cdot (273 + 20)} = 0,42 \text{ ммоль/л,}$$

т. е. количество вещества полимера

$$n = CV = 0,42 \cdot 0,25 = 0,105 \text{ ммоль.}$$

$$\text{Тогда молярная масса } M = \frac{m}{n} = \frac{15}{0,105} \cdot 1000 = 142\,857 \text{ г/моль.}$$

Ответ: 142 857. Диапазон 140 000–147 000.

Задача 2.2.1.4. Е338: производство и применение (25 баллов)

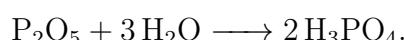
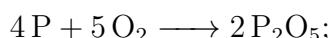
Темы: количество вещества, термохимия, электролитическая диссоциация.

Условие

Ортофосфорная кислота используется в самых разных областях — в производстве удобрений и чистящих средств, для деревообработки и очистки металла от ржавчины, в стоматологии для реставрации зубов и в ювелирном деле при пайке. Также она зарегистрирована в качестве пищевой добавки Е338, которую можно встретить в составе мармеладов, сиропов и напитков, хлебобулочных изделий, сыров и плавленых сырков.

Пищевую фосфорную кислоту производят термическим способом, позволяющим получить концентрированный продукт с меньшим содержанием примесей — для этого расплавленный белый фосфор сжигают в воздухе и подвергают образующийся оксид фосфора (V) гидратации.

Этот процесс упрощенно можно описать следующими реакциями:



Задание 1. (7 баллов) Рассчитайте объем воздуха, который необходимо подавать в башню (камеру сжигания) в 1 ч для сжигания фосфора, содержащего 0,5% негорючих примесей (расход фосфора 3 000 кг/ч). Ответ приведите в кубических метрах при нормальных условиях с точностью до целых. Учтите, что для предотвращения образования оксида фосфора (III) в башню подают двухкратный избыток воздуха по сравнению с расчетным количеством.

Решение

В расчете на 1 ч количество вещества фосфора составляет

$$n(\text{P}) = \frac{m}{M} = \frac{3\,000 \cdot 0,995}{31} = 96,29 \text{ кмоль,}$$

тогда

$$n_{\text{теор}}(\text{O}_2) = \frac{5}{4}n(\text{P}) = 120,36 \text{ кмоль},$$

$$n_{\text{практ}}(\text{O}_2) = 2n_{\text{теор}}(\text{O}_2) = 2 \cdot 120,36 = 240,72 \text{ кмоль}.$$

Объем кислорода:

$$V(\text{O}_2) = n_{\text{практ}}(\text{O}_2)V_0 = 240,72 \cdot 1\ 000 \cdot 22,4 = 5\ 392\ 128 \text{ л},$$

объем воздуха

$$V_{\text{возд}} = \frac{V(\text{O}_2)}{\chi(\text{O}_2)} = \frac{5\ 392\ 128}{0,21 \cdot 1\ 000} = 25\ 677 \text{ м}^3.$$

Ответ: 25 677. Диапазон 24 380–26 970.

Задание 2. (6 баллов) Рассчитайте массу 75%-го раствора фосфорной кислоты, образующегося в башне, в килограммах в час (кг/ч) с точностью до целых.

Решение

Количество вещества фосфорной кислоты соответствует количеству фосфора $n(\text{H}_3\text{PO}_4) = n(\text{P}) = 96,29 \text{ кмоль/ч}$, тогда:

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = n(\text{H}_3\text{PO}_4)M = 96,29 \cdot (3 + 31 + 16 \cdot 4) = 9\ 436,42 \text{ кг/ч},$$

$$m_{\text{п-па}}(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{\omega(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{9\ 436,42}{0,75} = 12\ 581 \text{ кг/ч}.$$

Ответ: 12 581. Диапазон 12 577–12 585.

Задание 3. (6 баллов) Использование теплоты, выделяющейся при сгорании фосфора, позволяет значительно увеличить энергоэффективность проведения процесса. Рассчитайте массу угля, содержащего 5% негорючих примесей, которую удастся сэкономить при полном использовании тепла сгорания фосфора. Ответ приведите в килограммах в час (кг/ч) с точностью до целых. Теплота сгорания белого фосфора в указанных условиях составляет 1 764 кДж/моль, углерода 394 кДж/моль.

Решение

Количество теплоты, выделяющейся при сгорании фосфора, составляет

$$Q = Q_P n(P) = 96,29 \cdot 1\ 764 = 169\ 802 \text{ МДж/ч},$$

тогда

$$n(\text{C}) = \frac{Q}{Q_C} = \frac{169\ 802 \cdot 1\ 000}{394} = 430\ 970 \text{ моль/ч},$$

$$m(\text{C}) = n(\text{C})M = 430\ 970 \cdot 12 = 5\ 172 \text{ кг/ч},$$

$$m_{\text{уголь}} = \frac{m(\text{C})}{\omega(\text{C})} = \frac{5\ 172}{0,95} = 5\ 444 \text{ кг/ч}.$$

Ответ: 5 444. Диапазон 5 440–5 448.

Задание 4. (6 баллов) В качестве пищевой добавки ортофосфорная кислота выступает регулятором кислотности и консервантом: кислая среда препятствует размножению микроорганизмов и порче продукта. Именно наличие фосфорной кислоты в составе обуславливает способность газированных напитков растворять ржавчину и очищать бытовые поверхности, о которой снято много интернет-роликов.



Впрочем, имеются сведения о стимулировании фосфорной кислотой вымывания кальция из организма и ее негативном влиянии на зубную эмаль при чрезмерном употреблении.

Рассчитайте концентрацию ионов водорода в 0,01 моль/л растворе фосфорной кислоты, если известно, что степень диссоциации кислоты по первой ступени составляет 57%, а диссоциацией по второй и третьей ступени можно пренебречь. Ответ приведите в миллимоль на литр (ммоль/л) с точностью до десятых.

Решение

Запишем уравнение диссоциации фосфорной кислоты по первой ступени:



Степень диссоциации представляет собой отношение количества вещества, распавшегося на ионы, к общему количеству растворенного вещества:

$$\alpha_I = \frac{n(\text{H}_2\text{PO}_4^-)}{n_0(\text{H}_3\text{PO}_4)}.$$

В расчете на 1 л раствора

$$n_0(\text{H}_3\text{PO}_4) = CV = 0,01 \cdot 1 = 0,01 \text{ моль};$$

$$\begin{aligned} n(\text{H}^+) &= n(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = \alpha_I n_0(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,57 \cdot 0,01 = \\ &= 0,0057 \text{ моль} = 5,7 \text{ ммоль.} \end{aligned}$$

Ответ: 5,7.

Задача 2.2.1.5. Химию, как и любую науку, делают люди (10 баллов)

Тема: химики России.

Условие**Врач, геолог, химик, педагог...**

Этот ученый отличался разносторонностью своих интересов. Поступил на медицинский факультет в Дерптском университете, чтобы иметь возможность изучать химию. В начале своей научной деятельности в Иркутске одновременно с врачебной практикой проводил химические и минералогические исследования — изучал химический состав минеральных вод и минералов, в том числе открытых им в экспедициях по Уралу и Сибири. Его рвение в химии было отмечено, по приглашению Академии наук он возвратился в Петербург, чтобы посвятить свою жизнь именно этой науке. Активно занимался вопросами методики преподавания химии; учебник «Основания чистой химии», выпущенный им, произвел фурор в академическом сообществе и выдержал семь изданий.

Педагогический талант химика был отмечен весьма высоко — ему выпала честь обучать естественным наукам наследника русского престола, будущего императора Александра II.

Мировую известность этому химику принесло открытие закона, который имеет большое значение не только в химии, но и в инженерии для эффективного проектирования и оптимизации всевозможных систем и устройств, так как позволяет рассчитать теплоту химических процессов, не проводя их! Этот закон имеет применение и в медицине, как теоретическая основа определения калорийности продуктов питания.

Назовите этого ученого:

- A. Александр Ерминингельдович Арбузов;
- B. Александр Михайлович Бутлеров;
- C. Федор Федорович Бейльштейн;
- D. Александр Порфириевич Бородин;
- E. Герман Иванович Гесс;
- F. Дмитрий Иванович Менделеев;
- G. Сергей Васильевич Лебедев;
- H. Юрий Анатольевич Овчинников;
- I. Игорь Михайлович Скурихин;
- J. Михаил Семенович Цвет.

Ответ: E.

2.2.2. Первая волна. Задачи 10–11 класса

Задачи первой волны предметного тура по химии за 10–11 класс открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contes>

t.yandex.ru/contest/63484/enter/.

Задача 2.2.2.1. Что в имени тебе моем? (10 баллов)

Темы: неорганическая химия, номенклатура неорганических веществ.

Условие

У каждого вещества — неорганического или органического — должно быть свое название. Иначе ни химики, ни обычные люди не будут понимать друг друга. Для этого и существует номенклатура веществ (на латыни *nomenclatura* — называние имен). Многие вещества имеют исторически сложившиеся «собственные имена», которые известны как тривиальные названия. Они не вытекают из каких-либо единых систематических принципов, не выражают строения соединения и чрезвычайно разнообразны. В настоящее время используется систематическая международная номенклатура ИЮПАК (IUPAC) — Международный союз теоретической и прикладной химии (International Union of Pure and Applied Chemistry), позволяющая дать веществу однозначное название и отражающая его принадлежность к определенному классу веществ, то есть строение.

Соотнесите тривиальные названия биологически значимых природных веществ с их систематическими названиями.

В ответе укажите сочетание буквы тривиального названия с соответствующей цифрой систематического названия через тире; между сочетаниями для различных веществ поставьте запятую. Например: А — 1, В — 2, С — 3 и т. д.

| Тривиальное название вещества: | Систематическое название: |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| A. Молочная кислота | 1. Пентандиовая кислота |
| B. Пировиноградная кислота (ПВК) | 2. Бутандиовая кислота |
| C. Аланин | 3. Гександиовая кислота |
| D. Щавелевая кислота | 4. 2-оксобутандиовая кислота |
| E. Щавелевоуксусная кислота (ЩУК) | 5. Этандиовая кислота |
| F. Янтарная кислота | 6. Бутендиовая кислота |
| G. Глутаровая кислота | 7. 2-аминоэтановая кислота |
| H. Глицин | 8. 2-гидроксипропановая кислота |
| I. Фумаровая кислота | 9. 2-оксопропановая кислота |
| J. Адипиновая кислота | 10. 2-аминопропановая кислота |

Ответ: A — 8, B — 9, C — 10, D — 5, E — 4, F — 2, G — 1, H — 7, I — 6, J — 3.

Задача 2.2.2.2. Сплавы в современном мире (35 баллов)

Темы: неорганическая химия, массовая доля вещества в смеси, расчет по уравнению реакции.

Условие



В современном мире технологии и инженерии сплавы металлов играют важнейшую роль. Эти материалы сочетают свойства различных металлов, создавая уникальные характеристики, которые невозможно достичь с помощью чистых веществ. Сплавы — это не просто комбинации элементов, а инновационные решения для множества проблем, стоящих перед инженерами и учеными. Их использование дает возможность создавать материалы с уникальным набором физико-химических характеристик, что позволяет оптимизировать производственные процессы и повысить эффективность изделий. Это причина того, почему сплавы так широко распространены в самых разнообразных областях: от строительства до высоких технологий.

Авиаль — группа сплавов системы алюминий-магний-кремний. Название образовано от сокращения словосочетания «авиационный алюминий». Они отличаются высокой пластичностью и удовлетворительной коррозионной стойкостью. Из авиалей изготавливают кованые и штампованные детали сложной формы, например, лопасти винтов вертолетов. Также эти сплавы активно используют для замены нержавеющей стали в корпусах мобильных телефонов.

Для анализа сплава группы «Авиаль», содержащего алюминий, кремний и магний, его образец массой 13,776 г растворили в избытке соляной кислоты, при этом выделился газ объемом 16,9 л (н. у.). Нерастворившийся остаток поместили в раствор гидроксида натрия, при этом выделился газ объемом 268,8 мл (н. у.).

Задание 1. (9 баллов) Определите массовую долю кремния в сплаве (в процентах). Число округлите до десятых.

Решение

В соляной кислоте растворяются металлы алюминий и магний. Нерастворившийся остаток — это кремний.

Кремний растворяется в растворе гидроксида натрия:



По уравнению (2.2.1) $n(\text{H}_2) = \frac{0,2688 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,012 \text{ моль.}$

$$n(\text{Si}) = \frac{1}{2}n(\text{H}_2) = \frac{0,012}{2} \text{ моль} = 0,006 \text{ моль;}$$

$$m(\text{Si}) = n \cdot M = 0,006 \cdot 28 = 0,168 \text{ г;}$$

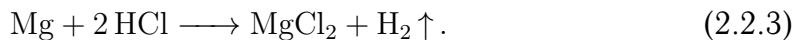
$$\omega(\text{Si}) = \frac{0,168}{13,776} = 0,01219 \text{ или } 1,219 \approx 1,2\%.$$

Ответ: 1,2.

Задание 2. (13 баллов) Определите массовую долю алюминия в сплаве (в процентах). Число округлите до целых.

Решение

В соляной кислоте растворяются металлы алюминий и магний. Нерастворившийся остаток — это кремний:



По уравнению (2.2.1) $n(\text{H}_2) = \frac{0,2688 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,012 \text{ моль.}$

$$n(\text{Si}) = \frac{1}{2}n(\text{H}_2) = \frac{0,012}{2} \text{ моль} = 0,006 \text{ моль;}$$

$$m(\text{Si}) = n \cdot M = 0,006 \cdot 28 = 0,168 \text{ г;}$$

$$\omega(\text{Si}) = \frac{0,168}{13,776} = 0,01219 \text{ или } 1,219 \approx 1,2\%.$$

Таким образом, масса алюминия и магния составляет:

$$13,776 - 0,168 = 13,608 \text{ г.}$$

По уравнениям (2.2.2), (2.2.3)

$$n(\text{H}_2) = \frac{16,9 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,7545 \text{ моль.}$$

Если $n(\text{Al}) = x \text{ моль}$, $n(\text{Mg}) = y \text{ моль}$, тогда:

$$\begin{cases} 27x + 24y = 13,608, \\ 1,5x + y = 0,7545. \end{cases} \quad (2.2.4)$$

$x = 0,5 \text{ моль}$, $y = 0,0045 \text{ моль.}$

$$m(\text{Al}) = n \cdot M = 0,5 \cdot 27 = 13,5 \text{ г;}$$

$$\omega(\text{Al}) = \frac{13,5}{13,776} = 0,9799 \text{ или } 97,99 \approx 98\%.$$

Ответ: 98.

Задание 3. (13 баллов) Определите массовую долю магния в сплаве (в процентах). Число округлите до десятых.

Решение

По уравнению (2.2.3) $n(\text{H}_2) = \frac{0,2688 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,012 \text{ моль.}$

$$n(\text{Si}) = \frac{1}{2}n(\text{H}_2) = \frac{0,012}{2} \text{ моль} = 0,006 \text{ моль;}$$

$$m(\text{Si}) = n \cdot M = 0,006 \cdot 28 = 0,168 \text{ г;}$$

$$\omega(\text{Si}) = \frac{0,168}{13,776} = 0,01219 \text{ или } 1,219 \approx 1,2\%.$$

Таким образом, масса алюминия и магния составляет $13,776 - 0,168 = 13,608 \text{ г.}$

По уравнениям (2.2.1), (2.2.2) $n(\text{H}_2) = \frac{16,9 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,7545 \text{ моль.}$

Если $n(\text{Al}) = x \text{ моль, } n(\text{Mg}) = y \text{ моль, тогда:}$

$$\begin{cases} 27x + 24y = 13,608, \\ 1,5x + y = 0,7545. \end{cases} \quad (2.2.5)$$

$x = 0,5 \text{ моль, } y = 0,0045 \text{ моль.}$

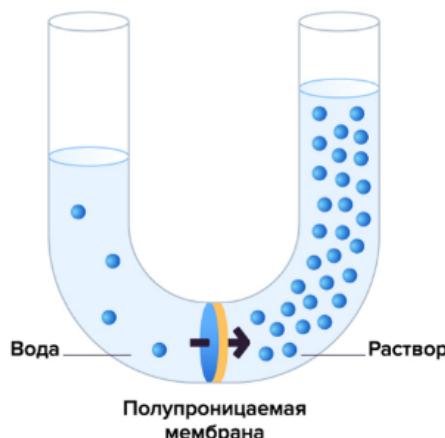
$$m(\text{Mg}) = n \cdot M = 0,0045 \cdot 24 = 0,108 \text{ г;}$$

$$\omega(\text{Mg}) = \frac{0,108}{13,776} = 0,0078 \text{ или } 0,78 \approx 0,8\%.$$

Ответ: 0,8.

Задача 2.2.2.3. Оsmос в биологических системах (20 баллов)

Темы: концентрации, растворы, осмос.

Условие

Рассмотрим такую систему: мембрана, по разные стороны от которой расположены растворы с разным содержанием растворенного вещества. Поры полупроницаемой

мембранны пропускают молекулы растворителя, но не молекулы растворенного вещества. Из-за того, что концентрации растворов различны, растворитель (например, вода) начнет диффундировать (перетекать) из более разбавленного раствора в более концентрированный и разбавлять его до тех пор, пока концентрация не станет равной по обе стороны мембранны. Это явление называют осмосом.

Оsmотическим давлением называют величину избыточного давления на раствор, отделенный от чистого растворителя полупроницаемой мембранны, при котором прекращается осмос, то есть диффузия растворителя через мембранны. Голландский химик Якоб Хендрик Вант-Гофф установил, что для разбавленных растворов осмотическое давление прямо пропорционально молярной концентрации частиц (молекул, ионов) растворенного вещества:

$$\pi = CRT,$$

где π — осмотическое давление, кПа; C — молярная концентрация частиц (молекул, ионов) растворенного вещества, моль/л; R — универсальная газовая постоянная, 8,314 Дж/(моль·К); T — температура, К. Это открытие было отмечено первой Нобелевской премией по химии.

Мембранны всех живых клеток используют осмос для контроля поглощения необходимых веществ, поэтому он играет очень важную роль в медицине, биотехнологии и агротехнологии, особенно в гидропонике. Оsmос помогает растениям расти и всасывать воду корневой системой — поскольку в клеточном соке концентрация солей и сахаров выше, чем в почвенном растворе. Это важно учитывать при внесении удобрений — если осмотическое давление почвенного раствора станет слишком большим, поступление воды в растение прекратится, и оно погибнет (например, как в засоленных почвах).

Задание 1. (6 баллов) Рассчитайте осмотическое давление раствора удобрения (300 г мочевины в 10 л воды) при температуре 25 °С. Ответ приведите в килопаскалях (кПа) с точностью до целых.

Решение

Количество вещества мочевины:

$$n(\text{NH}_2\text{CONH}_2) = \frac{m(\text{NH}_2\text{CONH}_2)}{M} = \frac{300}{16 \cdot 2 + 28} = 5,0 \text{ моль},$$

соответственно молярная концентрация раствора

$$C(\text{NH}_2\text{CONH}_2) = \frac{n(\text{NH}_2\text{CONH}_2)}{V} = \frac{5,0}{10} = 0,5 \text{ моль/л.}$$

Оsmотическое давление $\pi = CRT = 0,5 \cdot 8,314 \cdot (273 + 25) = 1239$ кПа.

Ответ: 1239. Диапазон 1235–1243.

Задание 2. (7 баллов) В медицине в терапевтических целях иногда используют гипертонические растворы — растворы, осмотическое давление которых превышает давление плазмы крови — в такой среде вода выходит через мембранны из клетки, и клетка сжимается. Гипертонический раствор хлорида натрия применяют для снятия отека в офтальмологии, как осмотический диуретик, для коррекции состояния систем организма при операциях и в реанимационных целях.



Рассчитайте массовую долю хлорида натрия в разбавленном растворе, осмотическое давление которого при температуре 37 °C составляет 9 472 кПа (плотность примите $\rho = 1075$ г/л). Ответ приведите в процентах с точностью до десятых.

Решение

Рассчитаем концентрацию частиц в растворе, исходя из величины осмотического давления:

$$C = \frac{\pi}{RT} = \frac{9\,472}{8,314 \cdot (273 + 37)} = 3,68 \text{ моль/л.}$$

Хлорид натрия — электролит, диссоциирующий в растворе на ионы Na^+ и Cl^- . Поскольку точная степень диссоциации в информации не указана, а раствор является разбавленным, ее можно принять равной 100%.

Тогда концентрация хлорида натрия составляет:

$$C(\text{NaCl}) = \frac{C}{2} = \frac{3,68}{2} = 1,84 \text{ моль/л,}$$

а масса соли в 1 л раствора равна

$$m(\text{NaCl}) = n(\text{NaCl}) \cdot M = C(\text{NaCl}) \cdot V \cdot M = 1,84 \cdot 1 \cdot (23 + 35,5) = 107,64 \text{ г.}$$

Массовая доля в растворе

$$\omega = \frac{m\text{NaCl}}{m_{\text{p-pa}}} = \frac{107,64}{1 \cdot 1075} \cdot 100 = 10,0\%.$$

Ответ: 10,0. Диапазон 9,7–10,3.

Задание 3. (7 баллов) Измерение осмотического давления является одним из распространенных методов определения молекулярной массы полимера, влияющей на его свойства. Например, поливинилхлорид с высокой молекулярной массой обладает более высокой твердостью, эластичностью и температурой стеклования, при меньшей растворимости в органических растворителях. Мембранный осмометр основан на измерении разности давлений — например, по разности высот в капиллярах раствора и растворителя, поскольку гидростатическое давление уравновешивает осмотическое.

Установите молекулярную массу поливинилхлорида в килограммах на моль (кг/моль) с точностью до десятых, если разность высот жидкости в осмометре для его раствора в циклогексане, содержащего 2,5 г в 250 мл раствора, составляет 1,97 см при 25 °C. Плотность циклогексана и раствора 779 кг/м³.

Решение

Гидростатическое давление столба жидкости уравновешивает осмотическое давление, для удобства расчета используем единицы измерения системы СИ:

$$\pi = CRT = \rho g \Delta h = 779 \cdot 9,8 \cdot (1,97 \cdot 10^{-2}) = 148 \text{ Па.}$$

Молярная концентрация раствора полимера составляет

$$C = \frac{\pi}{RT} = \frac{148}{8,314 \cdot (273 + 25)} = 0,0598 \text{ моль/м}^3,$$

то есть количество вещества полимера

$$n = CV = 0,0598 \cdot \frac{0,25}{1000} = 0,015 \text{ ммоль.}$$

Тогда молекулярная масса

$$M = \frac{m}{n} = \frac{2,5}{0,015} = 166,7 \text{ кг/моль.}$$

Ответ: 166,7. Диапазон 162,0–172,0.

Задача 2.2.2.4. Е338: производство и применение (25 баллов)

Темы: количество вещества, термохимия, электролитическая диссоциация.

Условие

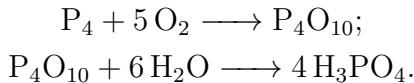
Ортофосфорная кислота используется в самых разных областях — в производстве удобрений и чистящих средств, для деревообработки и очистки металла от ржавчины, в стоматологии для реставрации зубов и в ювелирном деле при пайке. Также она зарегистрирована в качестве пищевой добавки Е338, которую можно встретить в составе мармеладов, сиропов и напитков, хлебобулочных изделий, сыров и плавленых сырков.

Пищевую фосфорную кислоту производят термическим способом, позволяющим получить концентрированный продукт с меньшим содержанием примесей — для этого расплавленный белый фосфор сжигают в воздухе и подвергают образующийся оксид фосфора (V) гидратации.

Задание 1. (8 баллов) Рассчитайте объем воздуха, который необходимо подавать при нормальных условиях в башню (камеру сжигания) в 1 ч для сжигания фосфора, если известно, что расход образующегося в башне 75%-го раствора фосфорной кислоты составляет 3 000 кг/ч. Ответ приведите в кубических метрах. Учтите, что для предотвращения образования оксида фосфора (III) в башню подают двукратный избыток воздуха по сравнению с расчетным количеством.

Решение

Запишем уравнения происходящих реакций:



Масса фосфорной кислоты:

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = m_{\text{p-pa}} \omega_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 3000 \cdot 0,75 = 2250 \text{ кг/ч.}$$

Количество вещества фосфорной кислоты:

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{M} = \frac{2250}{3 + 31 + 16 \cdot 4} = 22,96 \text{ кмоль/ч,}$$

что соответствует расчетному количеству вещества кислорода

$$\begin{aligned} n_{\text{теор}}(\text{O}_2) &= \frac{5}{4} n(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{5}{4} 22,96 = 28,70 \text{ кмоль/ч,} \\ n_{\text{практ}}(\text{O}_2) &= 2n_{\text{теор}}(\text{O}_2) = 2 \cdot 28,70 = 57,40 \text{ кмоль/ч.} \end{aligned}$$

Объем кислорода

$$V(\text{O}_2) = n_{\text{практ}}(\text{O}_2) V_0 = 57,40 \cdot 1000 \cdot 22,4 = 1285714 \text{ л,}$$

объем воздуха

$$V_{\text{возд}} = \frac{V(\text{O}_2)}{\chi(\text{O}_2)} = \frac{1285714}{0,21 \cdot 1000} = 6122 \text{ м}^3.$$

Ответ: 6 122. Диапазон 5 800–6 500.

Задание 2. (8 баллов) Использование теплоты, выделяющейся при сгорании фосфора, позволяет значительно увеличить энергоэффективность проведения процесса. При стандартных условиях рассчитайте теплоту, которая выделяется в ходе проходящих реакций при образовании указанного в задании 1 количества фосфорной кислоты, используя данные таблицы. Ответ выразите в мегаджоулях (МДж) с точностью до целых.

| Вещество | $\text{P}_4\text{O}_{10(\text{тв})}$ | $\text{H}_3\text{PO}_{4(\text{ж})}$ | $\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ |
|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Теплота образования, кДж/моль | 2 984,03 | 1 266,90 | 285,83 |

Решение

В соответствии со следствием из закона Г.И. Гесса теплоту каждой из протекающих реакций можно выразить как разность между суммами теплот образования продуктов и реагентов с учетом стехиометрических коэффициентов:

$$\begin{aligned} \Delta_r Q &= \sum n_i Q_f(\text{прод}) - \sum n_j Q_f(\text{реаг}); \\ \Delta_{r1} Q &= Q_f(\text{P}_4\text{O}_{10(\text{тв})}) - Q_f(\text{P}_4(\text{тв})) - 5Q_f(\text{O}_2(\text{г})); \\ \Delta_{r2} Q &= 4Q_f(\text{H}_3\text{PO}_{4(\text{ж})}) - 6Q_f(\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}) - Q_f(\text{P}_4\text{O}_{10(\text{тв})}). \end{aligned}$$

С учетом того, что теплоты образования простых веществ равны нулю, получим:

$$\Delta_{r1}Q = 2984,03 \text{ кДж/моль},$$

$$\Delta_{r2}Q = 4 \cdot 1266,90 - 6 \cdot 285,83 - 2984,03 = 368,59 \text{ кДж/моль.}$$

В расчете на 4 моль фосфорной кислоты

$$Q_R = \Delta_{r1}Q + \Delta_{r2}Q = 3352,62 \text{ кДж/моль.}$$

Тогда

$$Q = Q_R \cdot \frac{n(\text{H}_3\text{PO}_4)}{4} = 3352,62 \cdot \frac{22,96}{4} = 19243 \text{ МДж.}$$

Ответ: 19243. Диапазон 19200–19280.

Задание 3. (9 баллов) В качестве пищевой добавки ортофосфорная кислота выступает регулятором кислотности и консервантом: кислая среда препятствует размножению микроорганизмов и порче продукта.

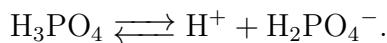
Именно наличие фосфорной кислоты в составе обуславливает способность газированных напитков растворять ржавчину и очищать бытовые поверхности, о которой снято много интернет-роликов. Впрочем, имеются сведения о стимулировании фосфорной кислотой вымывания кальция из организма и ее негативном влиянии на зубную эмаль при чрезмерном употреблении.



Рассчитайте pH с точностью до десятых 0,5 моль/л раствора фосфорной кислоты, если известно, что константа диссоциации кислоты по первой ступени составляет $7,52 \cdot 10^{-3}$, а диссоциацией по второй и третьей ступени можно пренебречь.

Решение

Запишем уравнение диссоциации фосфорной кислоты по первой ступени:



Выражение для константы диссоциации:

$$K_I = \frac{[\text{H}_2\text{PO}_4^-][\text{H}^+]}{[\text{H}_3\text{PO}_4]},$$

где в квадратных скобках указаны равновесные концентрации.

Тогда

$$[\text{H}_2\text{PO}_4^-] = [\text{H}^+], [\text{H}_3\text{PO}_4] = C_0 - [\text{H}^+];$$

$$K_I = \frac{[\text{H}^+]^2}{C_0 - [\text{H}^+]} = 7,52 \cdot 10^{-3}.$$

Решение уравнения при $C_0 = 0,5$ моль/л позволяет найти

$$[\text{H}^+] = 0,058 \text{ моль/л},$$

откуда

$$pH = -\lg([\text{H}^+]) \approx 1,2.$$

Ответ: 1,2.

Задача 2.2.2.5. Химию, как и любую науку, делают люди (10 баллов)

Тема: химики России.

Условие

Врач, геолог, химик, педагог...

Этот ученый отличался разносторонностью своих интересов. Поступил на медицинский факультет в Дерптском университете, чтобы иметь возможность изучать химию. В начале своей научной деятельности в Иркутске одновременно с врачебной практикой проводил химические и минералогические исследования — изучал химический состав минеральных вод и минералов, в том числе открытых им в экспедициях по Уралу и Сибири. Его рвение в химии было отмечено, по приглашению Академии наук он возвратился в Петербург, чтобы посвятить свою жизнь именно этой науке. Активно занимался вопросами методики преподавания химии; учебник «Основания чистой химии», выпущенный им, произвел фурор в академическом сообществе и выдержал семь изданий. Педагогический талант химика был отмечен весьма высоко — ему выпала честь обучать естественным наукам наследника русского престола, будущего императора Александра II.

Мировую известность этому химику принесло открытие закона, который имеет большое значение не только в химии, но и в инженерии для эффективного проектирования и оптимизации всевозможных систем и устройств, так как позволяет рассчитать теплоту химических процессов, не проводя их! Этот закон имеет применение и в медицине, как теоретическая основа определения калорийности продуктов питания.

Назовите этого ученого:

- А. Александр Ерминингельдович Арбузов;
- Б. Александр Михайлович Бутлеров;
- С. Федор Федорович Бейльштейн;
- Д. Александр Порфириевич Бородин;

-
- Е. Герман Иванович Гесс;
 - Ф. Дмитрий Иванович Менделеев;
 - Г. Сергей Васильевич Лебедев;
 - Н. Юрий Анатольевич Овчинников;
 - И. Игорь Михайлович Скурихин;
 - Д. Михаил Семенович Цвет.

Ответ: Е.

2.2.3. Вторая волна. Задачи 8–9 класса

Задачи второй волны предметного тура по химии за 8–9 класс открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Конкурс: <https://contest.yandex.ru/contest/63468/enter/>.

Задача 2.2.3.1. Дождь по заказу (20 баллов)

Темы: неорганическая химия, количество вещества, молярный объем.

Условие

В древности во времена засухи люди использовали любые методы, чтобы вызвать дождь — приносили в жертву животных, пели песни, читали заклинания и проводили обряды. Неудивительно, ведь засуха означала отсутствие урожая и голодную смерть в скором будущем. Но сегодня ученых есть сразу несколько методов для создания искусственного дождя.

Искусственный дождь или «посев облаков» — это целенаправленное производство дождя. Для создания облаков используются химические вещества, которые могут быть сброшены с самолетов или наземных систем рассеивания, таких как генераторы или канистры, выпущенные ракетами или зенитным оружием. Наиболее часто используемые химикаты для создания облаков — это сухой лед (твёрдый диоксид углерода) и йодид серебра. В Дубае регулярно идет искусственный дождь, который запускается при помощи беспилотников. О таком дожде власти предупреждают заранее. В России осадки, вызванные искусственным способом, используют при тушении крупных лесных пожаров.



Задание 1. (5 баллов) Какой объем (в литрах) газообразного CO_2 (н. у.) необходим для получения 22 кг сухого льда? Ответ округлите до целых.

Решение

Определяем количество вещества, а затем объем CO_2 :

$$n(\text{CO}_2) = \frac{m}{M} = \frac{22\ 000}{44} = 500 \text{ моль};$$

$$V(\text{CO}_2) = n \cdot VM = 500 \cdot 22,4 = 11\ 200 \text{ л.}$$

Ответ: 11 200.

Задание 2. (5 баллов) Какой объем (в кубических метрах) займет 22 кг газообразного CO_2 при температуре 28 °С и давлении 750 мм рт. ст? Ответ округлите до десятых.

Решение

Пересчет объема газа при изменении условий (температуры и давления) можно производить по формуле объединенного газового закона Бойля – Мариотта и Гей-Люссака:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0},$$

где p_0 , T_0 , V_0 — давление, температура и объем при нормальных условиях.

$$V(\text{CO}_2) = \frac{760 \cdot 11\ 200 \cdot 301}{750 \cdot 273} = 12\ 513 \text{ л или } 12,5 \text{ м}^3.$$

Ответ: 12,5.

Задание 3. (5 баллов) Какой объем (в литрах) занимает 22 кг сухого льда, если его плотность составляет 1,561 г/см³? Ответ округлите до целых.

Решение

Объем сухого льда, представляющего собой твердое вещество, определяем через его плотность:

$$V(\text{CO}_2)(\text{тв}) = \frac{m}{\rho} = \frac{22\,000}{1,561} = 14\,093 \text{ см}^3 \text{ или } 14 \text{ л.}$$

Ответ: 14.

Задание 4. (5 баллов) Какое количество теплоты поглотится при возгонке 1 кг сухого льда, если тепловой эффект реакции возгонки составляет 25,96 кДж/моль? Ответ выразите килоджоулях (кДж) и округлите до целых.

Решение

Исходя из термохимического уравнения:

$$CO_{2(\text{тв})} = CO_{2(\text{газ})} - 25,96 \text{ кДж,}$$

количество теплоты на один кг составляет:

$$\frac{1\,000 \cdot 25,96}{44} = 590 \text{ кДж.}$$

Ответ: 590.

Задача 2.2.3.2. Питание для растений (25 баллов)

Темы: смеси веществ, массовая доля, количество вещества.

Условие

Аммофос — это комплексное удобрение, источник важнейших веществ для питания растений, в составе которого есть азот с фосфором. Эти водорастворимые компоненты очень важны для жизнедеятельности растений. Химическая формула удобрения — $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$. Азот отвечает за быстрый рост, а фосфор — за развитие корневой системы. Обеспечивая растения азотом и фосфором, аммофос способствует наращиванию зеленой массы, развитию и укреплению корневой системы. Это удобрение позволяет повысить урожайность и иммунитет растений, устойчивость к стрессам, вызванным колебаниями температуры. Кроме того, подкормки аммофосом приводят к увеличению клетчатки и белков в овощах и злаках, продлевают сроки хранения.

Задание 1. (15 баллов) В некоторой смеси дигидрофосфата аммония и гидрофосфата аммония число атомов азота $6,02 \cdot 10^{23}$, а число атомов фосфора — $5,418 \cdot 10^{23}$. Вычислите массу смеси (в граммах). Ответ округлите до десятых.

Решение

Определим количество вещества атомов азота и фосфора:

$$n(N) = \frac{6,02 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 1 \text{ моль};$$

$$n(P) = \frac{5,418 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,9 \text{ моль.}$$

Если $n(NH_4H_2PO_4) = x$ моль, а $n((NH_4)_2HPO_4) = y$ моль, тогда:

$$\begin{cases} x + 2y = 1, \\ x + y = 0,9. \end{cases} \quad (2.2.6)$$

$x = 0,8$ моль, $y = 0,1$ моль.

$$m(NH_4H_2PO_4) = n \cdot M = 0,8 \cdot 115 = 92 \text{ г};$$

$$m((NH_4)_2HPO_4) = n \cdot M = 0,1 \cdot 132 = 13,2 \text{ г}$$

$$m(\text{смеси}) = 92 + 13,2 = 105,2 \text{ г.}$$

Ответ: 105,2.

Задание 2. (5 баллов) В некоторой смеси дигидрофосфата аммония и гидрофосфата аммония число атомов азота $6,02 \cdot 10^{23}$, а число атомов фосфора — $5,418 \cdot 10^{23}$. Вычислите массовую долю дигидрофосфата аммония в смеси (в процентах по массе). Ответ округлите до целых.

Решение

Определим количество вещества атомов азота и фосфора:

$$n(N) = \frac{6,02 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 1 \text{ моль};$$

$$n(P) = \frac{5,418 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,9 \text{ моль.}$$

Если $n(NH_4H_2PO_4) = x$ моль, а $n((NH_4)_2HPO_4) = y$ моль, тогда:

$$\begin{cases} x + 2y = 1, \\ x + y = 0,9. \end{cases} \quad (2.2.7)$$

$x = 0,8$ моль, $y = 0,1$ моль.

$$m(NH_4H_2PO_4) = n \cdot M = 0,8 \cdot 115 = 92 \text{ г};$$

$$m((NH_4)_2HPO_4) = n \cdot M = 0,1 \cdot 132 = 13,2 \text{ г};$$

$$m(\text{смеси}) = 92 + 13,2 = 105,2 \text{ г};$$

$$\omega(NH_4H_2PO_4) = \frac{92}{105,2} = 0,8745 \text{ или } 87,45\% \approx 87\%.$$

Ответ: 87. Диапазон 87–88.

Задание 3. (5 баллов) В некоторой смеси дигидрофосфата аммония и гидрофосфата аммония число атомов азота $6,02 \cdot 10^{23}$, а число атомов фосфора — $5,418 \cdot 10^{23}$. Вычислите массовую долю гидрофосфата аммония в смеси (в процентах по массе). Ответ округлите до целых.

Решение

Определим количество вещества атомов азота и фосфора:

$$n(N) = \frac{6,02 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 1 \text{ моль};$$

$$n(P) = \frac{5,418 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,9 \text{ моль.}$$

Если $n(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) = x$ моль, а $n((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4) = y$ моль, тогда:

$$\begin{cases} x + 2y = 1, \\ x + y = 0,9. \end{cases} \quad (2.2.8)$$

$x = 0,8$ моль, $y = 0,1$ моль.

$$m(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) = n \cdot M = 0,8 \cdot 115 = 92 \text{ г};$$

$$m((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4) = n \cdot M = 0,1 \cdot 132 = 13,2 \text{ г};$$

$$m(\text{смеси}) = 92 + 13,2 = 105,2 \text{ г};$$

$$\omega(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) = \frac{13,2}{105,2} = 0,1254 \text{ или } 12,54\% \approx 13\%.$$

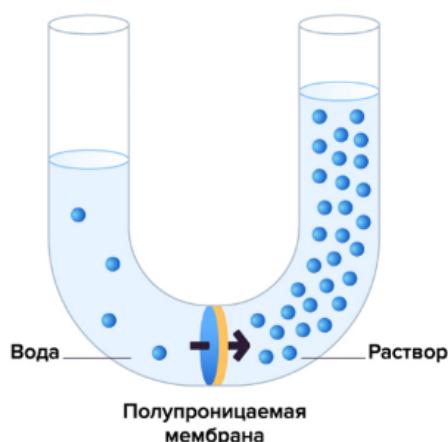
Ответ: 13. Диапазон 12–13.

Задача 2.2.3.3. Оsmос в биологических системах (20 баллов)

Темы: концентрации, растворы, осмос.

Условие

Рассмотрим такую систему: мембрана, по разные стороны от которой расположены растворы с разным содержанием растворенного вещества. Поры полупроницаемой мембраны пропускают молекулы растворителя, но не молекулы растворенного вещества. Из-за того, что концентрации растворов различны, растворитель (например, вода) начнет диффундировать (перетекать) из более разбавленного раствора в более концентрированный и разбавлять его до тех пор, пока концентрация не станет равной по обе стороны мембраны. Это явление называют осмосом.



Мембранных всех живых клеток используют осмос для контроля поглощения необходимых веществ, поэтому он играет очень важную роль в медицине, биотехнологии и агротехнологии, особенно в гидропонике. Но осмос значим и в быту: с древности с его помощью консервировали пищу — в соленой среде вода вытекает из клеток, что приводит к сморщиванию (весь материал внутри клетки отслаивается от клеточной стенки) и потере жизнедеятельности микроорганизмов (этот процесс называют плазмолизом).

Задание 1. (6 баллов) Рассчитайте массу поваренной соли, необходимую для приготовления 2,0 л рассола для засаливания огурцов (плотность $\rho = 1\,027\text{ г/л}$), массовая доля соли в котором составляет 4,5%. Ответ приведите в граммах с точностью до десятых.

Решение

Рассчитаем массу раствора

$$m_{\text{p-pa}} = \rho V = 1\,027 \cdot 2,0 = 2\,054\text{ г.}$$

Масса соли составляет:

$$m(\text{NaCl}) = m_{\text{p-pa}}\omega(\text{NaCl}) = 2\,054 \cdot 0,045 = 92,4\text{ г.}$$

Ответ: 92,4. Диапазон 92–93.

Задание 2. (7 баллов) Осмотическим давлением называют величину избыточного давления на раствор, отделенный от чистого растворителя полупроницаемой мембраной, при котором прекращается осмос, то есть диффузия растворителя через мембрану. Голландский химик Якоб Хендрик Вант-Гофф установил, что для разбавленных растворов осмотическое давление прямо пропорционально молярной концентрации частиц (молекул, ионов) растворенного вещества: $\pi = CRT$, где π — осмотическое давление, кПа; C — молярная концентрация частиц (молекул, ионов) растворенного вещества, моль/л; R — универсальная газовая постоянная, 8,314 Дж/(моль·К); T — температура, К. Это открытие было отмечено первой Нобелевской премией по химии.



В терапевтических целях иногда используют гипертонические растворы — растворы, осмотическое давление которых превышает давление плазмы крови — в такой среде вода выходит через мембрану из клетки, и клетка сжимается.

Гипертонический 20%-й раствор глюкозы вводят при внутричерепном кровоизлиянии, гипогликемии, заболеваниях печени для улучшения антитоксической функции печени, стимулирования процесса обмена веществ и расширения сосудов, а также в качестве источника углеводов.

Рассчитайте величину осмотического давления 20%-го водного раствора глюкозы ($C_6H_{12}O_6$) при температуре $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ (плотность $\rho = 1\,080\text{ г/л}$). Ответ выразите в килопаскалях (кПа) с точностью до целых.

Решение

Рассчитаем массу 1 л раствора

$$m_{\text{p-pa}} = \rho V = 1\,080 \cdot 1,0 = 1\,080 \text{ г.}$$

Масса глюкозы составляет

$$m(C_6H_{12}O_6) = m_{\text{p-pa}}\omega(C_6H_{12}O_6) = 1\,080 \cdot 0,20 = 216 \text{ г.}$$

Количество вещества глюкозы

$$n(C_6H_{12}O_6) = \frac{m(C_6H_{12}O_6)}{M(C_6H_{12}O_6)} = \frac{216}{6 \cdot 12 + 12 + 6 \cdot 16} = 1,2 \text{ моль,}$$

соответственно молярная концентрация раствора

$$C(C_6H_{12}O_6) = \frac{n(C_6H_{12}O_6)}{V} = \frac{1,2}{1} = 1,2 \text{ моль/л.}$$

Осмотическое давление

$$\pi = CRT = 1,2 \cdot 8,314 \cdot (273 + 37) = 3\,092,8 \text{ кПа.}$$

Ответ: 3 093. Диапазон 3 070–3 110.

Задание 3. (7 баллов) Водные растворы полимера поливинилпирролидона (повидон, препарат «Гемодез») вводят внутривенно для связывания токсинов, циркулирующих в крови и быстрого выведения их из организма, усиления почечного кровотока при шоке, заболеваниях печени, сепсисе и пневмонии. Осмотическое давление раствора полимера мало, поэтому в состав также включают неорганические соли, чтобы сделать раствор препарата изотоничным крови.

Установите молярную массу поливинилпирролидона, если осмотическое давление раствора, содержащего 0,6 г полимера в 100 мл раствора, составляет 1,731 кПа при $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ответ выразите в граммах на моль (г/моль) с точностью до целых.

Решение

Молярная концентрация раствора полимера

$$C = \frac{\pi}{RT} = \frac{1,731}{8,314 \cdot (273 + 22)} = 0,71 \text{ ммоль/л,}$$

то есть количество вещества полимера $n = CV = 0,71 \cdot 0,1 = 0,071$ ммоль.

Тогда молярная масса $M = \frac{m}{n} = \frac{0,6}{0,071} \cdot 1000 = 8499$ г/моль.

Ответ: 8499. Диапазон 8300–8700.

Задача 2.2.3.4. Е338: производство и применение (25 баллов)

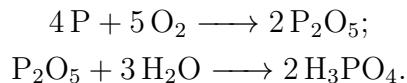
Темы: количество вещества, термохимия, электролитическая диссоциация.

Условие

Ортофосфорная кислота используется в самых разных областях — в производстве удобрений и чистящих средств, для деревообработки и очистки металла от ржавчины, в стоматологии для реставрации зубов и в ювелирном деле при пайке. Также она зарегистрирована в качестве пищевой добавки Е338, которую можно встретить в составе мармеладов, сиропов и напитков, хлебобулочных изделий, сыров и плавленых сырков.

Пищевую фосфорную кислоту производят термическим способом, позволяющим получить концентрированный продукт с меньшим содержанием примесей — для этого расплавленный белый фосфор сжигают в воздухе и подвергают образующийся оксид фосфора (V) гидратации.

Этот процесс упрощенно можно описать следующими реакциями:



Задание 1. (7 баллов)

При нормальных условиях рассчитайте объем воздуха, который необходимо подавать в башню (камеру сжигания) в 1 ч для сжигания фосфора, содержащего 0,9% негорючих примесей (расход фосфора 2450 кг/ч). Ответ выразите в кубических метрах. Учтите, что для предотвращения образования оксида фосфора (III) в башню подают двукратный избыток воздуха по сравнению с расчетным количеством.

Решение

В расчете на один час количество вещества фосфора составляет

$$n(\text{P}) = \frac{m}{M} = \frac{2450 \cdot 0,995}{31} = 78,32 \text{ кмоль},$$

тогда

$$n_{\text{теор}}(\text{O}_2) = \frac{5}{4}n(\text{P}) = 97,90 \text{ кмоль};$$

$$n_{\text{практ}}(\text{O}_2) = 2n_{\text{теор}}(\text{O}_2) = 2 \cdot 97,90 = 195,80 \text{ кмоль.}$$

Объем кислорода:

$$V(\text{O}_2) = n_{\text{практ}}(\text{O}_2)V_0 = 195,80 \cdot 1000 \cdot 22,4 = 4385974 \text{ л},$$

объем воздуха

$$V_{\text{возд}} = \frac{V(\text{O}_2)}{\chi(\text{O}_2)} = \frac{4\ 385\ 974}{0,21 \cdot 1\ 000} = 20\ 886 \text{ м}^3.$$

Ответ: 20 886. Диапазон 19 840–21 932.

Задание 2. (6 баллов) Рассчитайте массу 75%-го раствора фосфорной кислоты, образующегося в башне. Ответ приведите в килограммах в час (кг/ч) с точностью до целых.

Решение

Количество вещества фосфорной кислоты соответствует количеству фосфора

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = n(P) = 78,32 \text{ кмоль/ч},$$

тогда:

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = n(\text{H}_3\text{PO}_4)M = 78,32 \cdot (3 + 31 + 16 \cdot 4) = 7\ 675,36 \text{ кг/ч};$$

$$m_{\text{p-pa}}(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{\omega(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{7\ 675,36}{0,75} = 10\ 234 \text{ кг/ч}.$$

Ответ: 10 234. Диапазон 10 230–10 238.

Задание 3. (6 баллов) Использование теплоты, выделяющейся при сгорании фосфора, позволяет значительно увеличить энергоэффективность проведения процесса. Рассчитайте массу угля, содержащего 7% негорючих примесей, которую удастся сэкономить при полном использовании тепла сгорания фосфора. Ответ выразите в килограммах в час (кг/ч) с точностью до целых. Теплота сгорания белого фосфора в указанных условиях составляет 1 764 кДж/моль, углерода 394 кДж/моль.

Решение

Количество теплоты, выделяющейся при сгорании фосфора, составляет

$$Q = Q_P n(P) = 78,32 \cdot 1\ 764 = 138\ 156 \text{ МДж/ч},$$

тогда

$$n(C) = \frac{Q}{Q_C} = \frac{138\ 156 \cdot 1\ 000}{394} = 350\ 650 \text{ моль/ч};$$

$$m(C) = n(C)M = 350\ 650 \cdot 12 = 4\ 208 \text{ кг/ч};$$

$$m_{\text{уголь}} = \frac{m(C)}{\omega(C)} = \frac{4\ 208}{0,93} = 4\ 524 \text{ кг/ч}.$$

Ответ: 4 524. Диапазон 4 490–4 558.

Задание 4. (6 баллов) В качестве пищевой добавки ортофосфорная кислота выступает регулятором кислотности и консервантом: кислая среда препятствует

размножению микроорганизмов и порче продукта. Именно наличие фосфорной кислоты в составе обуславливает способность газированных напитков растворять ржавчину и очищать бытовые поверхности, о которой снято много интернет-роликов. Впрочем, имеются сведения о стимулировании фосфорной кислотой вымывания кальция из организма и ее негативном влиянии на зубную эмаль при чрезмерном употреблении.



Рассчитайте концентрацию ионов водорода в 0,005 моль/л растворе фосфорной кислоты, если известно, что степень диссоциации кислоты по первой ступени составляет 69%, а диссоциацией по второй и третьей ступени можно пренебречь. Ответ выразите в миллимоль на литр (ммоль/л) с точностью до десятых.

Решение

Запишем уравнение диссоциации фосфорной кислоты по первой ступени:



Степень диссоциации представляет собой отношение количества вещества, распавшегося на ионы, к общему количеству растворенного вещества:

$$\alpha_I = \frac{n(\text{H}_2\text{PO}_4^-)}{n_0(\text{H}_3\text{PO}_4)}.$$

В расчете на 1 л раствора $n_0(\text{H}_3\text{PO}_4) = CV = 0,005 \cdot 1 = 0,005$ моль,

$$\begin{aligned} n(\text{H}^+) &= n(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = \alpha_I n_0(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,69 \cdot 0,005 = \\ &= 0,0034 \text{ моль} = 3,4 \text{ ммоль.} \end{aligned}$$

Ответ: 3,4.

Задача 2.2.3.5. Химию, как и любую науку, делают люди (10 баллов)

Тема: химики России.

Условие

Этот выдающийся ученый начинал как математик и физик: степень кандидата он получил в Казанском университете за сочинение о законах движениях планет и других небесных тел. Химией он стал заниматься по настоянию своего наставника и ректора университета Н. Н. Лобачевского. Так зарождалась Казанская химическая школа.

Будучи мастером органического синтеза, этот исследователь впервые осуществил реакцию бензоиновой конденсации и бензидиновую перегруппировку, получил «летучее горчичное масло» и разработал метод замещения атомов галогенов в органических соединениях водородом. Примечательно, что этот ученый был учителем химии А. Нобеля и даже внес свой вклад в применение нитроглицерина в качестве взрывчатого вещества. Однако мировую известность ему принесло открытие реакции превращения ароматических нитросоединений в аминосоединения, впоследствии названной его именем. Эта реакция позволила получить «бензидам», известный нам как анилин, и впоследствии положила начало промышленному синтезу многочисленных продуктов его превращений. В наши дни из анилина получают красители, лекарственные и взрывчатые вещества, а также полиуретаны. Научные заслуги признаны химиками всего мира. Знаменитый немецкий ученый А. В. Гофман скажет: «Если бы ... не сделал ничего более, кроме превращения нитробензола в анилин, то и тогда его имя осталось бы записанным золотыми буквами в истории химии».

Помимо науки этот академик активно занимался организационной и общественной работой, способствуя развитию органической химии, был одним из организаторов Русского химического общества и первым его президентом. Среди его учеников А. М. Бутлеров, Н. Н. Бекетов, А. П. Бородин, А. Н. Энгельгардт, Л. Н. Шишков. Впоследствии Бутлеров отметит: «Имя ... будут всегда читать те, которым дороги и близки к сердцу успехи и величие науки в России».

Назовите этого ученого:

- A. Александр Павлович Виноградов;
- B. Александр Михайлович Зайцев;
- C. Николай Дмитриевич Зелинский;
- D. Карл Карлович Клаус;
- E. Николай Александрович Меншуткин;
- F. Сергей Васильевич Лебедев;
- G. Николай Николаевич Зинин;
- H. Владимир Васильевич Марковников;
- I. Дмитрий Иванович Менделеев;
- J. Алексей Евграфович Фаворский.

Ответ: G.

2.2.4. Вторая волна. Задачи 10–11 класса

Задачи второй волны предметного тура по химии за 10–11 класс открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contes>

t.yandex.ru/contest/63485/enter/.

Задача 2.2.4.1. Дождь по заказу (30 баллов)

Темы: неорганическая химия, массовая доля вещества, расчет по уравнению реакции.

Условие

В древности во времена засухи люди использовали любые методы, чтобы вызвать дождь — приносили в жертву животных, пели песни, читали заклинания и проводили обряды. Неудивительно, ведь засуха означала отсутствие урожая и голодную смерть в скором будущем. Но сегодня ученых есть сразу несколько методов для создания искусственного дождя.

Искусственный дождь или «посев облаков» — это целенаправленное производство дождя. Для создания облаков используются химические вещества, которые могут быть сброшены с самолетов или наземных систем рассеивания, таких как генераторы или канистры, выпущенные ракетами или зенитным оружием. Наиболее часто используемые химикаты для создания облаков — это сухой лед (твёрдый диоксид углерода) и йодид серебра. В Дубае регулярно идет искусственный дождь, который запускается при помощи беспилотников. О таком дожде власти предупреждают заранее. В России осадки, вызванные искусственным способом, используют при тушении крупных лесных пожаров.

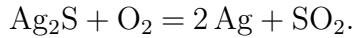


Для получения иодида серебра образец аргентита (серебросодержащего минерала, представляющий собой модификации сульфида серебра) сначала подвергли обжигу для удаления серы. Остаток поместили в 35%-й раствор азотной кислоты массой 90 г, при этом выделилось 2,24 л газа, нерастворимого в воде, а осадок растворился полностью.

Задание 1. (5 баллов) Определите относительную плотность газа по водороду, выделившегося при обработке обожженного остатка руды 35%-й азотной кислотой. Ответ округлите до целых.

Решение

При обжиге сульфида серебра образуется не оксид металла, а сам металл (так как оксид термически неустойчив):



Газ, образующийся при обработке серебра 35%-й азотной кислотой, — NO:



Относительная плотность NO по водороду составляет:

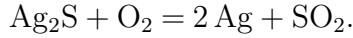
$$DH_2 = \frac{M(\text{NO})}{M(\text{H}_2)} = \frac{30}{2} = 15.$$

Ответ: 15.

Задание 2. (5 баллов) Какая масса образца аргентита была взята для получения йодида серебра по данному условию? Ответ округлите до десятых.

Решение

При обжиге сульфида серебра образуется не оксид металла, а сам металл (так как оксид термически неустойчив):



Газ, образующийся при обработке серебра 35%-й азотной кислотой, — NO:



$$n(\text{NO}) = \frac{2,24}{22,4} = 0,1 \text{ моль};$$

$$n(\text{AgNO}_3) = n(\text{Ag}) = 3 \cdot n(\text{NO}) = 3 \cdot 0,1 = 0,3 \text{ моль};$$

$$n(\text{Ag}_2\text{S}) = \frac{1}{2}n(\text{Ag}) = \frac{0,3}{2} = 0,15 \text{ моль};$$

$$m(\text{Ag}_2\text{S}) = n \cdot M = 0,15 \cdot 248 = 37,2 \text{ г.}$$

Ответ: 37,2.

Задание 3. (5 баллов) После завершения реакции к полученному раствору добавили 415 г 15%-го раствора йодида калия, при этом, помимо выпадения осадка, наблюдали выделение бесцветного газа. Определите массу образовавшегося йодида серебра в граммах. Ответ округлите до десятых.

Решение

При обжиге сульфида серебра образуется не оксид металла, а сам металл (так как оксид термически неустойчив):



Газ, образующийся при обработке серебра 35% азотной кислотой — NO:



$$n(\text{NO}) = \frac{2,24}{22,4} = 0,1 \text{ моль};$$

$$n(\text{AgNO}_3) = n(\text{Ag}) = 3 \cdot n(\text{NO}) = 3 \cdot 0,1 = 0,3 \text{ моль};$$

$$n(\text{Ag}_2\text{S}) = \frac{1}{2}n(\text{Ag}) = \frac{0,3}{2} = 0,15 \text{ моль};$$

$$m(\text{Ag}_2\text{S}) = n \cdot M = 0,15 \cdot 248 = 37,2 \text{ г.}$$

По уравнению (2.2.10):

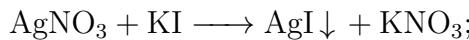
$$n(\text{HNO}_3) = 4 \cdot n(\text{NO}) = 4 \cdot 0,1 = 0,4 \text{ моль.}$$

В исходном растворе:

$$n(\text{HNO}_3) = \frac{90 \cdot 0,35}{63} = 0,5 \text{ моль — в избытке.}$$

$$n(\text{HNO}_3)_{\text{непрор.}} = 0,5 - 0,4 = 0,1 \text{ моль.}$$

При добавлении к раствору, полученному растворением серебра в азотной кислоте, раствора иодида калия образуется иодид серебра:



$$n(\text{KI}) = \frac{415 \cdot 0,15}{166} = 0,375 \text{ моль — в избытке;}$$

$$n(\text{AgI}) = n(\text{AgNO}_3) = 0,3 \text{ моль;}$$

$$m(\text{AgI}) = n \cdot M = 0,3 \cdot 235 = 70,5 \text{ г.}$$

Ответ: 70,5.

Задание 4. (15 баллов) После завершения реакции к полученному раствору добавили 415 г 15%-го раствора йодида калия, при этом, помимо выпадения осадка, наблюдали выделение бесцветного газа. Определите массовую долю вещества в процентах в конечном растворе после отделения всех нерастворимых веществ. Ответ округлите до сотых.

Решение

При обжиге сульфида серебра образуется не оксид металла, а сам металл (так как оксид термически неустойчив), получаем (2.2.9).

Газ, образующийся при обработке серебра 35%-й азотной кислотой, — NO, получаем (2.2.10):

$$n(\text{NO}) = \frac{2,24}{22,4} = 0,1 \text{ моль;}$$

$$n(\text{AgNO}_3) = n(\text{Ag}) = 3 \cdot (\text{NO}) = 3 \cdot 0,1 = 0,3 \text{ моль;}$$

$$n(\text{Ag}_2\text{S}) = \frac{1}{2}n(\text{Ag}) = \frac{0,3}{2} = 0,15 \text{ моль;}$$

$$m(\text{Ag}_2\text{S}) = n \cdot M = 0,15 \cdot 248 = 37,2 \text{ г.}$$

По уравнению 2.2.10:

$$n(\text{HNO}_3) = 4 \cdot n(\text{NO}) = 4 \cdot 0,1 = 0,4 \text{ моль.}$$

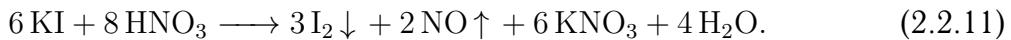
В исходном растворе:

$$n(\text{HNO}_3) = \frac{90 \cdot 0,35}{63} = 0,5 \text{ моль — в избытке;} \\ n(\text{HNO}_3)_{\text{непрор.}} = 0,5 - 0,4 = 0,1 \text{ моль.}$$

При добавлении к раствору, полученному растворением серебра в азотной кислоте, раствора иодида калия образуется иодид серебра:

$$\text{AgNO}_3 + \text{KI} \longrightarrow \text{AgI} \downarrow + \text{KNO}_3; \\ n(\text{KI}) = \frac{415 \cdot 0,15}{166} = 0,375 \text{ моль — в избытке;} \\ n(\text{AgI}) = n(\text{AgNO}_3) = 0,3 \text{ моль;} \\ m(\text{AgI}) = n \cdot M = 0,3 \cdot 235 = 70,5 \text{ г;} \\ n(\text{KI})_{\text{прореаг}} = n(\text{AgNO}_3) = 0,3 \text{ моль;} \\ n(\text{KI})_{\text{непрореаг}} = 0,3 - 0,375 = 0,075 \text{ моль.}$$

Выделение бесцветного газа при добавлении раствора иодида калия объясняется его взаимодействием с азотной кислотой, оставшейся в растворе:



$$n(\text{KI})_{\text{прореаг}} = n(\text{AgNO}_3) = 0,3 \text{ моль;} \\ n(\text{KI})_{\text{непрореаг}} = 0,3 - 0,375 = 0,075 \text{ моль;} \\ n(\text{HNO}_3)_{\text{непрореаг}} = 0,5 - 0,4 = 0,1 \text{ моль.}$$

В уравнении (2.2.11) реагенты провзаимодействовали полностью, т. о. в конечном растворе содержится только нитрат калия.

$$n(\text{KNO}_3) = 0,3 + 0,075 = 0,375 \text{ моль;} \\ m(\text{KNO}_3) = n \cdot M = 0,375 \cdot 101 = 37,875 \text{ г;} \\ m(\text{p-pa}) = m(\text{Ag}) + m(\text{p-paHNO}_3) - m(\text{NO})_{\text{по (2.2.10)}} + m(\text{p-paKI}) - m(\text{AgI}) - \\ - m(\text{I}_2) - m(\text{NO})_{\text{по (2.2.11)}} = 0,3 \cdot 108 + 90 + 415 - 70,5 - 254 \cdot 0,0375 - \\ - 30 \cdot (0,1 + 0,025) = 453,625 \text{ г;} \\ \omega(\text{KNO}_3) = \frac{37,875}{453,625} = 0,083\,49 \text{ или } 8,35\%.$$

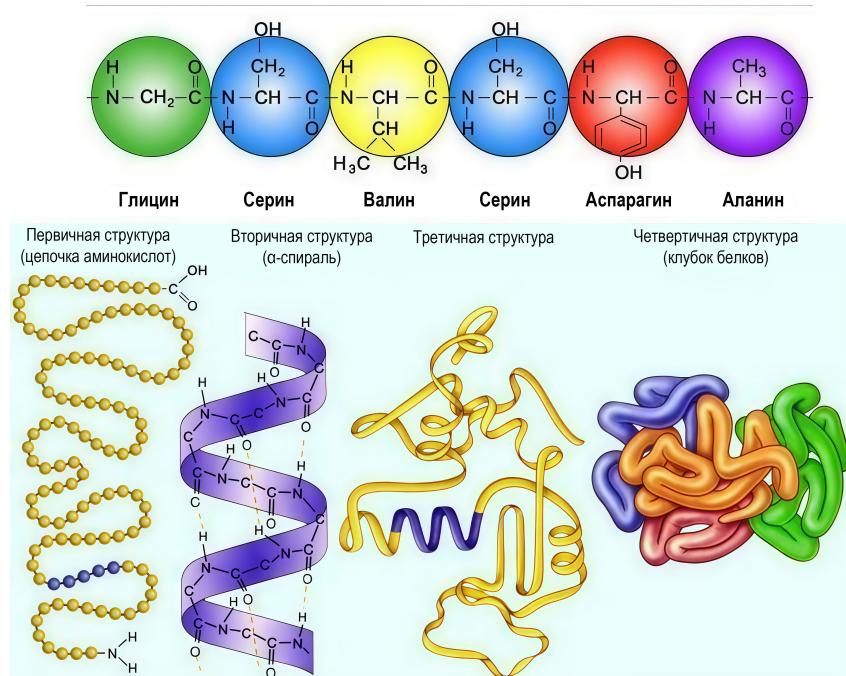
Ответ: 8,35.

Задача 2.2.4.2. Аминокислоты — «кирпичики» белковых молекул (15 баллов)

Темы: органическая химия, массовая доля элемента, биохимия.

Условие

В живых организмах белки играют важнейшую роль среди макромолекул, обеспечивая множество жизненно важных функций. Основатель русской биохимической школы Александр Яковлевич Данилевский в 1888 году впервые высказал предположение о наличии в молекуле белка связи $-\text{NH}-\text{CO}-$, которая позднее получила название пептидной связи. В 1902 году немецкий химик Эмиль Фишер сформулировал полипептидную теорию строения белка, согласно которой белки — это гигантские полипептидные цепи, состоящие из α -аминокислот. В настоящее время известны порядка 300 аминокислот, однако в образовании природных белков участвуют только 20 из них, которые называются белокобразующими.



Последовательность этих аминокислот определяет уникальные свойства каждого белка. Некоторые аминокислоты могут быть синтезированы в организме, в то время как другие являются незаменимыми и должны поступать с пищей. Содержание белка в растениях считается важным показателем качества сельскохозяйственной продукции. Высокое содержание белка указывает на питательную ценность растения и способность обеспечивать необходимые аминокислоты для организма человека и животных.

Задание 1. (5 баллов) Некоторая белокобразующая аминокислота содержит 64,71% углерода, 5,88% водорода, 15,69% кислорода. Определите молекулярную формулу аминокислоты. Запишите ее в формате $\text{C}_1\text{H}_2\text{O}_3\text{N}_4$.

Решение

$$\begin{aligned} \omega(\text{N}) &= 100 - 64,71 - 5,88 - 15,69 = 13,72\%; \\ n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) : n(\text{N}) &= \frac{64,71}{12} : \frac{5,88}{1} : \frac{15,69}{16} : \frac{13,72}{14} = \\ &= 5,3925 : 5,88 : 0,98 : 0,98 = 11 : 12 : 2 : 2. \end{aligned}$$

Молекулярная формула аминокислоты — $\text{C}_{11}\text{H}_{12}\text{O}_2\text{N}_2$.

Ответ: C₁₁H₁₂O₂N₂.

Задание 2. (5 баллов) Некоторая белокобразующая аминокислота содержит 64,71% углерода, 5,88% водорода, 15,69 % кислорода. Запишите тривиальное название данной аминокислоты (строчными буквами).

Решение

$$\omega(\text{N}) = 100 - 64,71 - 5,88 - 15,69 = 13,72\%;$$

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) : n(\text{N}) = \frac{64,71}{12} : \frac{5,88}{1} : \frac{15,69}{16} : \frac{13,72}{14} =$$

$$= 5,3925 : 5,88 : 0,98 : 0,98 = 11 : 12 : 2 : 2.$$

Молекулярная формула аминокислоты — C₁₁H₁₂O₂N₂.

Это триптофан, ароматическая аминокислота, имеет структурную формулу, представленную на рис. 2.2.1.

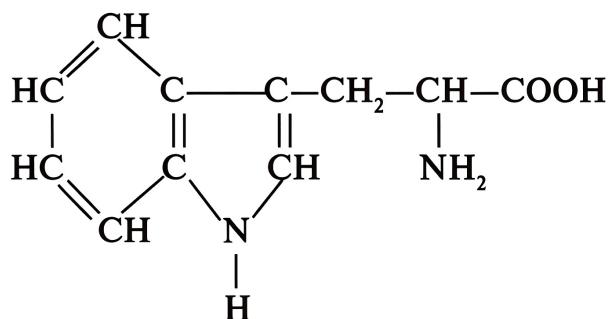


Рис. 2.2.1

Ответ: триптофан.

Задание 3. (5 баллов) Среди перечисленных реакций выберите номер реакции, являющейся качественной и одновременно специфической для данной аминокислоты:

- 0.1. нингидриновая,
- 0.2. биуретовая,
- 0.3. ксантопротеиновая,
- 0.4. цистеиновая.

В ответе укажите только номер реакции.

Ответ: 3.

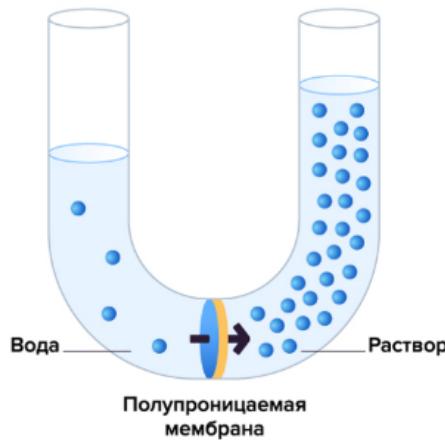
Задача 2.2.4.3. Оsmos в биологических системах (20 баллов)

Темы: концентрации, растворы, осмос.

Условие

Рассмотрим такую систему: мембрана, по разные стороны от которой расположены растворы с разным содержанием растворенного вещества. Поры полупроницаемой

мембранны пропускают молекулы растворителя, но не молекулы растворенного вещества. Из-за того, что концентрации растворов различны, растворитель (например, вода) начнет диффундировать (перетекать) из более разбавленного раствора в более концентрированный и разбавлять его до тех пор, пока концентрация не станет равной по обе стороны мембранны. Это явление называют осмосом.



Осмотическим давлением называют величину избыточного давления на раствор, отделенный от чистого растворителя полупроницаемой мембраной, при котором прекращается осмос, то есть диффузия растворителя через мембрану. Голландский химик Якоб Хендрик Вант-Гофф установил, что для разбавленных растворов осмотическое давление прямо пропорционально молярной концентрации частиц (молекул, ионов) растворенного вещества:

$$\pi = CRT,$$

где π — осмотическое давление, кПа; C — молярная концентрация частиц (молекул, ионов) растворенного вещества, моль/л; R — универсальная газовая постоянная, 8,314 Дж/(моль·К); T — температура, К. Это открытие было отмечено первой Нобелевской премией по химии.

Мембранны всех живых клеток используют осмос для контроля поглощения необходимых веществ, поэтому он играет очень важную роль в медицине, биотехнологии и агротехнологии, особенно в гидропонике. Осмос помогает растениям расти и всасывать воду корневой системой — поскольку в клеточном соке концентрация солей и сахаров выше, чем в почвенном растворе. Это важно учитывать при внесении удобрений — если осмотическое давление почвенного раствора станет слишком большим, поступление воды в растение прекратится, и оно погибнет (например, как в засоленных почвах).

Задание 1. (6 баллов) Рассчитайте осмотическое давление раствора удобрения (130 г мочевины в 5 л воды) при температуре 20 °С. Ответ приведите в килопаскалях (кПа) с точностью до целых.

Решение

Количество вещества мочевины:

$$n(\text{NH}_2\text{CONH}_2) = \frac{(\text{NH}_2\text{CONH}_2)}{M} = \frac{130}{16 \cdot 2 + 28} = 2,2 \text{ моль},$$

соответственно молярная концентрация раствора

$$C(\text{NH}_2\text{CONH}_2) = \frac{n(\text{NH}_2\text{CONH}_2)}{V} = \frac{2,2}{5} = 0,44 \text{ моль/л.}$$

Оsmотическое давление $\pi = CRT = 0,44 \cdot 8,314 \cdot (273 + 20) = 1072 \text{ кПа.}$

Ответ: 1072. Диапазон 1 069–1 075.

Задание 2. (7 баллов) В медицине при внутривенном введении используют изотонические растворы — растворы, осмотическое давление которых соответствует давлению плазмы крови — в такой среде вода не поступает в клетку и не выходит из клетки, что предотвращает от повреждения эритроциты. Изотонический раствор хлорида натрия применяют как дезинтоксикационное средство, для коррекции состояния систем организма в случае обезвоживания и как растворитель других лекарственных препаратов.



Рассчитайте массовую долю хлорида натрия в разбавленном растворе, осмотическое давление которого при температуре 37 °C составляет 749 кПа (плотность примите $\rho = 1000 \text{ г/л}$). Ответ приведите в процентах с точностью до сотых.

Решение

Рассчитаем концентрацию частиц в растворе, исходя из величины осмотического давления:

$$C = \frac{\pi}{RT} = \frac{749}{8,314 \cdot (273 + 37)} = 0,29 \text{ моль/л.}$$

Хлорид натрия — электролит, диссоциирующий в растворе на ионы Na^+ и Cl^- . Поскольку точная степень диссоциации в информации не указана, а раствор является разбавленным, ее можно принять равной 100%.

Тогда концентрация хлорида натрия составляет:

$$C(\text{NaCl}) = \frac{C}{2} = \frac{0,29}{2} = 0,145 \text{ моль/л,}$$

тогда масса соли в 1 л раствора

$$m(\text{NaCl}) = n(\text{NaCl}) \cdot M = C(\text{NaCl}) \cdot V \cdot M = 0,145 \cdot 1 \cdot (23 + 35,5) = 8,48 \text{ г.}$$

Массовая доля в растворе:

$$\omega = \frac{m\text{NaCl}}{m_{\text{p-pa}}} = \frac{8,48}{1 \cdot 1000} \cdot 100 = 0,85\%.$$

Ответ: 0,85. Диапазон 0,81–0,89.

Задание 3. (7 баллов) Измерение осмотического давления является одним из распространенных методов определения молекулярной массы полимера, влияющей на его свойства. Например, полистирол с высокой молекулярной массой обладает повышенной жесткостью и более высокой температурой плавления по сравнению с полистиролом с низкой молекулярной массой. Более того, с увеличением молекулярной массы полистирола увеличивается и его вязкость, что приводит к трудностям в переработке. Мембранный осмометр основан на измерении разности давлений — например, по разности высот в капиллярах раствора и растворителя, поскольку гидростатическое давление уравновешивает осмотическое.

Установите молекулярную массу полистирола, если разность высот жидкости в осмометре для его раствора в толуоле, содержащего 3,5 г в 500 мл раствора, составляет 2,46 см при 20 °C. Ответ выразите в килограммах на моль (кг/моль) с точностью до десятых. Плотность толуола и раствора 867 кг/м³.

Решение

Гидростатическое давление столба жидкости уравновешивает осмотическое давление, для удобства расчета используем единицы измерения системы СИ:

$$\pi = CRT = \rho g \Delta h = 867 \cdot 9,8 \cdot (2,46 \cdot 10^{-2}) = 209 \text{ Па.}$$

Молярная концентрация раствора полимера составляет

$$C = \frac{\pi}{RT} = \frac{209}{8,314 \cdot (273 + 20)} = 0,0858 \text{ моль/м}^3,$$

то есть количество вещества полимера

$$n = CV = 0,0858 \cdot \frac{0,5}{1\,000} = 0,0429 \text{ ммоль.}$$

Тогда молекулярная масса

$$M = \frac{m}{n} = \frac{3,5}{0,0429} = 81,6 \text{ кг/моль.}$$

Ответ: 81,6. Диапазон 79,8–82,2.

Задача 2.2.4.4. Е338: производство и применение (25 баллов)

Темы: количество вещества, термохимия, электролитическая диссоциация.

Условие

Ортофосфорная кислота используется в самых разных областях — в производстве удобрений и чистящих средств, для деревообработки и очистки металла от ржавчины, в стоматологии для реставрации зубов и в ювелирном деле при пайке. Также она зарегистрирована в качестве пищевой добавки Е338, которую можно

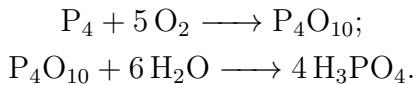
встретить в составе мармеладов, сиропов и напитков, хлебобулочных изделий, сыров и плавленых сырков.

Пищевую фосфорную кислоту производят термическим способом, позволяющим получить концентрированный продукт с меньшим содержанием примесей — для этого расплавленный белый фосфор сжигают в воздухе и подвергают образующийся оксид фосфора (V) гидратации.

Задание 1. (8 баллов) При нормальных условиях рассчитайте объем воздуха, который необходимо подавать в башню (камеру сжигания) для сжигания фосфора в 1 ч, если известно, что расход образующегося в башне 75%-го раствора фосфорной кислоты составляет 4 000 кг/ч. Ответ приведите в кубометрах с точностью до целых. Учтите, что для предотвращения образования оксида фосфора (III) в башню подают двукратный избыток воздуха по сравнению с расчетным количеством.

Решение

Запишем уравнения происходящих реакций:



Масса фосфорной кислоты:

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = m_{\text{p-pa}} \omega_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 4\,000 \cdot 0,75 = 3\,000 \text{ кг/ч.}$$

Количество вещества фосфорной кислоты:

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{M} = \frac{3\,000}{3 + 31 + 16 \cdot 4} = 30,61 \text{ кмоль/ч,}$$

что соответствует расчетному количеству вещества кислорода

$$\begin{aligned} n_{\text{теор}}(\text{O}_2) &= \frac{5}{4} n(\text{H}_3\text{PO}_4) = 38,26 \text{ кмоль/ч;} \\ n_{\text{практ}}(\text{O}_2) &= 2n_{\text{теор}}(\text{O}_2) = 2 \cdot 38,26 = 76,52 \text{ кмоль/ч.} \end{aligned}$$

Объем кислорода

$$V(\text{O}_2) = n_{\text{практ}}(\text{O}_2) V_0 = 76,52 \cdot 1\,000 \cdot 22,4 = 1\,714\,160 \text{ л,}$$

объем воздуха

$$V_{\text{возд}} = \frac{V(\text{O}_2)}{\chi(\text{O}_2)} = \frac{1\,714\,160}{0,21 \cdot 1\,000} = 8\,163 \text{ м}^3.$$

Ответ: 8 163. Диапазон 7 700–8 600.

Задание 2. (8 баллов) Использование теплоты, выделяющейся при сгорании фосфора, позволяет значительно увеличить энергоэффективность проведения процесса. При стандартных условиях рассчитайте теплоту, которая выделяется в ходе проходящих реакций при образовании указанного в задании № 1 количества фосфорной кислоты. Используйте данные таблицы, ответ выразите в мегаджоулях (мДж) с точностью до целых.

| Вещество | $P_4O_{10(тв)}$ | $H_3PO_{4(ж)}$ | $H_2O_{(ж)}$ |
|-------------------------------|-----------------|----------------|--------------|
| Теплота образования, кДж/моль | 2 984,03 | 1 266,90 | 285,83 |

Решение

В соответствии со следствием из закона Г.И. Гесса теплоту каждой из протекающей реакции можно выразить как разность между суммами теплот образования продуктов и реагентов с учетом стехиометрических коэффициентов:

$$\begin{aligned}\Delta_r Q &= \sum n_i Q_f(\text{прод}) - \sum n_j Q_f(\text{реаг}); \\ \Delta_{r1} Q &= Q_f(P_4O_{10(тв)}) - Q_f(P_{4(тв)}) - 5Q_f(O_{2(г)}); \\ \Delta_{r2} Q &= 4Q_f(H_3PO_{4(ж)}) - 6Q_f(H_2O_{(ж)}) - Q_f(P_4O_{10(тв)}).\end{aligned}$$

С учетом того, что теплоты образования простых веществ равны нулю, получим:

$$\begin{aligned}\Delta_{r1} Q &= 2 984,03 \text{ кДж/моль}; \\ \Delta_{r2} Q &= 4 \cdot 1 266,90 - 6 \cdot 285,83 - 2 984,03 = 368,59 \text{ кДж/моль}.\end{aligned}$$

В расчете на 4 моль фосфорной кислоты

$$Q_R = \Delta_{r1} Q + \Delta_{r2} Q = 3 352,62 \text{ кДж/моль}.$$

Тогда

$$Q = Q_R \cdot \frac{n(H_3PO_4)}{4} = 3 352,62 \cdot \frac{30,61}{4} = 25 658 \text{ МДж.}$$

Ответ: 25 658. Диапазон 25 620–25 700.

Задание 3. (9 баллов) В качестве пищевой добавки ортофосфорная кислота выступает регулятором кислотности и консервантом: кислая среда препятствует размножению микроорганизмов и порче продукта. Именно наличие фосфорной кислоты в составе обуславливает способность газированных напитков растворять ржавчину и очищать бытовые поверхности, о которой снято много интернет-роликов. Впрочем, имеются сведения о стимулировании фосфорной кислотой вымывания кальция из организма и ее негативном влиянии на зубную эмаль при чрезмерном употреблении.



Рассчитайте pH с точностью до десятых 1,25 моль/л раствора фосфорной кислоты, если известно, что константа диссоциации кислоты по первой ступени составляет $7,52 \cdot 10^{-3}$, а диссоциацией по второй и третьей ступени можно пренебречь.

Решение

Запишем уравнение диссоциации фосфорной кислоты по первой ступени:



Выражение для константы диссоциации:

$$K_I = \frac{[\text{H}_2\text{PO}_4^-][\text{H}^+]}{[\text{H}_3\text{PO}_4]},$$

где в квадратных скобках указаны равновесные концентрации. Тогда

$$[\text{H}_2\text{PO}_4^-] = [\text{H}^+], [\text{H}_3\text{PO}_4] = C_0 - [\text{H}^+];$$

$$K_I = \frac{[\text{H}^+]^2}{C_0 - [\text{H}^+]} = 7,52 \cdot 10^{-3}.$$

Решение уравнения при $C_0 = 1,25$ моль/л позволяет найти

$$[\text{H}^+] = 0,093 \text{ моль/л},$$

откуда $pH = -\lg([\text{H}^+]) \approx 1$.

Ответ: 1.

Задача 2.2.4.5. Химию, как и любую науку, делают люди (10 баллов)

Тема: химики России.

Условие

Этот выдающийся ученый начинал как математик и физик: степень кандидата он получил в Казанском университете за сочинение о законах движениях планет и других небесных тел. Химией он стал заниматься по настоянию своего наставника и ректора университета Н. Н. Лобачевского. Так зарождалась Казанская химическая школа.

Будучи мастером органического синтеза, этот исследователь впервые осуществил реакцию бензоиновой конденсации и бензидиновую перегруппировку, получил «летучее горчичное масло» и разработал метод замещения атомов галогенов в органических соединениях водородом. Примечательно, что этот ученый был учителем химии А. Нобеля и даже внес свой вклад в применение нитроглицерина в качестве взрывчатого вещества. Однако мировую известность ему принесло открытие реакции превращения ароматических нитросоединений в аминосоединения, впоследствии названной его именем. Эта реакция позволила получить «бензидам», известный нам как анилин, и впоследствии положила начало промышленному синтезу многочисленных продуктов его превращений. В наши дни из анилина получают красители, лекарственные и взрывчатые вещества, а также полиуретаны. Научные заслуги признаны химиками всего мира. Знаменитый немецкий ученый А. В. Гофман скажет: «Если бы ... не сделал ничего более, кроме превращения нитробензола в анилин, то и тогда его имя осталось бы записанным золотыми буквами в истории химии».

Помимо науки этот академик активно занимался организационной и общественной работой, способствуя развитию органической химии, был одним из организаторов Русского химического общества и первым его президентом. Среди его учеников А. М. Бутлеров, Н. Н. Бекетов, А. П. Бородин, А. Н. Энгельгардт, Л. Н. Шишков. Впоследствии Бутлеров отметит: «Имя ... будут всегда читать те, которым дороги и близки к сердцу успехи и величие науки в России».

Назовите этого ученого:

- А. Александр Павлович Виноградов;
- Б. Александр Михайлович Зайцев;
- С. Николай Дмитриевич Зелинский;
- Д. Карл Карлович Клаус;
- Е. Николай Александрович Меншуткин;
- Ф. Сергей Васильевич Лебедев;
- Г. Николай Николаевич Зинин;
- Н. Владимир Васильевич Марковников;
- И. Дмитрий Иванович Менделеев;
- Ж. Алексей Евграфович Фаворский.

Ответ: Г.

2.2.5. Третья волна. Задачи 8–9 класса

Задачи третьей волны предметного тура по химии за 8–9 класс открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Конкурс: <https://contest.yandex.ru/contest/63469/enter/>.

Задача 2.2.5.1. Вода — ключевой фактор успеха в сити-фермерстве (25 баллов)

Темы: неорганическая химия, количество вещества, расчет по уравнению реакции.

Условие

В стремительно развивающемся мире городского сельского хозяйства, известного как сити-фермерство, вода играет роль не просто ресурса, а ключевого фактора, определяющего успешность выращивания. Однако не только количество воды, но и ее качество напрямую влияет на рост и развитие растений. Это особенно актуально для сити-фермерства, где растения выращиваются в замкнутых системах с ограниченным объемом воды, что делает качество воды первостепенным фактором. Одной из важнейших характеристик качества воды является ее жесткость, которая определяется содержанием в ней солей кальция и магния.

Высокая жесткость воды может создавать ряд проблем при выращивании растений, как в традиционных, так и в гидропонных системах, поскольку приводит к повышению pH раствора. Это делает недоступными для растения многие важные

питательные вещества, например, железо, марганец и цинк. В результате растение испытывает дефицит микроэлементов, что проявляется в замедленном росте, хлорозе — пожелтении листьев, а также повышенной уязвимости к болезням. Информацию о жесткости воды учитывают при приготовлении питательных растворов, так как необходимо знать точную концентрацию избыточных минералов, присутствующих в используемой воде. Кроме того, присутствие солей кальция и магния увеличивает риск отложения нерастворимых солей, который приводит к засорению и блокировке оросительного оборудования.

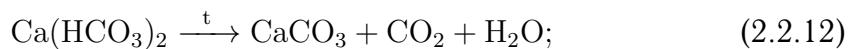


Для устранения временной (гидрокарбонатной) жесткости 1 л воды, содержащей катионы кальция и магния, прокипятили в течение длительного времени. При этом образовался осадок массой 14,2 мг и выделился углекислый газ объемом 3,36 мл (н. у.).

Задание 1. (10 баллов) Определите массу ионов кальция в миллиграммах (мг), обуславливающих временную жесткость воды. Ответ округлите до целых.

Решение

При нагревании гидрокарбонаты разлагаются:



$$n(\text{CO}_2) = \frac{3,36 \text{ мл}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,15 \text{ ммоль.}$$

По уравнению реакции (2.2.12) $n(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = n(\text{CaCO}_3) = n(\text{CO}_2)$.

По уравнению реакции (2.2.13) $n(\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2) = n(\text{MgCO}_3) = n(\text{CO}_2)$.

Пусть $n(\text{CaCO}_3) = x$ ммоль, $n(\text{MgCO}_3) = y$ ммоль, тогда:

$$\begin{cases} 100x + 84y = 14,2, \\ x + y = 0,15. \end{cases} \quad (2.2.14)$$

$x = 0,1$ ммоль, $y = 0,05$ ммоль.

$$m(\text{Ca}^{2+}) = n \cdot M = 0,1 \cdot 40 = 4 \text{ мг.}$$

Ответ: 4.

Задание 2. (10 баллов) Определите массу ионов магния в миллиграммах (мг), обуславливающих временную жесткость воды. Ответ округлите до десятых.

Решение

Продолжая решения предыдущего задания, получим:

$$m(\text{Mg}^{2+}) = n \cdot M = 0,05 \cdot 24 = 1,2 \text{ мг.}$$

Ответ: 1,2. Диапазон 1,2–1,4.

Задание 3. (5 баллов) В соответствии с содержанием ионов кальция и магния (в миллиграммах), определите тип исследуемой воды (при условии, что жесткость обусловлена только гидрокарбонатами) по следующей шкале:

- 0.1. до 3 мг/л — мягкая;
- 0.2. 3–6 мг/л — средней жесткости;
- 0.3. от 6 мг/л — жесткая.

В ответе приведите цифру, соответствующую типу воды.

Решение

Суммарная масса катионов кальция и магния составляет $4 + 1,2 = 5,2$ мг, что обуславливает среднюю жесткость воды.

Ответ: 2.

Задача 2.2.5.2. Питательный раствор для растений (20 баллов)

Темы: смеси веществ, массовая доля, количество вещества.

Условие



Раствор для гидропоники представляет собой специальную жидкость, предназначенную для полноценного питания растений, в которую входят минеральные соли

и другие необходимые компоненты. В традиционном земледелии растения получают все необходимые для роста вещества из почвы, но гидропоника позволяет обходиться без нее, обеспечивая растения питательными веществами непосредственно через корневую систему в водной среде. Это особенно полезно в условиях ограниченного пространства или неблагоприятных почвенных условий. При создании питательного раствора для гидропоники важно учитывать специфику каждой культуры, так как разные растения требуют различных соотношений макро- и микроэлементов. Для достижения оптимального результата в гидропонике необходимо не только правильно подбирать компоненты, но и следить за их концентрацией. Неправильные пропорции могут привести к дефициту или избытку полезных веществ, что негативно скажется на здоровье растений. На протяжении многих лет различные ученые и агрономы разработали множество формул для питательных растворов, адаптированных для разных систем гидропоники. Например, известные формулы, такие как формула Туманова, Кнопа, Кидсона, Пюрдье, Шварца, Пильгрима и другие, каждая из которых имеет свои особенности и преимущества. Эти формулы учитывают не только потребности конкретных культур, но и условия их выращивания, такие как температура, влажность и освещение.

Таким образом, раствор для гидропоники — это не просто смесь, а целая наука, требующая глубоких знаний о потребностях растений и условиях их роста.

Один из растворов для гидропоники — раствор Кнопа — предполагает следующее содержание солей в одном литре раствора:

нитрата кальция — 1 г;
нитрата калия — 0,25 г;
сульфата магния — 0,25 г;
дигидрофосфата калия — 0,25 г;
хлорида калия — 0,125 г.

Рассчитайте массовые доли элементов (в процентах) в полученном растворе. Плотность раствора примите за 1 г/мл.

Задание 1. (4 балла) Вычислите массовую долю элемента кальция в растворе (в процентах). Ответ округлите до тысячных.

Решение

Для определения массовой доли кальция определим количество 1 г нитрата кальция, а затем массу элемента кальция:

$$n(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2) = \frac{1}{164} = 0,006\,097\,5 \text{ моль} \approx 0,0061 \text{ моль};$$

$$m(\text{Ca}) = n \cdot M = 0,006\,097\,5 \cdot 40 = 0,2439 \text{ г};$$

$$m(\text{раствора}) = V \cdot \rho = 1\,000 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = 1\,000 \text{ г};$$

$$\omega(\text{Ca}) = \frac{0,2439 \cdot 100}{1\,000} = 0,024\,39\% \approx 0,024\%.$$

Ответ: $0,024 \pm 0,001$.

Задание 2. (4 балла) Вычислите массовую долю элемента калия в растворе (в процентах). Ответ округлите до тысячных.

Решение

Для определения массовой доли калия необходимо учитывать, что этот элемент содержится в нитрате, дигидрофосфате и хлориде. Определим количество веществ, а затем суммарную массу элемента калия:

$$n(\text{KNO}_3) = \frac{0,25}{101} = 0,002\,475\,2 \text{ моль} \approx 0,0025 \text{ моль};$$

$$n(\text{KH}_2\text{PO}_4) = \frac{0,25}{136} = 0,001\,838\,2 \text{ моль} \approx 0,0018 \text{ моль};$$

$$n(\text{KCl}) = \frac{0,125}{74,5} = 0,001\,677\,8 \text{ моль} \approx 0,0017 \text{ моль};$$

$$n(\text{K}) = 0,002\,475\,2 + 0,001\,838\,2 + 0,001\,677\,8 = 0,005\,991\,2 \approx 0,006 \text{ моль}$$

или, с учетом округления:

$$n(\text{K}) = 0,0025 + 0,0018 + 0,0017 = 0,006 \text{ моль};$$

$$m(\text{K}) = n \cdot M = 0,006 \cdot 39 = 0,234 \text{ г};$$

$$m(\text{раствора}) = V \cdot \rho = 1\,000 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = 1\,000 \text{ г};$$

$$\omega(\text{K}) = \frac{0,234 \cdot 100}{1\,000} = 0,0234\% \approx 0,023\%.$$

Ответ: $0,023 \pm 0,001$.

Задание 3. (4 балла) Вычислите массовую долю элемента магния в растворе (в процентах). Ответ округлите до тысячных.

Решение

Для определения массовой доли магния определим количество сульфата магния, а затем массу элемента магния:

$$n(\text{MgSO}_4) = \frac{0,25}{120} = 0,002\,083\,3 \text{ моль} \approx 0,0021 \text{ моль};$$

$$m(\text{Mg}) = n \cdot M = 0,002\,083\,3 \cdot 24 = 0,049\,999\,2 \approx 0,05 \text{ г};$$

$$m(\text{раствора}) = V \cdot \rho = 1\,000 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = 1\,000 \text{ г};$$

$$\omega(\text{Mg}) = \frac{0,05 \cdot 100}{1\,000} = 0,005\%.$$

Ответ: $0,005 \pm 0,001$.

Задание 4. (4 балла) Вычислите массовую долю элемента азота в растворе (в процентах). Ответ округлите до тысячных.

Решение

Для определения массовой доли азота необходимо учитывать, что этот элемент содержится в нитратах кальция и калия. Определим количество веществ,

а затем суммарную массу элемента азота:

$$n(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2) = \frac{1}{164} = 0,006\ 097\ 5 \text{ моль} \approx 0,006\ 1 \text{ моль};$$

$$n(\text{KNO}_3) = \frac{0,25}{101} = 0,002\ 475\ 2 \text{ моль} \approx 0,0025 \text{ моль};$$

$$n(\text{N}) = 0,006\ 097\ 5 \cdot 2 + 0,002\ 475\ 2 = 0,014\ 670\ 2 \approx 0,0147 \text{ моль}$$

или, с учетом округления:

$$n(\text{N}) = 0,0061 \cdot 2 + 0,0025 = 0,0147 \text{ моль};$$

$$m(\text{N}) = n \cdot M = 0,0147 \cdot 14 = 0,2058 \text{ г};$$

$$m(\text{раствора}) = V \cdot \rho = 1\ 000 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = 1\ 000 \text{ г};$$

$$\omega(\text{N}) = \frac{0,2058 \cdot 100}{1\ 000} = 0,02058\% \approx 0,021\%.$$

Ответ: $0,021 \pm 0,001$.

Задание 5. (4 балла) Вычислите массовую долю элемента фосфора в растворе (в процентах). Ответ округлите до тысячных.

Решение

Для определения массовой доли фосфора определим дигидрофосфата калия, а затем массу элемента фосфора:

$$n(\text{KH}_2\text{PO}_4) = \frac{0,25}{136} = 0,001\ 838\ 2 \text{ моль} \approx 0,0018 \text{ моль};$$

$$m(\text{P}) = n \cdot M = 0,001\ 838\ 2 \cdot 31 = 0,056\ 984\ 2 \approx 0,057 \text{ г};$$

$$m(\text{раствора}) = V \cdot \rho = 1\ 000 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = 1\ 000 \text{ г};$$

$$\omega(\text{P}) = \frac{0,057 \cdot 100}{1\ 000} = 0,0057\% \approx 0,006\%.$$

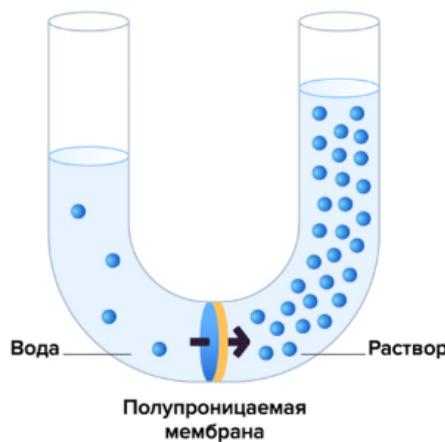
Ответ: $0,006 \pm 0,001$.

Задача 2.2.5.3. Оsmos в биологических системах (20 баллов)

Темы: концентрации, растворы, осмос.

Условие

Рассмотрим такую систему: мембрана, по разные стороны от которой расположены растворы с разным содержанием растворенного вещества.



Поры полупроницаемой мембраны пропускают молекулы растворителя, но не молекулы растворенного вещества. Из-за того, что концентрации растворов различны, растворитель (например, вода) начнет диффундировать (перетекать) из более разбавленного раствора в более концентрированный и разбавлять его до тех пор, пока концентрация не станет равной по обе стороны мембраны. Это явление называют осмосом.

Мембранные клетки используют осмос для контроля поглощения необходимых веществ, поэтому он играет очень важную роль в медицине, биотехнологии и агротехнологии, особенно в гидропонике. Но осмос значим и в быту: с древности с его помощью консервировали пищу — в соленой среде вода вытекает из клеток, что приводит к сморщиванию (весь материал внутри клетки отслаивается от клеточной стенки) и потере жизнедеятельности микроорганизмов (этот процесс называют плазмолизом).

Задание 1. (6 баллов) Рассчитайте массу поваренной соли, необходимую для приготовления 1,75 л рассола для засаливания огурцов (плотность $\rho = 1041 \text{ г/л}$), массовая доля соли в котором составляет 6,0%. Ответ приведите в граммах с точностью до десятых.

Решение

Рассчитаем массу раствора $m_{\text{р-ра}} = \rho V = 1041 \cdot 1,75 = 1821,8 \text{ г}$.

Масса соли составляет:

$$m(\text{NaCl}) = m_{\text{р-ра}} \omega(\text{NaCl}) = 1821,8 \cdot 0,06 = 109,3 \text{ г.}$$

Ответ: 109,3. Диапазон 109–110.

Задание 2. (7 баллов) Осмотическим давлением называют величину избыточного давления на раствор, отделенный от чистого растворителя полупроницаемой мембраной, при котором прекращается осмос, то есть диффузия растворителя через мембрану. Голландский химик Якоб Хендрик Вант-Гофф установил, что для разбавленных растворов осмотическое давление прямо пропорционально молярной концентрации частиц (молекул, ионов) растворенного вещества:

$$\pi = CRT,$$

где π — осмотическое давление, кПа; C — молярная концентрация частиц (молекул, ионов) растворенного вещества, моль/л; R — универсальная газовая постоянная, 8,314 Дж/(моль·К); T — температура, К. Это открытие было отмечено первой Нобелевской премией по химии.

В терапевтических целях иногда используют гипертонические растворы — растворы, осмотическое давление которых превышает давление плазмы крови — в такой среде вода выходит через мембрану из клетки, и клетка сжимается. Гипертонический 10%-й раствор глюкозы вводят для регидратации в случае потери жидкости, для разведения и растворения вводимых парентерально лекарственных препаратов, а также в качестве источника углеводов.



Рассчитайте величину осмотического давления 10%-го водного раствора глюкозы ($C_6H_{12}O_6$) при температуре 25 °C (плотность $\rho = 1\,037$ г/л). Ответ приведите в килопаскалях (кПа) с точностью до целых.

Решение

Рассчитаем массу 1 л раствора:

$$m_{\text{p-pa}} = \rho V = 1\,037 \cdot 1,0 = 1\,037 \text{ г.}$$

Масса глюкозы составляет:

$$m(C_6H_{12}O_6) = m_{\text{p-pa}} \omega(C_6H_{12}O_6) = 1\,037 \cdot 0,10 = 103,7 \text{ г.}$$

Количество вещества глюкозы:

$$n(C_6H_{12}O_6) = \frac{m(C_6H_{12}O_6)}{M(C_6H_{12}O_6)} = \frac{103,7}{6 \cdot 12 + 12 + 6 \cdot 16} = 0,574 \text{ моль,}$$

соответственно молярная концентрация раствора

$$C(C_6H_{12}O_6) = \frac{n(C_6H_{12}O_6)}{V} = \frac{0,574}{1} = 0,574 \text{ моль/л.}$$

Осмотическое давление $\pi = CRT = 0,574 \cdot 8,314 \cdot (273 + 25) = 1\,423,2$ кПа.

Ответ: 1 423. Диапазон 1 403–1 443.

Задание 3. (7 баллов) Полимер поливиниловый спирт является дезинтоксикатором: его водные растворы вводят внутривенно для связывания токсинов из-за способности связывать в комплексы вещества различной природы. Это также способствует улучшению реологических свойств крови. Осмотическое давление раствора полимера мало, поэтому в состав также включают неорганические соли, чтобы сделать раствор препарата изотоничным крови.

Установите молярную массу поливинилового спирта в граммах на моль (г/моль) с точностью до целых, если осмотическое давление раствора, содержащего 6,00 г полимера в 200,0 мл раствора, составляет 6,873 кПа при 37 °C.

Решение

Молярная концентрация раствора полимера:

$$C = \frac{\pi}{RT} = \frac{6,873}{8,314 \cdot (273 + 37)} = 2,67 \text{ ммоль/л,}$$

то есть количество вещества полимера:

$$n = CV = 2,67 \cdot 0,2 = 0,534 \text{ ммоль.}$$

Тогда молярная масса

$$M = \frac{m}{n} = \frac{6,00}{0,534} \cdot 1000 = 11236 \text{ кг/моль.}$$

Ответ: 11 236. Диапазон 11 036–11 436.

Задача 2.2.5.4. Е338: производство и применение (25 баллов)

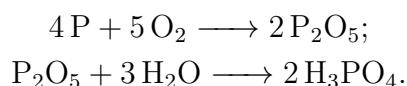
Темы: количество вещества, термохимия, электролитическая диссоциация.

Условие

Ортофосфорная кислота используется в самых разных областях — в производстве удобрений и чистящих средств, для деревообработки и очистки металла от ржавчины, в стоматологии для реставрации зубов и в ювелирном деле при пайке. Также она зарегистрирована в качестве пищевой добавки Е338, которую можно встретить в составе мармеладов, сиропов и напитков, хлебобулочных изделий, сыров и плавленых сырков.

Пищевую фосфорную кислоту производят термическим способом, позволяющим получить концентрированный продукт с меньшим содержанием примесей — для этого расплавленный белый фосфор сжигают в воздухе и подвергают образующийся оксид фосфора (V) гидратации.

Этот процесс упрощенно можно описать следующими реакциями:



Задание 1. (7 баллов) При нормальных условиях рассчитайте объем воздуха, который необходимо подавать в башню (камеру сжигания) в 1 ч для сжигания фосфора, содержащего 1,2% негорючих примесей (расход фосфора 3 750 кг/ч). Ответ выразите в кубических метрах с точностью до целых. Учтите, что для предотвращения образования оксида фосфора (III) в башню подают двухкратный избыток воздуха по сравнению с расчетным количеством.

Решение

В расчете на один час количество вещества фосфора составляет

$$n(P) = \frac{m}{M} = \frac{3750 \cdot 0,988}{31} = 119,52 \text{ кмоль},$$

тогда

$$n_{\text{теор}}(O_2) = \frac{5}{4}n(P) = 149,40 \text{ кмоль};$$

$$n_{\text{практ}}(O_2) = 2n_{\text{теор}}(O_2) = 2 \cdot 149,40 = 298,8 \text{ кмоль}.$$

Объем кислорода:

$$V(O_2) = n_{\text{практ}}(O_2)V_0 = 298,8 \cdot 1\,000 \cdot 22,4 = 6\,693\,120 \text{ л},$$

объем воздуха

$$V_{\text{возд}} = \frac{V(O_2)}{\chi(O_2)} = \frac{6\,693\,120}{0,21 \cdot 1\,000} = 31\,872 \text{ м}^3.$$

Ответ: 31 872. Диапазон 29 640–34 100.

Задание 2. (6 баллов) Рассчитайте массу 80%-го раствора фосфорной кислоты, образующегося в башне, в килограммах в час (кг/ч) с точностью до целых.

Решение

Количество вещества фосфорной кислоты соответствует количеству фосфора $n(H_3PO_4) = n(P) = 119,52 \text{ кмоль/ч}$, тогда:

$$m(H_3PO_4) = n(H_3PO_4)M = 119,52 \cdot (3 + 31 + 16 \cdot 4) = 11\,713 \text{ кг/ч};$$

$$m_{\text{п-па}}(H_3PO_4) = \frac{m(H_3PO_4)}{\omega(H_3PO_4)} = \frac{11\,713}{0,80} = 14\,641 \text{ кг/ч}.$$

Ответ: 14 641. Диапазон 14 637–14 645.

Задание 3. (6 баллов) Использование теплоты, выделяющейся при сгорании фосфора, позволяет значительно увеличить энергоэффективность проведения процесса. Рассчитайте массу угля, содержащего 3% негорючих примесей, которую удастся сэкономить при полном использовании тепла сгорания фосфора. Ответ выразите в килограммах в час (кг/ч) с точностью до целых. Теплота сгорания белого фосфора в указанных условиях составляет 1 764 кДж/моль, углерода 394 кДж/моль.

Решение

Количество теплоты, выделяющейся при сгорании фосфора, составляет

$$Q = Q_{Pn}(P) = 119,52 \cdot 1764 = 210\,833 \text{ МДж/ч},$$

тогда

$$\begin{aligned} n(C) &= \frac{Q}{Q_C} = \frac{210\,833 \cdot 1\,000}{394} = 535\,110 \text{ моль/ч;} \\ m(C) &= n(C)M = 535\,110 \cdot 12 = 6\,421 \text{ кг/ч;} \\ m_{\text{уголь}} &= \frac{m(C)}{\omega(C)} = \frac{6\,421}{0,90} = 6\,620 \text{ кг/ч.} \end{aligned}$$

Ответ: 6 620. Диапазон 6 616–6 624.

Задание 4. (6 баллов) В качестве пищевой добавки ортофосфорная кислота выступает регулятором кислотности и консервантом: кислая среда препятствует размножению микроорганизмов и порче продукта. Именно наличие фосфорной кислоты в составе обуславливает способность газированных напитков растворять ржавчину и очищать бытовые поверхности, о которой снято много интернет-роликов.

Впрочем, имеются сведения о стимулировании фосфорной кислотой вымывания кальция из организма и ее негативном влиянии на зубную эмаль при чрезмерном употреблении.



Рассчитайте концентрацию ионов водорода в миллимоль на литр (ммоль/л) с точностью до десятых в 0,015 моль/л растворе фосфорной кислоты, если известно, что степень диссоциации кислоты по первой ступени составляет 50%, а диссоциацией по второй и третьей ступени можно пренебречь.

Решение

Запишем уравнение диссоциации фосфорной кислоты по первой ступени:



Степень диссоциации представляет собой отношение количества вещества, распавшегося на ионы, к общему количеству растворенного вещества:

$$\alpha_I = \frac{n(\text{H}_2\text{PO}_4^-)}{n_0(\text{H}_3\text{PO}_4)}.$$

В расчете на 1 л раствора $n_0(\text{H}_3\text{PO}_4) = CV = 0,015 \cdot 1 = 0,015$ моль,

$$\begin{aligned} n(\text{H}^+) &= n(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = \alpha_I n_0(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,50 \cdot 0,015 = \\ &= 0,0075 \text{ моль} = 7,5 \text{ ммоль.} \end{aligned}$$

Ответ: 7,5.

Задача 2.2.5.5. Ученый (10 баллов)

Тема: химики России.

Условие

В стенах Казанского университета, где начинал свой путь будущий ученый, царила атмосфера, далекая от современного представления о химической лаборатории. Два рабочих стола, калильные печи, одна большая печь и песчаная баня без тяги — вот и весь скромный арсенал для проведения экспериментов. Опыты, требующие вытяжной вентиляции, проводились прямо на улице, независимо от времени года. Холодная зима или палящее солнце — наука не знала границ. В 1853 году отец ученого, желая обеспечить сыну более стабильное будущее, уговаривал его сменить направление деятельности и отказал во всяческой материальной поддержке. Но, вопреки всем уговорам, юноша, движимый неугасимой жаждой познания, твердо решил посвятить себя науке. В 1844 году он поступил в Петербургский университет, но уже через три года перешел в Казанский, где стал учеником знаменитого российского химика-органика Николая Николаевича Зинина. Казалось бы, естественным продолжением было бы изучение органической химии, следуя по стопам своего учителя. Однако молодой ученый, не ограничиваясь рамками одного направления, увлекся физической химией, тогда еще только формирующейся областью знания. И хотя немцы утверждают, что приоритет в развитии физической химии принадлежит Вильгельму Оствальду, наш ученый уже в 1865 году, когда Оствальд был еще ребенком, читал студентам систематический курс по этой дисциплине.

Важным фактором, способствовавшим его успехам, была не только страсть к науке, но и способность использовать подручные средства для достижения поставленных задач. Так, исследуя явление алюминотермии, он прибегнул к изогнутому ружейному стволу в качестве реакционного сосуда. Ученый также изучал восстановительные способности других металлов, что позволило ему разработать «вытеснительный ряд металлов». Этот ряд, составленный по возрастанию активности металлов, стал неотъемлемой частью химии, помогая прогнозировать и анализировать химические реакции.

По мнению И. А. Каблукова, имя этого ученого «будет стоять в истории науки рядом с именами Д. И. Менделеева и А. М. Бутлерова и будет занесено золотыми буквами в историю науки в России».

Назовите этого ученого:

- А. Федор Федорович Бейльштейн;
- Б. Николай Николаевич Бекетов;
- С. Александр Порфириевич Бородин;
- Д. Владимир Иванович Вернадский;

-
- Е. Александр Абрамович Воскресенский;
 - Ф. Николай Дмитриевич Зелинский;
 - Г. Сергей Васильевич Лебедев;
 - Н. Юрий Анатольевич Овчинников;
 - И. Игорь Михайлович Скурихин;
 - Д. Алексей Евграфович Фаворский.

Ответ: В.

2.2.6. Третья волна. Задачи 10–11 класса

Задачи третьей волны предметного тура по химии за 10–11 класс открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Конкурс: <https://contest.yandex.ru/contest/63486/enter/>.

Задача 2.2.6.1. Вода — ключевой фактор успеха в сити-фермерстве (30 баллов)

Темы: неорганическая химия, количество вещества, расчет по уравнению реакции.

Условие

В стремительно развивающемся мире городского сельского хозяйства, известного как сити-фермерство, вода играет роль не просто ресурса, а ключевого фактора, определяющего успешность выращивания.



Однако не только количество воды, но и ее качество напрямую влияет на рост и развитие растений. Это особенно актуально для сити-фермерства, где растения выращиваются в замкнутых системах с ограниченным объемом воды, что делает качество воды первостепенным фактором. Одной из важнейших характеристик качества воды является ее жесткость, которая определяется содержанием в ней солей кальция и магния.

Высокая жесткость воды может создавать ряд проблем при выращивании растений, как в традиционных, так и в гидропонных системах. Высокое содержание кальция и магния в воде может приводить к повышению рН раствора, что делает недоступными для растения многие питательные вещества, например, железо, марганец и цинк. В результате растение испытывает дефицит микроэлементов, что проявляется в замедленном росте, хлорозе — пожелтении листьев, а также повышенной уязвимости к болезням. Информацию о жесткости воды учитывают при приготовлении питательных растворов, так как необходимо знать точную концентрацию избыточных минералов, присутствующих в используемой воде. Кроме того, присутствие солей кальция и магния увеличивает риск отложения нерастворимых солей, который приводит к засорению и блокировке оросительного оборудования.

Для определения жесткости воды можно использовать метод комплексонометрического титрования, который основывается на реакциях комплексообразования между ионами, содержащимися в анализируемом растворе, и титрантом. В данном случае титрантом является раствор ЭДТА (этилендиаминтетрауксусной кислоты). ЭДТА образует стабильные комплексные соединения с ионами кальция и магния в соотношении 1 : 1. Это позволяет точно измерять количество этих ионов в воде, что является важным для оценки жесткости. Процесс титрования включает в себя поэтапное добавление титранта к образцу воды, пока не произойдет полное взаимодействие между ионами кальция и магния и ЭДТА. Завершение реакции фиксируется с помощью металлоиндикаторов, таких как эриохром черный Т и мурексид. Эти индикаторы изменяют цвет в зависимости от наличия ионов кальция и магния, что позволяет визуально определить момент окончания титрования. Для раздельного определения содержания кальция и магния в воде проводят два титрования в разных условиях. В одном в качестве индикатора используется эриохром черный Т. В этом случае в результате титрования определяется общее количество ионов кальция и магния. Во втором подходе используется мурексид, который также реагирует с обоими ионами, но с некоторыми модификациями. Перед титрованием в раствор добавляется едкий натр (NaOH), что приводит к осаждению магния в виде гидроксида. Таким образом, в этом случае титруется только кальций, а содержание магния можно вычислить по разнице. Титрование обычно проводят трижды для повышения точности результатов, после чего рассчитывается средний объем использованного титранта. Расчет содержания кальция и магния осуществляют по формулам:

$$m(\text{Ca}^{2+})_{\text{в}} \text{ мг в 1 л} = \frac{C_{\text{ЭДТА}} \cdot V_{\text{ЭДТА1}} \cdot 1000 \cdot M_{\text{Ca}^{2+}}}{V_{\text{пробы}}};$$

$$m(\text{Mg}^{2+})_{\text{в}} \text{ мг в 1 л} = \frac{C_{\text{ЭДТА}} \cdot (V_{\text{ЭДТА2}} - V_{\text{ЭДТА1}}) \cdot 1000 \cdot M_{\text{Mg}^{2+}}}{V_{\text{пробы}}},$$

где

- $C_{\text{ЭДТА1}}$ — молярная концентрация ЭДТА, моль/л;
- $V_{\text{ЭДТА1}}$ — средний объем ЭДТА, пошедший на титрование с мурексидом, мл;
- $V_{\text{ЭДТА2}}$ — средний объем ЭДТА, пошедший на титрование с эриохромом черным Т, мл;
- $M_{\text{Ca}^{2+}}, M_{\text{Mg}^{2+}}$ — молярные массы кальция и магния, г/моль.

Задание 1. (7 баллов) Определите в миллиграммах массу ионов кальция, содержащуюся в 1 л воды, если при трехкратном титровании пробы воды объемом 100 мл с металлоиндикатором мурексидом 0,005 М раствором ЭДТА при $pH = 12$ до перехода красной окраски раствора в фиолетовую объемы ЭДТА составили: 2,9 мл, 2,7 мл, 2,8 мл. Ответ округлите до десятых.

Решение

Комплексометрическое титрование воды раствором ЭДТА с использованием мурексида при $pH = 12$ позволяет определить содержание кальция при совместном нахождении в пробе магния, так как при данном значении pH магний осаждается в виде гидроксида.

Средний объем титранта, пошедшего на титрование, составляет

$$V_{\text{ЭДТА1}} = \frac{2,9 + 2,7 + 2,8}{3} = 2,8 \text{ мл.}$$

Массу кальция определяем по формуле:

$$\begin{aligned} m(\text{Ca}^{2+}) \text{ в мг в 1 л} &= \frac{C_{\text{ЭДТА1}} \cdot V_{\text{ЭДТА1}} \cdot 1000 \cdot M_{\text{Ca}^{2+}}}{V_{\text{пробы}}} = \\ &= \frac{0,005 \cdot 2,8 \cdot 1000 \cdot 40}{100} = 5,6 \text{ мг.} \end{aligned}$$

Ответ: 5,6. Диапазон 5,4–5,8.

Задание 2. (7 баллов) Определите в миллиграммах массу ионов магния, содержащуюся в 1 л воды, если при трехкратном титровании пробы воды объемом 100 мл с металлоиндикатором мурексидом 0,005 М раствором ЭДТА при $pH = 12$ до перехода красной окраски раствора в фиолетовую объемы ЭДТА составили: 2,9 мл, 2,7 мл, 2,8 мл; а с металлоиндикатором эриохромом черным Т 0,005 М раствором ЭДТА при $pH = 10$ до перехода красной окраски в синюю объемы ЭДТА составили: 4,5 мл, 4,4 мл, 4,3 мл. Ответ округлите до сотых.

Решение

Комплексометрическое титрование воды раствором ЭДТА с использованием эриохрома черного Т при $pH = 10$ позволяет определить суммарное содержание кальция и магния в пробе, магний рассчитывают по разнице с предыдущим титрованием.

Средний объем титранта, пошедшего на титрование, составляет

$$V_{\text{ЭДТА1}} = \frac{4,5 + 4,4 + 4,3}{3} = 4,4 \text{ мл.}$$

Массу магния определяем по формуле:

$$\begin{aligned} m(\text{Mg}^{2+}) \text{ в мг в 1 л} &= \frac{C_{\text{ЭДТА1}} \cdot (V_{\text{ЭДТА2}} - V_{\text{ЭДТА1}}) \cdot 1000 \cdot M_{\text{Mg}^{2+}}}{V_{\text{пробы}}} = \\ &= \frac{0,005 \cdot (4,4 - 2,8) \cdot 1000 \cdot 24}{100} = 1,92 \text{ мг.} \end{aligned}$$

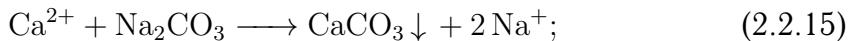
Ответ: 1,92. Диапазон 1,90–1,94.

Задание 3. (6 баллов) При необходимости умягчить воду можно воспользоваться одним из химических методов устранения жесткости воды — добавлением к воде раствора соды. При этом ионы кальция и магния осаждаются в виде

нерасторимых солей. Определите массу осадка, образовавшегося при добавлении к 10 л воды, содержащей $7,525 \cdot 10^{20}$ ионов кальция и $9,632 \cdot 10^{20}$ ионов магния, раствора кальцинированной соды, взятой в избытке. Ответ выразите в миллиграммах (мг) и округлите до целых.

Решение

Кальцинированная сода — карбонат натрия, катионы кальция и магния образуют с ней нерастворимые карбонаты:



$$n(\text{Ca}^{2+}) = \frac{7,525 \cdot 10^{20}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,00125 \text{ моль} = 1,25 \text{ ммоль};$$

$$n(\text{Mg}^{2+}) = \frac{9,632 \cdot 10^{20}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,0016 \text{ моль} = 1,6 \text{ ммоль};$$

$$n(\text{CaCO}_3) = n(\text{Ca}^{2+}) = 1,25 \text{ ммоль};$$

$$m(\text{CaCO}_3) = n \cdot M = 1,25 \cdot 100 = 125 \text{ мг};$$

$$n(\text{MgCO}_3) = n(\text{Mg}^{2+}) = 1,16 \text{ ммоль};$$

$$m(\text{MgCO}_3) = n \cdot M = 1,16 \cdot 84 = 134,4 \text{ мг};$$

$$m(\text{осадка}) = 125 + 134,4 = 259,4 \text{ мг} \approx 259 \text{ мг в 10 л воды.}$$

Ответ: 259. Диапазон 258–260.

Задание 4. (10 баллов) Для устранения временной жесткости воды, обусловленной содержанием гидрокарбонатов кальция и магния, 1 л воды прокипятили в течение длительного времени в закрытом сосуде. При этом образовался осадок массой 28,4 мг и выделился углекислый газ объемом 6,72 мл (н. у.). Определите суммарную массу ионов кальция и магния, устраниенных кипячением из 1 л воды. Ответ выразите в миллиграммах (мг) и округлите до десятых.

Решение

При нагревании гидрокарбонаты кальция и магния разлагаются по формулам 2.2.15 и 2.2.16.

$$n(\text{CO}_2) = \frac{6,72 \text{ мл}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,3 \text{ ммоль.}$$

Пусть $n(\text{CaCO}_3) = x$ ммоль, $n(\text{MgCO}_3) = y$ ммоль.

По уравнению (2.2.15) $n(\text{CO}_2) = n(\text{CaCO}_3) = x$ ммоль.

По уравнению (2.2.16) $n(\text{CO}_2) = n(\text{MgCO}_3) = y$ ммоль, тогда:

$$\begin{cases} 100x + 84y = 28,4, \\ x + y = 0,3. \end{cases}$$

$x = 0,2$ ммоль, $y = 0,1$ ммоль.

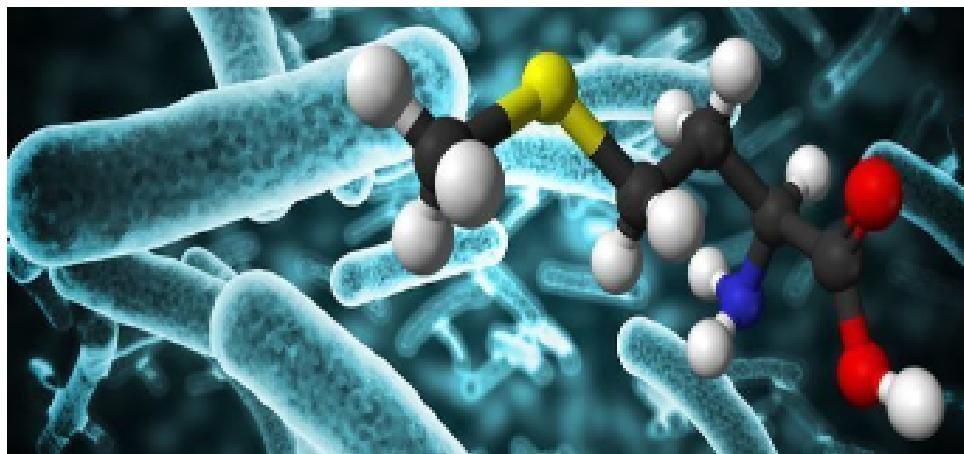
$$\begin{aligned}
 n(\text{Ca}^{2+}) &= n(\text{CaCO}_3) = 0,2 \text{ ммоль}; \\
 n(\text{Mg}^{2+}) &= n(\text{MgCO}_3) = 0,1 \text{ ммоль}; \\
 m(\text{Ca}^{2+}) &= n \cdot M = 0,2 \cdot 40 = 8 \text{ мг}; \\
 m(\text{Mg}^{2+}) &= n \cdot M = 0,1 \cdot 24 = 2,4 \text{ мг}; \\
 m(\text{Ca}^{2+}) + m(\text{Mg}^{2+}) &= 8 + 2,4 = 10,4 \text{ мг}.
 \end{aligned}$$

Ответ: 10,4. Диапазон 10,2–10,6.

Задача 2.2.6.2. Аминокислоты в биотехнологиях (15 баллов)

Темы: органическая химия, расчет по уравнению реакции, биохимия.

Условие



Аминокислоты играют ключевую роль в современных биотехнологиях, становясь основой для множества инновационных процессов и продуктов. Их применение охватывает широкий спектр областей, среди которых особенно выделяются производство вакцин, создание терапевтических белков и разработка различных биофармацевтических препаратов. Например, в последние годы значительное внимание уделяется использованию аминокислот в разработке мРНК-вакцин, которые продемонстрировали свою эффективность в борьбе с COVID-19. Кроме того, аминокислоты активно задействуются в производстве моноклональных антител, которые применяются для лечения различных заболеваний, включая рак и аутоиммунные расстройства. Эти антитела, созданные на основе специфических аминокислотных последовательностей, способны целенаправленно связываться с определенными молекулами в организме, что делает их мощным инструментом в терапии. Исследования в области аминокислот не ограничиваются только медициной. Они также находят применение в сельском хозяйстве, где аминокислоты используются для создания высококачественных кормов, способствующих улучшению здоровья животных и увеличению продуктивности. В сфере пищевых технологий аминокислоты применяются для улучшения вкусовых качеств продуктов, а также для обогащения их питательными веществами. С учетом быстрого развития науки и технологий, можно ожидать, что

в будущем мы увидим новые, ранее невообразимые, сферы и методы применения аминокислот.

Небольшой фрагмент белка *A*, состоящий из двух аминокислот массой 10,8 г, сожгли в достаточном количестве кислорода. В процессе горения образовалось 11,2 л (н. у.) углекислого газа, 9 г воды и 1,12 л азота (н. у.). В присутствии соляной кислоты исходное вещество подверглось гидролизу с образованием единственной соли.

Задание 1. (8 баллов) Определите молярную массу исходного вещества *A* в граммах на моль (г/моль). Ответ запишите с точностью до целых.

Решение

Фрагмент из двух аминокислот — дипептид. Определим количества образующихся в результате сжигания дипептида веществ и количества элементов, входящих в его состав.

$$\begin{aligned}
 n(\text{CO}_2) &= n(\text{C}) = \frac{11,2}{22,4} = 0,5 \text{ моль}; m(\text{C}) = n \cdot M = 0,5 \cdot 12 = 6 \text{ г}; \\
 n(\text{H}_2\text{O}) &= \frac{9}{18} = 0,5 \text{ моль}; n(\text{H}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ моль}; \\
 m(\text{H}) &= n \cdot M = 1 \cdot 1 = 1 \text{ г}; \\
 n(\text{N}_2) &= \frac{1,12}{22,4} = 0,05 \text{ моль}; n(\text{N}) = 2 \cdot n(\text{N}_2) = 2 \cdot 0,05 = 0,1 \text{ моль}; \\
 m(\text{N}) &= n \cdot M = 0,1 \cdot 14 = 1,4 \text{ г}; \\
 m(\text{O}) &= 10,8 - 6 - 1 - 1,4 = 2,4 \text{ г}; \\
 n(\text{O}) &= \frac{2,4}{16} = 0,15 \text{ моль}; \\
 n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) : n(\text{N}) &= 0,5 : 1 : 0,15 : 0,1 = 5 : 10 : 1,5 : 1 (\times 2); \\
 n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) : n(\text{N}) &= 10 : 20 : 3 : 2.
 \end{aligned}$$

Молекулярная формула дипептида — $\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_3\text{N}_2$.

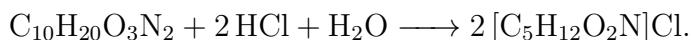
Молекулярная масса дипептида $M(\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_3\text{N}_2) = 216$ г/моль.

Ответ: 216. Диапазон 215–217.

Задание 2. (5 баллов) Определите, какая аминокислота образует фрагмент белка *A*, укажите ее тривиальное название.

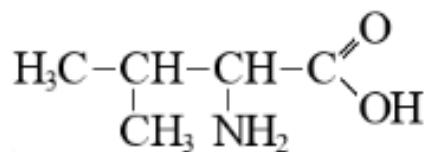
Решение

При гидролизе дипептида $\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_3\text{N}_2$ образуется только одна соль, следовательно, дипептид состоит из одинаковых аминокислот, содержащих по 5 атомов углерода.



Молекулярная формула аминокислоты, соответствующая образовавшейся соли — $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{O}_2\text{N}$.

Аминокислота, имеющая брутто-формулу $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{O}_2\text{N}$ — валин.



Валин относится к группе незаменимых аминокислот, то есть эта аминокислота не синтезируется в организме человека и должна поступать с пищей.

L-валин — это аминокислота, которая коммерчески важна, его можно использовать в качестве кормовой добавки для животных, ингредиента косметических средств и специальных питательных веществ в фармацевтической и сельскохозяйственной областях. *L*-валин может улучшать функцию лактации у племенных животных и рассматривался как одна из лимитирующих аминокислот в кормах для домашней птицы и свиней. Добавление *L*-валина может придать косметическим средствам увлажняющую функцию и стимулировать синтез коллагена. В фармацевтической промышленности *L*-валин широко используется в качестве компонента для инфузий аминокислот третьего поколения и обладает высокой устойчивостью к синтезу и разложению мышечного белка; он играет важную роль в фармакологических питательных веществах для пациентов с хроническими заболеваниями печени.

Ответ: валин (принимать Валин / ВАЛИН).

Задание 3. (2 балла) Среди перечисленных реакций выберите ту, с помощью которой можно отличать растворы пептидов от растворов аминокислот:

- 0.1. нингидриновая;
- 0.2. биуретовая;
- 0.3. ксантопротеиновая;
- 0.4. цистеиновая.

В ответе укажите только номер реакции.

Решение

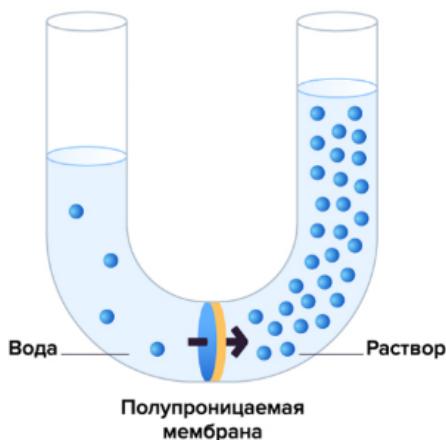
Фрагмент белка, то есть пептид, можно обнаружить с помощью биуретовой реакции — качественной реакции на пептидную связь.

Ответ: 2.

Задача 2.2.6.3. Осмос: от агрохимии и медицины до новых материалов (20 баллов)

Темы: концентрации, растворы, осмос.

Условие



Рассмотрим такую систему: мембрана, по разные стороны от которой расположены растворы с разным содержанием растворенного вещества. Поры полупроницаемой мембраны пропускают молекулы растворителя, но не молекулы растворенного вещества. Из-за того, что концентрации растворов различны, растворитель (например, вода) начнет дифундировать (перетекать) из более разбавленного раствора в более концентрированный и разбавлять его до тех пор, пока концентрация не станет равной по обе стороны мембраны. Это явление называют осмосом.

Оsmотическим давлением называют величину избыточного давления на раствор, отделенный от чистого растворителя полупроницаемой мембраной, при котором прекращается осмос, то есть диффузия растворителя через мембрану. Голландский химик Якоб Хендрик Вант-Гофф установил, что для разбавленных растворов осмотическое давление прямо пропорционально молярной концентрации частиц (молекул, ионов) растворенного вещества:

$$\pi = CRT,$$

где π — осмотическое давление, кПа; C — молярная концентрация частиц (молекул, ионов) растворенного вещества, моль/л; R — универсальная газовая постоянная, 8,314 Дж/(моль·К); T — температура, К. Это открытие было отмечено первой Нобелевской премией по химии.

Мембранные клетки используют осмос для контроля поглощения необходимых веществ, поэтому он играет очень важную роль в медицине, биотехнологии и агротехнологии, особенно в гидропонике. Осмос помогает растениям расти и всасывать воду корневой системой — поскольку в клеточном соке концентрация солей и сахаров выше, чем в почвенном растворе. Это важно учитывать при внесении удобрений — если осмотическое давление почвенного раствора станет слишком большим, поступление воды в растение прекратится, и оно погибнет (например, как в засоленных почвах).

Задание 1. (6 баллов) Рассчитайте осмотическое давление раствора удобрения (380 г мочевины в 15 л воды) при температуре 22 °С. Ответ выразите в килопаскалях (кПа) с точностью до целых.

Решение

Количество вещества мочевины:

$$n(\text{NH}_2\text{CONH}_2) = \frac{m(\text{NH}_2\text{CONH}_2)}{M} = \frac{380}{16 \cdot 2 + 28} = 6,3 \text{ моль},$$

соответственно молярная концентрация раствора

$$C(\text{NH}_2\text{CONH}_2) = \frac{n(\text{NH}_2\text{CONH}_2)}{V} = \frac{6,3}{15} = 0,42 \text{ моль/л.}$$

Оsmотическое давление $\pi = CRT = 0,42 \cdot 8,314 \cdot (273 + 22) = 1030 \text{ кПа.}$

Ответ: 1030. Диапазон 1015–1045.

Задание 2. (7 баллов) В медицине при внутривенном введении используют гипертонические растворы — растворы, осмотическое давление которых превышает давление плазмы крови — в такой среде вода выходит через мембрану из клетки, и клетка сжимается.

Гипертонический раствор хлорида натрия применяют для снятия отека в офтальмологии, как осмотический диуретик, для коррекции состояния систем организма при операциях и в реанимационных целях.



Рассчитайте массовую долю хлорида натрия в разбавленном растворе, осмотическое давление которого при температуре 37 °C составляет 6 661 кПа (плотность примите $\rho = 1050 \text{ г/л}$). Ответ запишите в процентах с точностью до десятых.

Решение

Рассчитаем концентрацию частиц в растворе исходя из величины осмотического давления:

$$C = \frac{\pi}{RT} = \frac{6661}{8,314 \cdot (273 + 37)} = 2,58 \text{ моль/л.}$$

Хлорид натрия — электролит, диссоциирующий в растворе на ионы Na^+ и Cl^- . Поскольку точная степень диссоциации в информации не указана, а раствор является разбавленным, ее можно принять равной 100%.

Тогда концентрация хлорида натрия составляет:

$$C(\text{NaCl}) = \frac{C}{2} = \frac{2,58}{2} = 1,29 \text{ моль/л,}$$

а масса соли в 1 л раствора:

$$m(\text{NaCl}) = n(\text{NaCl}) \cdot M = C(\text{NaCl}) \cdot V \cdot M = 1,29 \cdot 1 \cdot (23 + 35,5) = 75,47 \text{ г.}$$

Массовая доля в растворе

$$\omega = \frac{m(\text{NaCl})}{m_{\text{p-pa}}} = \frac{75,47}{1 \cdot 1050} \cdot 100 = 7,2\%.$$

Ответ: 7,2. Диапазон 7,0–7,4.

Задание 3. (7 баллов) Измерение осмотического давления является одним из распространенных методов определения молекулярной массы полимера, влияющей на его свойства. Например, поливинилацетат с высокой молекулярной массой обладает более высокой твердостью и температурой стеклования, при меньшей растворимости в органических растворителях. Мембранный осмометр основан на измерении разности давлений — например, по разности высот в капиллярах раствора и растворителя, поскольку гидростатическое давление уравновешивает осмотическое.

Установите молекулярную массу поливинилхлорида, если разность высот жидкости в осмометре для его раствора в ацетоне, содержащего 0,2 г в 100 мл раствора, составляет 8,1 см при 25 °C. Ответ запишите в килограммах на моль (кг/моль) с точностью до десятых. Плотность ацетона и раствора 791 кг/м³.

Решение

Гидростатическое давление столба жидкости уравновешивает осмотическое давление, для удобства расчета используем единицы измерения системы СИ:

$$\pi = CRT = \rho g \Delta h = 791 \cdot 9,8 \cdot (8,1 \cdot 10^{-2}) = 627,9 \text{ Па.}$$

Молярная концентрация раствора полимера составляет

$$C = \frac{\pi}{RT} = \frac{627,9}{8,314 \cdot (273 + 25)} = 0,253 \text{ моль/м}^3,$$

то есть количество вещества полимера

$$n = CV = 0,253 \cdot \frac{0,1}{1000} = 0,025 \text{ ммоль.}$$

Тогда молекулярная масса

$$M = \frac{m}{n} = \frac{0,2}{0,025} = 7,9 \text{ кг/моль.}$$

Ответ: 7,9. Диапазон 7,5–8,3.

Задача 2.2.6.4. Е338: производство и применение (25 баллов)

Темы: количество вещества, термохимия, химическое равновесие.

Условие

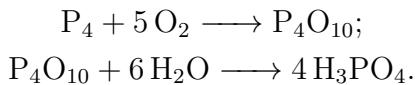
Ортофосфорная кислота используется в самых разных областях — в производстве удобрений и чистящих средств, для деревообработки и очистки металла от ржавчины, в стоматологии для реставрации зубов и в ювелирном деле при пайке. Также она зарегистрирована в качестве пищевой добавки Е338, которую можно встретить в составе мармеладов, сиропов и напитков, хлебобулочных изделий, сыров и плавленых сырков.

Пищевую фосфорную кислоту производят термическим способом, позволяющим получить концентрированный продукт с меньшим содержанием примесей — для этого белый фосфор сжигают в воздухе и подвергают образующийся оксид фосфора (V) гидратации.

Задание 1. (8 баллов) При нормальных условиях рассчитайте объем воздуха, который необходимо подавать в башню (камеру сжигания) в 1 ч для сжигания фосфора, если известно, что расход образующегося в башне 80%-го раствора фосфорной кислоты составляет 4 500 кг/ч. Ответ выразите в кубических метрах с точностью до целых. Учтите, что для предотвращения образования оксида фосфора (III) в башню подают двукратный избыток воздуха по сравнению с расчетным количеством.

Решение

Запишем уравнения происходящих реакций:



Масса фосфорной кислоты:

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = m_{\text{p-pa}} \omega_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 4\,500 \cdot 0,80 = 3\,600 \text{ кг/ч.}$$

Количество вещества фосфорной кислоты:

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{M} = \frac{3\,600}{3 + 31 + 16 \cdot 4} = 36,73 \text{ кмоль/ч,}$$

что соответствует расчетному количеству вещества кислорода

$$\begin{aligned} n_{\text{теор}}(\text{O}_2) &= \frac{5}{4} n(\text{H}_3\text{PO}_4) = 45,92 \text{ кмоль/ч;} \\ n_{\text{практ}}(\text{O}_2) &= 2n_{\text{теор}}(\text{O}_2) = 2 \cdot 45,92 = 91,84 \text{ кмоль/ч.} \end{aligned}$$

Объем кислорода

$$V(\text{O}_2) = n_{\text{практ}}(\text{O}_2) V_0 = 91,84 \cdot 1\,000 \cdot 22,4 = 2\,057\,143 \text{ л,}$$

объем воздуха

$$V_{\text{возд}} = \frac{V(\text{O}_2)}{\chi(\text{O}_2)} = \frac{2\,057\,143}{0,21 \cdot 1\,000} = 9\,796 \text{ м}^3.$$

Ответ: 9 796. Диапазон 9 000–10 600.

Задание 2. (8 баллов) Использование теплоты, выделяющейся при сгорании фосфора, позволяет значительно увеличить энергоэффективность проведения процесса. При стандартных условиях рассчитайте теплоту, которая выделяется в ходе проходящих реакций при образовании указанного в задании № 1 количества фосфорной кислоты. Используйте данные таблицы, ответ запишите в мегаджоулях (МДж).

| Вещество | P ₄ O _{10(тв)} | H ₃ PO _{4(ж)} | H ₂ O _(ж) |
|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Теплота образования, кДж/моль | 2 984,03 | 1 266,90 | 285,83 |

Решение

В соответствии со следствием из закона Г. И. Гесса, теплоту каждой протекающей реакции можно выразить как разность между суммами теплот образования продуктов и реагентов с учетом стехиометрических коэффициентов:

$$\begin{aligned}\Delta_r Q &= \sum n_i Q_f(\text{прод}) - \sum n_j Q_f(\text{реаг}); \\ \Delta_{r1} Q &= Q_f(\text{P}_4\text{O}_{10(\text{тв})}) - Q_f(\text{P}_{4(\text{тв})}) - 5Q_f(\text{O}_{2(\text{г})}); \\ \Delta_{r2} Q &= 4Q_f(\text{H}_3\text{PO}_{4(\text{ж})}) - 6Q_f(\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}) - Q_f(\text{P}_4\text{O}_{10(\text{тв})}).\end{aligned}$$

С учетом того, что теплоты образования простых веществ равны нулю, получим:

$$\begin{aligned}\Delta_{r1} Q &= 2 984,03 \text{ кДж/моль}; \\ \Delta_{r2} Q &= 4 \cdot 1 266,90 - 6 \cdot 285,83 - 2 984,03 = 368,59 \text{ кДж/моль}.\end{aligned}$$

В расчете на 4 моль фосфорной кислоты

$$Q_R = \Delta_{r1} Q + \Delta_{r2} Q = 3 352,62 \text{ кДж/моль.}$$

Тогда

$$Q = Q_R \cdot \frac{n(\text{H}_3\text{PO}_4)}{4} = 3 352,62 \cdot \frac{36,73}{4} = 30 785 \text{ МДж.}$$

Ответ: 30 785. Диапазон 30 700–30 870.

Задание 3. (9 баллов) В качестве пищевой добавки ортофосфорная кислота выступает регулятором кислотности и консервантом: кислая среда препятствует размножению микроорганизмов и порче продукта.



Именно наличие фосфорной кислоты в составе обуславливает способность газированных напитков растворять ржавчину и очищать бытовые поверхности,

о которой снято много интернет- роликов. Впрочем, имеются сведения о стимулировании фосфорной кислотой вымывания кальция из организма и ее негативном влиянии на зубную эмаль при чрезмерном употреблении.

Рассчитайте pH 0,75 моль/л раствора фосфорной кислоты, если известно, что константа диссоциации кислоты по первой ступени составляет $7,52 \cdot 10^{-3}$, а диссоциацией по второй и третьей ступени можно пренебречь. Ответ приведите в моль на литр (моль/л).

Решение

Запишем уравнение диссоциации фосфорной кислоты по первой ступени:



Выражение для константы диссоциации:

$$K_I = \frac{[\text{H}_2\text{PO}_4^-][\text{H}^+]}{[\text{H}_3\text{PO}_4]},$$

где в квадратных скобках указаны равновесные концентрации.

Тогда

$$[\text{H}_2\text{PO}_4^-] = [\text{H}^+], [\text{H}_3\text{PO}_4] = C_0 - [\text{H}^+];$$

$$K_I = \frac{[\text{H}^+]^2}{C_0 - [\text{H}^+]} = 7,52 \cdot 10^{-3}.$$

Решение уравнения при $C_0 = 0,75$ моль/л позволяет найти

$$[\text{H}^+] = 0,071 \text{ моль/л},$$

откуда $pH = -\lg([\text{H}^+]) \approx 1,1$.

Ответ: 1,1.

Задача 2.2.6.5. Ученый (10 баллов)

Тема: химики России.

Условие

В стенах Казанского университета, где начинал свой путь будущий ученый, царила атмосфера, далекая от современного представления о химической лаборатории. Два рабочих стола, калильные печи, одна большая печь и песчаная баня без тяги — вот и весь скромный арсенал для проведения экспериментов. Опыты, требующие вытяжной вентиляции, проводились прямо на улице, независимо от времени года. Холодная зима или палящее солнце — наука не знала границ. В 1853 году отец ученого, желая обеспечить сыну более стабильное будущее, уговаривал его сменить направление деятельности и отказал во всяческой материальной поддержке. Но, вопреки всем уговорам, юноша, движимый неугасимой жаждой познания, твердо решил посвятить себя науке. В 1844 году он поступил в Петербургский университет,

но уже через три года перешел в Казанский, где стал учеником знаменитого российского химика-органика Николая Николаевича Зинина. Казалось бы, естественным продолжением было бы изучение органической химии, следуя по стопам своего учителя. Однако молодой ученый, не ограничиваясь рамками одного направления, увлекся физической химией, тогда еще только формирующейся областью знания. И хотя немцы утверждают, что приоритет в развитии физической химии принадлежит Вильгельму Оствальду, наш ученый уже в 1865 году, когда Оствальд был еще ребенком, читал студентам систематический курс по этой дисциплине.

Важным фактором, способствовавшим его успехам, была не только страсть к науке, но и способность использовать подручные средства для достижения поставленных задач. Так, исследуя явление алюминотермии, он прибегнул к изогнутому ружейному стволу в качестве реакционного сосуда. Ученый также изучал восстановительные способности других металлов, что позволило ему разработать «вытеснительный ряд металлов». Этот ряд, составленный по возрастанию активности металлов, стал неотъемлемой частью химии, помогая прогнозировать и анализировать химические реакции.

По мнению И. А. Каблукова, имя этого ученого «будет стоять в истории науки рядом с именами Д. И. Менделеева и А. М. Бутлерова и будет занесено золотыми буквами в историю науки в России».

Назовите этого ученого:

- А. Федор Федорович Бейльштейн;
- Б. Николай Николаевич Бекетов;
- С. Александр Порфириевич Бородин;
- Д. Владимир Иванович Вернадский;
- Е. Александр Абрамович Воскресенский;
- Ф. Николай Дмитриевич Зелинский;
- Г. Сергей Васильевич Лебедев;
- Н. Юрий Анатольевич Овчинников;
- И. Игорь Михайлович Скурихин;
- Ж. Алексей Евграфович Фаворский.

Ответ: В.

2.2.7. Четвертая волна. Задачи 8–9 класса

Задачи четвертой волны предметного тура по химии за 8–9 класс открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Конкурс: <https://contest.yandex.ru/contest/63470/enter/>.

Задача 2.2.7.1. Как выжить в космосе? (25 баллов)

Темы: неорганическая химия, количество вещества, расчет по уравнению реакции.

Условие

Освоение космоса имеет невероятную актуальность в наши дни, и тому есть объективные причины. Так, космонавтика позволяет развивать различные технологии, такие как системы навигации, спутниковая связь, наблюдение за погодой. В условиях изоляции и невесомости проводят биологические и медицинские исследования. Большой интерес изучение космоса вызывает ученых как перспектива колонизации других планет или спутников в Солнечной системе, а также добыча ресурсов на астероидах.



Первостепенной задачей в обеспечении жизнедеятельности в космических аппаратах является поддержание необходимого химического состава атмосферы. В условиях замкнутого пространства уровень углекислого газа может быстро нарастать, что приводит к ухудшению самочувствия экипажа и в конечном итоге может стать причиной гибели. Поэтому регулярная очистка воздуха от углекислого газа является жизненно важной. Ранее в пилотируемых космических аппаратах для удаления углекислого газа использовались физико-химические методы — на американских космических кораблях применялись контейнеры с гидроксидом лития, а на советских — с надпероксидом калия, оба эти вещества связывают углекислый газ.

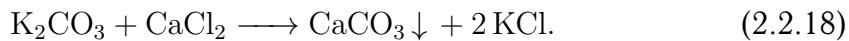
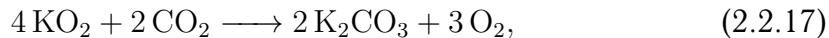
Современные технологии, используемые на борту Международной космической станции (МКС) и ранее на космической станции «Мир», используют многоразовые цеолитовые поглотители углекислоты. Цеолиты представляют собой пористые минералы, которые способны эффективно поглощать молекулы углекислого газа. Регенерация цеолитов проводится в особых аппаратах, где под воздействием высоких температур они высвобождают накопленный углекислый газ в забортное пространство.

Используемый для регенерации воздуха в замкнутом пространстве надпероксид калия массой 35,5 г поместили в герметичную камеру, наполненную углекислым газом. После завершения процесса твердый остаток растворили в 100 мл воды и добавили 200 мл 15%-го раствора хлорида кальция (плотность 1,11 г/мл), в результате чего наблюдали выпадение белого осадка.

Задание 1. (5 баллов) При нормальных условиях определите объем поглощенного в камере углекислого газа. Ответ, выраженный в литрах, округлите до десятых.

Решение

Составим уравнения протекающих реакций:



Определяем количество вещества надпероксида калия:

$$n(\text{KO}_2) = \frac{35,5}{71} = 0,5 \text{ моль.}$$

По уравнению реакции 2.2.17 определяем количество вещества углекислого газа, а затем его объем:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{1}{2}n(\text{K}_2\text{O}_2) = \frac{0,5}{2} = 0,25 \text{ моль;} \\ V(\text{CO}_2) = n \cdot V_m = 0,25 \cdot 22,4 = 5,6 \text{ л.}$$

Ответ: 5,6. Диапазон 5,5–5,6.

Задание 2. (5 баллов) При нормальных условиях определите объем выделившегося кислорода. Ответ, выраженный в литрах, округлите до десятых.

Решение

По уравнению реакции 2.2.17 определяем количество вещества кислорода:

$$n(\text{O}_2) = \frac{3}{4}n(\text{KO}_2) = \frac{3 \cdot 0,5}{4} = 0,375 \text{ моль;} \\ V(\text{O}_2) = n \cdot V_m = 0,375 \cdot 22,4 = 8,4 \text{ л.}$$

Ответ: 8,4. Диапазон 8,3–8,5.

Задание 3. (7 баллов) Определите в граммах массу осадка, выпавшего из раствора (ответ округлите до целых).

Решение

Белый осадок, выпавший из раствора, — это карбонат кальция.

Для того чтобы рассчитать его массу, предварительно нужно определить избыток/недостаток реагирующих веществ.

$$n(\text{K}_2\text{CO}_3) = n(\text{CO}_2) = 0,25 \text{ моль;} \\ m(\text{p-paCaCl}_2) = V \cdot \rho = 200 \cdot 1,11 = 222 \text{ г;} \\ m(\text{CaCl}_2) = 222 \cdot 0,15 = 33,3 \text{ г;} \\ n(\text{CaCl}_2) = \frac{m}{M} = \frac{33,3}{111} = 0,3 \text{ моль;} \\ \text{K}_2\text{CO}_3 — \text{в недостатке.}$$

По уравнениям реакций 2.2.17 и 2.2.18 количество вещества карбоната кальция составляет:

$$n(\text{CaCO}_3) = n(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,25 \text{ моль}; \\ m(\text{CaCO}_3) = n \cdot M = 0,25 \cdot 100 = 25 \text{ г.}$$

Ответ: 25.

Задание 4. (8 баллов) Определите в процентах массовую долю хлорида калия в полученным растворе (ответ округлите до десятых).

Решение

$$n(\text{KCl}) = 2 \cdot n(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,25 \cdot 2 = 0,5 \text{ моль}; \\ m(\text{KCl}) = n \cdot M = 0,5 \cdot 74,5 = 37,25 \text{ г}; \\ m(\text{p-pa}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{K}_2\text{CO}_3) + m(\text{p-paCaCl}_2) - m(\text{CaCO}_3) = \\ = 100 + 0,25 \cdot 138 + 222 - 25 = 331,5 \text{ г}; \\ \omega(\text{KCl}) = \frac{37,25 \cdot 100}{331,5} = 11,2368 \approx 11,2\%.$$

Ответ: 11,2. Диапазон 11–11,3.

Задача 2.2.7.2. Питательный раствор для растений (20 баллов)

Темы: смеси веществ, массовая доля, количество вещества.

Условие

Раствор для гидропоники представляет собой специальную жидкость, предназначенную для полноценного питания растений, в которую входят минеральные соли и другие необходимые компоненты. В традиционном земледелии растения получают все необходимые для роста вещества из почвы, но гидропоника позволяет обходиться без нее, обеспечивая растения питательными веществами непосредственно через корневую систему в водной среде. Это особенно полезно в условиях ограниченного пространства или неблагоприятных почвенных условий. При создании питательного раствора для гидропоники важно учитывать специфику каждой культуры, так как разные растения требуют различных соотношений макро- и микроэлементов. Для достижения оптимального результата в гидропонике необходимо не только правильно подбирать компоненты, но и следить за их концентрацией. Неправильные пропорции могут привести к дефициту или избытку полезных веществ, что негативно скажется на здоровье растений. На протяжении многих лет различные ученые и агрономы разработали множество формул для питательных растворов, адаптированных для разных систем гидропоники. Например, известны формулы, такие как формула Туманова, Кнопа, Кидсона, Пюрдье, Шварца, Пильгрима и другие, каждая из которых имеет свои особенности и преимущества. Эти формулы учитывают не только потребности конкретных культур, но и условия их выращивания: температура, влажность и освещение.

Таким образом, раствор для гидропоники — это не просто смесь, а целая наука, требующая глубоких знаний о потребностях растений и условиях их роста.



Один из растворов для гидропоники — раствор Шварца — предполагает следующее содержание катионов в 1 л раствора, см. таблицу ниже.

| Катион | K^+ | Ca^{2+} | Mg^{2+} | NH_4^+ |
|--------|-------|-----------|-----------|----------|
| мг/л | 200 | 160 | 48 | 15 |

Рассчитайте массы солей калиевой селитры, двойного суперфосфата, кристаллического сернокислого магния, аммиачной селитры, необходимых для приготовления 1 л раствора с данным содержанием катионов.

Задание 1. (5 баллов) Вычислите в миллиграммах массу калийной селитры, необходимую для приготовления 1 л раствора Шварца. Ответ округлите до целых.

Решение

Для определения массы KNO_3 определим количество калия:

$$n(K^+) = \frac{200}{39} = 5,1282 \text{ ммоль} \approx 5,13 \text{ ммоль};$$

$$n(KNO_3) = n(K^+) = m(KNO_3) = n \cdot M = 5,13 \cdot 101 = 518 \text{ мг.}$$

Ответ: 518. Диапазон 505–518.

Задание 2. (5 баллов) Вычислите в миллиграммах массу двойного суперфосфата $Ca(H_2PO_4)_2 \times H_2O$, необходимую для приготовления 1 л раствора Шварца. Ответ округлите до целых.

Решение

Для определения массы двойного суперфосфата $Ca(H_2PO_4)_2 \times H_2O$ определим количество кальция:

$$n(Ca^{2+}) = \frac{160}{40} = 4 \text{ ммоль};$$

$$n(Ca(H_2PO_4)_2 \times H_2O) = n(Ca^{2+}) = 4 \text{ ммоль};$$

$$m(Ca(H_2PO_4)_2 \times H_2O) = n \cdot M = 4 \cdot 234 = 936 \text{ мг.}$$

Ответ: 936.

Задание 3. (5 баллов) Вычислите в миллиграммах массу кристаллического сернокислого магния $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, необходимую для приготовления 1 л раствора Шварца. Ответ округлите до целых.

Решение

Для определения массы сернокислого магния $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ определим количество магния:

$$n(\text{Mg}^{2+}) = \frac{48}{24} = 2 \text{ ммоль};$$

$$n(\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}) = n(\text{Mg}^{2+}) = 2 \text{ ммоль};$$

$$m(\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}) = n \cdot M = 2 \cdot 246 = 492 \text{ мг.}$$

Ответ: 492.

Задание 4. (5 баллов) Вычислите массу аммиачной селитры, необходимую для приготовления 1 л раствора Шварца. Ответ выразите в миллиграммах (мг) и округлите до целых.

Решение

Для определения массы NH_4NO_3 определим количество ионов аммония NH_4^+ :

$$n(\text{NH}_4^+) = \frac{15}{18} = 0,8333 \text{ ммоль} \approx 0,83 \text{ ммоль};$$

$$n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = n(\text{NH}_4^+) = 0,83 \text{ ммоль};$$

$$m(\text{KNO}_3) = n \cdot M = 0,8333 \cdot 80 = 67 \text{ мг (без округления);}$$

$$m(\text{KNO}_3) = n \cdot M = 0,8333 \cdot 80 = 66 \text{ мг (с округлением).}$$

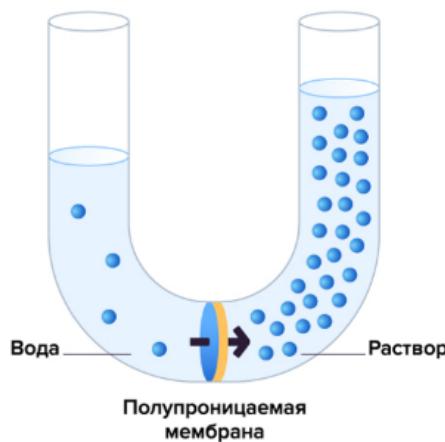
Ответ: $66,5 \pm 0,5$.

Задача 2.2.7.3. Оsmос в биологических системах (20 баллов)

Темы: концентрации, растворы, осмос.

Условие

Рассмотрим такую систему: мембрана, по разные стороны от которой расположены растворы с разным содержанием растворенного вещества. Поры полупроницаемой мембраны пропускают молекулы растворителя, но не молекулы растворенного вещества. Из-за того, что концентрации растворов различны, растворитель (например, вода) начнет диффундировать (перетекать) из более разбавленного раствора в более концентрированный и разбавлять его до тех пор, пока концентрация не станет равной по обе стороны мембраны. Это явление называют осмосом.



Мембранные всех живых клеток используют осмос для контроля поглощения необходимых веществ, поэтому он играет очень важную роль в медицине, биотехнологии и агротехнологии, особенно в гидропонике. Но осмос значим и в быту: с древности с его помощью консервировали пищу — в соленой среде вода вытекает из клеток, что приводит к сморщиванию (весь материал внутри клетки отслаивается от клеточной стенки) и потере жизнедеятельности микроорганизмов (этот процесс называют плазмолизом).

Задание 1. (6 баллов) Рассчитайте массу поваренной соли, необходимую для приготовления 1,25 л рассола для засаливания огурцов (плотность $\rho = 1061 \text{ г/л}$), массовая доля соли в котором составляет 8,5%. Ответ приведите в граммах с точностью до десятых.

Решение

Рассчитаем массу раствора $m_{\text{р-ра}} = \rho V = 1061 \cdot 1,25 = 1326 \text{ г}$.

Масса соли составляет:

$$m(\text{NaCl}) = m_{\text{р-ра}} \omega(\text{NaCl}) = 1326 \cdot 0,085 = 112,7 \text{ г.}$$

Ответ: 112,7. Диапазон 112–113.

Задание 2. (7 баллов) Осмотическим давлением называют величину избыточного давления на раствор, отделенный от чистого растворителя полупроницаемой мембраной, при котором прекращается осмос, то есть диффузия растворителя через мембрану. Голландский химик Якоб Хендрик Вант-Гофф установил, что для разбавленных растворов осмотическое давление прямо пропорционально молярной концентрации частиц (молекул, ионов) растворенного вещества:

$$\pi = CRT,$$

где π — осмотическое давление, кПа; C — молярная концентрация частиц (молекул, ионов) растворенного вещества, моль/л; R — универсальная газовая постоянная, 8,314 Дж/(моль·К); T — температура, К.

Это открытие было отмечено первой Нобелевской премией по химии.

В терапевтических целях иногда используют гипертонические растворы — растворы, осмотическое давление которых превышает давление плазмы крови —

в такой среде вода выходит через мембрану из клетки, и клетка сжимается. Гипертонический 40%-й раствор глюкозы вводят при гипогликемии в качестве источника углеводов.



Рассчитайте величину осмотического давления 40%-го водного раствора глюкозы ($C_6H_{12}O_6$) при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (плотность $\rho = 1\,172\text{ г/л}$). Ответ выразите в килопаскалях (кПа) с точностью до целых.

Решение

Рассчитаем массу 1 л раствора:

$$m_{\text{p-pa}} = \rho V = 1\,172 \cdot 1,0 = 1\,172 \text{ г.}$$

Масса глюкозы составляет:

$$m(C_6H_{12}O_6) = m_{\text{p-pa}}\omega(C_6H_{12}O_6) = 1\,172 \cdot 0,40 = 468,8 \text{ г.}$$

Количество вещества глюкозы:

$$n(C_6H_{12}O_6) = \frac{m(C_6H_{12}O_6)}{M(C_6H_{12}O_6)} = \frac{468,8}{6 \cdot 12 + 12 + 6 \cdot 16} = 2,6 \text{ моль,}$$

соответственно молярная концентрация раствора

$$C(C_6H_{12}O_6) = \frac{n(C_6H_{12}O_6)}{V} = \frac{2,6}{1} = 2,6 \text{ моль/л.}$$

Осмотическое давление $\pi = CRT = 2,6 \cdot 8,314 \cdot (273 + 20) = 6\,333,6 \text{ кПа.}$

Ответ: 6 334. Диапазон 6 314–6 354.

Задание 3. (7 баллов) Водные растворы полимера полиэтиленгликоля (препарат «Полиоксидин») оказывают плазмозамещающее, антиагрегантное, противошоковое действие, их вводят внутривенно при острой кровопотере, посттравматическом и послеоперационном шоке. Препарат уменьшает вязкость крови за счет уменьшения вязкости плазмы и оказывает дезагрегирующее действие на форменные элементы крови, восстанавливает периферическое кровообращение, улучшает транспорт кислорода к тканям. Осмотическое давление раствора полимера мало, поэтому в состав также включают неорганические соли, чтобы сделать раствор препарата изотоничным крови.

Установите молярную массу полиэтиленгликоля, если осмотическое давление раствора, содержащего 7,5 г полимера в 0,5 л раствора, составляет 1,813 кПа при 25 °C. Ответ запишите в граммах на моль (г/моль) с точностью до целых.

Решение

Молярная концентрация раствора полимера:

$$C = \frac{\pi}{RT} = \frac{1,813}{8,314 \cdot (273 + 25)} = 0,73 \text{ ммоль/л,}$$

то есть количество вещества полимера $n = CV = 0,73 \cdot 0,5 = 0,365 \text{ ммоль.}$

Тогда молярная масса

$$M = \frac{m}{n} = \frac{7,5}{0,365} \cdot 1\,000 = 20\,548 \text{ г/моль.}$$

Ответ: 20 548. Диапазон 20 348–20 748.

Задача 2.2.7.4. Е338: производство и применение (25 баллов)

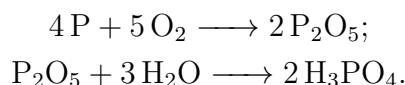
Темы: количество вещества, термохимия, электролитическая диссоциация.

Условие

Ортофосфорная кислота используется в самых разных областях — в производстве удобрений и чистящих средств, для деревообработки и очистки металла от ржавчины, в стоматологии для реставрации зубов и в ювелирном деле при пайке. Также она зарегистрирована в качестве пищевой добавки Е338, которую можно встретить в составе мармеладов, сиропов и напитков, хлебобулочных изделий, сыров и плавленых сырков.

Пищевую фосфорную кислоту производят термическим способом, позволяющим получить концентрированный продукт с меньшим содержанием примесей — для этого расплавленный белый фосфор сжигают в воздухе и подвергают образующийся оксид фосфора (V) гидратации.

Этот процесс упрощенно можно описать следующими реакциями:



Задание 1. (7 баллов) При нормальных условиях рассчитайте объем воздуха, который необходимо подавать в башню (камеру сжигания) в 1 ч для сжигания фосфора, содержащего 0,7% негорючих примесей (расход фосфора 2 800 кг/ч). Ответ выразите в кубических метрах. Учтите, что для предотвращения образования оксида фосфора (III) в башню подают двукратный избыток воздуха по сравнению с расчетным количеством.

Решение

В расчете на один час количество вещества фосфора составляет

$$n(P) = \frac{m}{M} = \frac{2800 \cdot 0,993}{31} = 89,69 \text{ кмоль},$$

тогда

$$n_{\text{теор}}(\text{O}_2) = \frac{5}{4}n(P) = 112,11 \text{ кмоль};$$

$$n_{\text{практ}}(\text{O}_2) = 2n_{\text{теор}}(\text{O}_2) = 2 \cdot 112,11 = 224,22 \text{ кмоль}.$$

Объем кислорода:

$$V(\text{O}_2) = n_{\text{практ}}(\text{O}_2)V_0 = 224,22 \cdot 1000 \cdot 22,4 = 5022658 \text{ л},$$

объем воздуха

$$V_{\text{возд}} = \frac{V(\text{O}_2)}{\chi(\text{O}_2)} = \frac{5022658}{0,21 \cdot 1000} = 23917 \text{ м}^3.$$

Ответ: 23 917. Диапазон 22 240–25 590.

Задание 2. (6 баллов) Рассчитайте массу 70%-го раствора фосфорной кислоты, образующегося в башне. Ответ выразите в килограммах в час (кг/ч) с точностью до целых.

Решение

Количество вещества фосфорной кислоты соответствует количеству фосфора $n(\text{H}_3\text{PO}_4) = n(P) = 89,69 \text{ кмоль/ч}$, тогда:

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = n(\text{H}_3\text{PO}_4)M = 89,69 \cdot (3 + 31 + 16 \cdot 4) = 8789,62 \text{ кг/ч};$$

$$m_{\text{п-па}}(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{\omega(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{8789,62}{0,70} = 12557 \text{ кг/ч}.$$

Ответ: 12 557. Диапазон 12 553–12 561.

Задание 3. (6 баллов) Использование теплоты, выделяющейся при сгорании фосфора, позволяет значительно увеличить энергоэффективность проведения процесса. Рассчитайте массу угля, содержащего 10% негорючих примесей, которую удастся сэкономить при полном использовании тепла сгорания фосфора. Теплота сгорания белого фосфора в указанных условиях составляет 1 764 кДж/моль, углерода — 394 кДж/моль. Ответ запишите в килограммах в час (кг/ч) с точностью до целых.

Решение

Количество теплоты, выделяющейся при сгорании фосфора, составляет

$$Q = Q_P n(P) = 89,69 \cdot 1764 = 158213 \text{ МДж/ч},$$

тогда

$$n(C) = \frac{Q}{Q_C} = \frac{158\,213 \cdot 1\,000}{394} = 401\,556 \text{ моль/ч};$$

$$m(C) = n(C)M = 401\,556 \cdot 12 = 4\,819 \text{ кг/ч};$$

$$m_{\text{уголь}} = \frac{m(C)}{\omega(C)} = \frac{4\,819}{0,90} = 5\,354 \text{ кг/ч}.$$

Ответ: 5 354. Диапазон 5 350–5 358.

Задание 4. (6 баллов) В качестве пищевой добавки ортофосфорная кислота выступает регулятором кислотности и консервантом: кислая среда препятствует размножению микроорганизмов и порче продукта. Именно наличие фосфорной кислоты в составе обуславливает способность газированных напитков растворять ржавчину и очищать бытовые поверхности, о которой снято много интернет-роликов. Впрочем, имеются сведения о стимулировании фосфорной кислотой вымывания кальция из организма и ее негативном влиянии на зубную эмаль при чрезмерном употреблении.



Рассчитайте концентрацию ионов водорода в 0,02 моль/л растворе фосфорной кислоты, если известно, что степень диссоциации кислоты по первой ступени составляет 46%, а диссоциацией по второй и третьей ступени можно пренебречь. Ответ приведите в миллимоль на литр (ммоль/л) с точностью до десятых.

Решение

Запишем уравнение диссоциации фосфорной кислоты по первой ступени:



Степень диссоциации представляет собой отношение количества вещества, распавшегося на ионы, к общему количеству растворенного вещества:

$$\alpha_I = \frac{n(\text{H}_2\text{PO}_4^-)}{n_0(\text{H}_3\text{PO}_4)}.$$

В расчете на 1 л раствора $n_0(\text{H}_3\text{PO}_4) = CV = 0,02 \cdot 1 = 0,02 \text{ моль}$,

$$\begin{aligned} n(\text{H}^+) &= n(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = \alpha_I n_0(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,46 \cdot 0,02 = \\ &= 0,0092 \text{ моль} = 9,2 \text{ ммоль}. \end{aligned}$$

Ответ: 9,2.

Задача 2.2.7.5. Химию, как и любую науку, делают люди (10 баллов)

Тема: химики России.

Условие

Этого выдающегося ученого однажды спросили, кто такой исследователь. «В Солнечной системе, затерянной в спиралах одной из миллионов галактик, на одной из десятков миллионов планет стоит существо и пытается слабым взором охватить Вселенную. Почему ему это удается? В чем сила этого слабого обитателя затерянной в мироздании планеты? Я думаю, в вечном беспокойстве», — ответил академик. Пожалуй, только такой «беспокойный» человек мог охватить так много — от био- и геохимии до химии космоса. В начале карьеры этот ученый работал военным врачом и даже учился в двух университетах одновременно: в Военно-медицинской академии и на химфаке Ленинградского университета. Позднее он станет химиком, ядерщиком и даже планетологом.

Под руководством своего наставника В. Вернадского ученый начнет первое в мире исследование химического состава морских организмов. Он заложит биостанцию в Мурманске и проведет экспедицию по Баренцеву и Белому морям — в результате чего покажет, что живые организмы являются необходимым этапом круговорота элементов. Позднее он изучит влияние эволюции на изменение состава организмов и обоснует биогеохимический метод поиска полезных ископаемых.

Впоследствии он займется разработкой аналитических методов определения следов химических элементов в миллионных долях процента и меньше. Исследователь станет участником атомного проекта под руководством И. Курчатова, анализируя уран, тяжелую воду и другие материалы. Этот ученый станет основателем первой в России кафедры геохимии, организатором и первым директором Института геохимии и аналитической химии. Здесь он будет заниматься геохимией редких элементов, определит средние составы главных пород Земли, а после станет основоположником космохимии. Под его руководством определят состав лунного грунта, доставленного автоматическими станциями «Луна-16» и «Луна-20», а также состав атмосферы Венеры.

Имя этого ученого присвоено Институту геохимии, горному массиву на Луне и кратеру на Марсе, а также в его честь назван минерал, найденный на Кольском полуострове.

Назовите этого ученого:

- A. Сергей Васильевич Лебедев;
- B. Владимир Васильевич Марковников;
- C. Александр Павлович Виноградов;
- D. Александр Михайлович Зайцев;
- E. Николай Дмитриевич Зелинский;
- F. Карл Карлович Клаус;
- G. Николай Александрович Меншуткин;
- H. Николай Николаевич Зинин;
- I. Дмитрий Иванович Менделеев;

Ж. Алексей Евграфович Фаворский.

Ответ: С.

2.2.8. Четвертая волна. Задачи 10–11 класса

Задачи четвертой волны предметного тура по химии за 10–11 класс открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Конкурс: <https://contest.yandex.ru/contest/63487/enter/>.

Задача 2.2.8.1. Как выжить в космосе? (30 баллов)

Темы: неорганическая химия, количество вещества, расчет по уравнению реакции.

Условие

Освоение космоса имеет невероятную актуальность в наши дни, и тому есть объективные причины. Так, космонавтика позволяет развивать различные технологии, такие как системы навигации, спутниковая связь, наблюдение за погодой. В условиях изоляции и невесомости проводят биологические и медицинские исследования. Большой интерес изучение космоса вызывает ученых как перспектива колонизация других планет или спутников в Солнечной системе, а также добыча ресурсов на астероидах.

Первостепенной задачей в обеспечении жизнедеятельности в космических аппаратах является поддержание необходимого химического состава атмосферы. В условиях замкнутого пространства уровень углекислого газа может быстро нарастать, что приводит к ухудшению самочувствия экипажа и в конечном итоге может стать причиной гибели. Поэтому регулярная очистка воздуха от углекислого газа является жизненно важной. Ранее в пилотируемых космических аппаратах для удаления углекислого газа использовались физико-химические методы — на американских космических кораблях применялись контейнеры с гидроксидом лития, а на советских — с надпероксидом калия, оба эти вещества связывают углекислый газ.



Современные технологии, используемые на борту Международной космической станции (МКС) и ранее на космической станции «Мир», используют многоразовые цеолитовые поглотители углекислоты. Цеолиты представляют собой пористые минералы, которые способны эффективно поглощать молекулы углекислого газа. Регенерация цеолитов проводится в особых аппаратах, где под воздействием высоких температур они высвобождают накопленный углекислый газ в забортное пространство.

Задание 1. (7 баллов) Для получения надпероксида калия, используемого для регенерации воздуха в замкнутом пространстве, расплавленный калий сожгли в атмосфере с избытком кислорода. Оказалось, что в результате реакции кроме надпероксида калия образовался и пероксид калия. В образце смеси пероксида и надпероксида калия число атомов калия составило $7,224 \cdot 10^{23}$, а атомов кислорода — $1,204 \cdot 10^{24}$.

Определите массовую долю (в процентах) надпероксида калия в смеси с пероксидом (ответ округлите до целых).

Решение

Определим количество вещества атомов калия и кислорода:

$$n(K) = \frac{7,224 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 1,2 \text{ моль};$$

$$n(O) = \frac{1,204 \cdot 10^{24}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 2 \text{ моль.}$$

Пусть $n(\text{KO}_2) = x$ моль, а $n(\text{K}_2\text{O}_2) = y$ моль, тогда:

$$\begin{cases} x + 2y = 1,2, \\ 2x + 2y = 2, \end{cases} \quad (2.2.19)$$

$x = 0,8$ моль, $y = 0,2$ моль.

$$m_{\text{KO}_2} = n \cdot M = 0,8 \cdot 71 = 56,8 \text{ г};$$

$$m_{\text{K}_2\text{O}_2} = n \cdot M = 0,2 \cdot 110 = 22 \text{ г};$$

$$m_{\text{смеси}} = 56,8 + 22 = 78,8 \text{ г};$$

$$\omega_{\text{KO}_2} = \frac{56,8}{78,8} = 0,7208 \text{ или } 72\%.$$

Ответ: 72. Диапазон 71–73.

Задание 2. (7 баллов) Определите, какой объем углекислого газа (в литрах) может поглотиться смесью надпероксида калия и пероксида калия массой 62,3 г при стандартных условиях. Массовая доля надпероксида калия в смеси с пероксидом составляет 91,2% (ответ округлите до целого числа).

Решение

Определяем массы и количества надпероксида калия и пероксида калия в смеси:

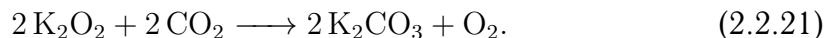
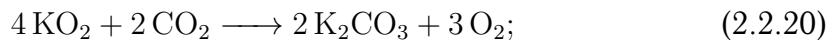
$$m(\text{KO}_2) = 62,3 \cdot 0,912 = 56,8176 \approx 56,8 \text{ г};$$

$$m(\text{K}_2\text{O}_2) = 62,3 - 56,8176 = 5,4824 \approx 5,5 \text{ г};$$

$$n(\text{KO}_2) = \frac{m}{M} = \frac{56,8}{71} = 0,8 \text{ моль};$$

$$n(\text{K}_2\text{O}_2) = \frac{m}{M} = \frac{5,5}{110} = 0,05 \text{ моль.}$$

Составим уравнения протекающих реакций:



По уравнениям реакций 2.2.20, 2.2.21 определяем количество вещества углекислого газа, а затем его объем при нормальных условиях.

По уравнению 2.2.20:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{1}{2}n(\text{KO}_2) = \frac{0,8}{2} = 0,4 \text{ моль.}$$

По уравнению 2.2.21:

$$n(\text{CO}_2) = n(\text{K}_2\text{O}_2) = 0,05 \text{ моль};$$

$$V(\text{CO}_2) = n \cdot V_m = (0,4 + 0,05) \cdot 22,4 = 10,08 \text{ л.}$$

В пересчете на стандартные условия (298 К) это составит:

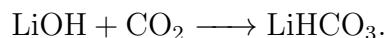
$$V(\text{CO}_2) = \frac{V_0 \cdot T_1}{T_0} = \frac{10,08 \cdot 298}{273} = 11 \text{ л.}$$

Ответ: 11.

Задание 3. (6 баллов) Какая минимальная масса гидроксида лития может поглотить 11,2 л углекислого газа (н. у.) (ответ округлите до целых).

Решение

Взаимодействие гидроксида лития с углекислым газом при недостатке гидроксида лития описывается уравнением:



Определяем количества углекислого газа:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{V}{V_m} = \frac{11,2}{22,4} = 0,5 \text{ моль.}$$

При соотношении веществ 1 : 1 имеем:

$$n(\text{LiOH}) = n(\text{CO}_2) = 0,5 \text{ моль};$$

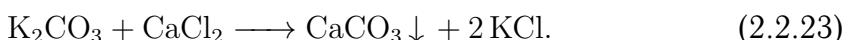
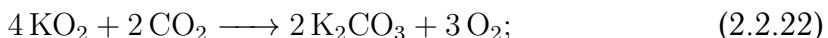
$$m(\text{LiOH}) = n \cdot M = 0,5 \cdot 24 = 12 \text{ г.}$$

Ответ: 12. Диапазон 11–13.

Задание 4. (10 баллов) Супероксид калия массой 85,2 г прореагировал с избытком углекислого газа. После завершения процесса образовавшееся твердое вещество растворили в 200 мл воды и добавили 300 мл 20%-го раствора хлорида кальция плотностью 1,181 г/мл. Определите массовую долю хлорида калия (в процентах) в полученном растворе (ответ округлите до десятых).

Решение

Составим уравнения протекающих реакций:



$$n(\text{KO}_2) = \frac{m}{M} = \frac{85,2}{71} = 1,2 \text{ моль.}$$

Для того чтобы рассчитать массы хлорида калия и карбоната кальция, выпадающего в виде белого осадка, предварительно нужно определить избыток/недостаток реагирующих веществ.

$$\begin{aligned} n(\text{K}_2\text{CO}_3) &= \frac{1}{2}n(\text{KO}_2) = \frac{1,2}{2} = 0,6 \text{ моль;} \\ m(\text{p-paCaCl}_2) &= V \cdot \rho = 300 \cdot 1,181 = 354,3 \text{ г;} \\ m(\text{CaCl}_2) &= 354,3 \cdot 0,2 = 70,86 \text{ г;} \\ n(\text{CaCl}_2) &= \frac{m}{M} = \frac{70,86}{111} = 0,638 \text{ моль – избыток;} \\ &\text{AK}_2\text{CO}_3 – \text{в недостатке.} \end{aligned}$$

Количество вещества карбоната кальция, выпавшего в осадок, по уравнению реакции составляет:

$$\begin{aligned} n(\text{CaCO}_3) &= n(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,6 \text{ моль;} \\ m(\text{CaCO}_3) &= n \cdot M = 0,6 \cdot 100 = 60 \text{ г;} \\ n(\text{KCl}) &= 2 \cdot n(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,6 \cdot 2 = 1,2 \text{ моль;} \\ m(\text{KCl}) &= n \cdot M = 1,2 \cdot 74,5 = 89,4 \text{ г.} \end{aligned}$$

Определяем массу и массовую долю раствора:

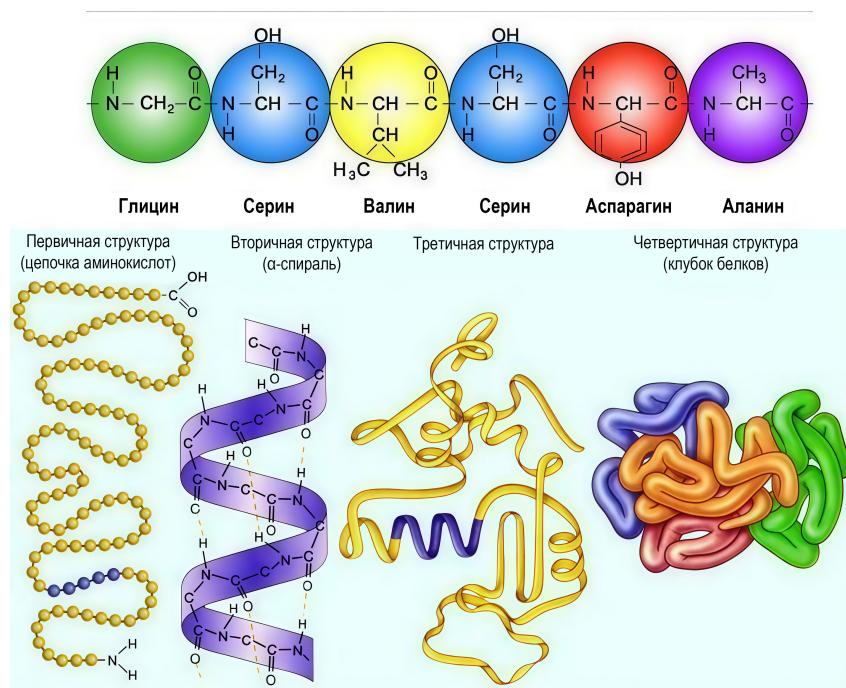
$$\begin{aligned} m(\text{p-pa}) &= m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{K}_2\text{CO}_3) + m(\text{p-paCaCl}_2) - m(\text{CaCO}_3) = \\ &= 200 + 0,6 \cdot 138 + 354,3 \text{ г} - 60 = 577,1 \text{ г;} \\ \omega(\text{KCl}) &= 15,49 \approx 15,5\%. \end{aligned}$$

Ответ: 15,5. Диапазон 15,2–15,8.

Задача 2.2.8.2. Аминокислоты – «кирпичики» белковых молекул (20 баллов)

Темы: органическая химия, массовая доля элемента, биохимия.

Условие



Аминокислоты играют ключевую роль в различных биотехнологических приложениях, и их использование в фармацевтической промышленности становится все более актуальным. Эти природные соединения обладают множеством полезных свойств, например, аминокислоты могут использоваться в качестве добавок к растворителям для улучшения процессов очистки белков, что является важным этапом в производстве биофармацевтических препаратов.

Одним из интересных аспектов аминокислот является их способность повышать внутриклеточное осмотическое давление, что позволяет клеткам адаптироваться к высоким концентрациям солей в окружающей среде. Эти свойства делают аминокислоты незаменимыми в биотехнологии, особенно когда речь идет о стабилизации белков.

Стабилизация белков — это важная задача, поскольку многие белки теряют свою активность при изменении условий окружающей среды, а добавление аминокислот помогает сохранить активную форму белков, предотвращая их денатурацию.

Таким образом, аминокислоты становятся неотъемлемой частью современных биотехнологий. Их применение охватывает широкий спектр областей, включая производство вакцин, терапевтических белков и других биофармацевтических препаратов. Исследования в этой области продолжаются, и, вероятно, в будущем мы увидим новые применения аминокислот, которые откроют дополнительные горизонты в биотехнологии и фармацевтике.

В процессе исследования некоторая аминокислота массой 17,4 г была подвергнута термическому разложению. Продукты сгорания были направлены последовательно через слой пентаоксида фосфора, в результате масса твердого вещества увеличилась на 12,6 г. Оставшиеся газообразные продукты были пропущены через избыток известковой воды. В результате образовался осадок, масса которого составила 60 г и 4,48 л газа (н. у.), образовавшегося в процессе горения, не поглотилась. Определите аминокислоту.

Задание 1. (8 баллов) Определите молекулярную формулу аминокислоты. Запишите ее в формате $C_1H_2O_3N_4$.

Решение

Определим количества веществ, образующихся в результате термического разложения аминокислоты и количества элементов, входящих в ее состав.

В процессе термического разложения аминокислот образуется углекислый газ, вода, а для серосодержащих аминокислот еще и сероводород. При пропускании газообразной смеси над пентаоксидом фосфора с ним реагирует вода с образованием фосфорной кислоты, следовательно, увеличение массы твердого вещества обусловлено водой:

$$\begin{aligned} P_2O_5 + 3 H_2O &\longrightarrow 2 H_3PO_4; \\ n(H_2O) &= \frac{12,6}{18} = 0,7 \text{ моль}; \\ n(H) &= 2 \cdot n(H_2O) = 2 \cdot 0,7 = 1,4 \text{ моль}; \\ m(H) &= n \cdot M = 1 \cdot 1 = 1,4 \text{ г}. \end{aligned}$$

Известковая вода, представляющая собой раствор гидроксида кальция, связывает углекислый газ в нерастворимый карбонат кальция:

$$\begin{aligned} Ca(OH)_2 + CO_2 &\longrightarrow CaCO_3 \downarrow + H_2O; \\ n(CaCO_3) &= \frac{60}{100} = 0,6 \text{ моль}; \\ n(CO_2) &= n(CaCO_3) = 0,6 \text{ моль}; \\ m(C) &= n \cdot M = 0,6 \cdot 12 = 7,2 \text{ г}. \end{aligned}$$

Непоглотившийся известковой водой газ — это инертный азот, его количество составляет:

$$\begin{aligned} n(N_2) &= \frac{4,48}{22,4} = 0,2 \text{ моль}; \\ n(N) &= 2 \cdot n(N_2) = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ моль}; \\ m(N) &= n \cdot M = 0,4 \cdot 14 = 5,6 \text{ г}. \end{aligned}$$

В аминокислотах содержится кислород, определяем его массу:

$$\begin{aligned} m(O) &= 17,4 - 7,2 - 1,4 - 5,6 = 3,2 \text{ г}; \\ n(O) &= \frac{3,2}{16} = 0,2 \text{ моль}; \\ n(C) : n(H) : n(O) : n(N) &= 0,6 : 1,4 : 0,2 : 0,4 = 3 : 7 : 1 : 2 (\times 2). \end{aligned}$$

Элементарная формула — $C_3H_7ON_2$ — такой аминокислоты не существует,

$$\begin{aligned} n(C) : n(H) : n(O) : n(N) &= 3 : 7 : 1 : 2 (\times 2); \\ n(C) : n(H) : n(O) : n(N) &= 6 : 14 : 2 : 4. \end{aligned}$$

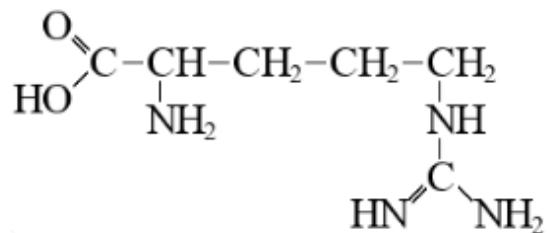
Молекулярная формула аминокислоты — $C_6H_{14}O_2N_4$.

Ответ: $C_6H_{14}O_2N_4$.

Задание 2. (5 баллов) Запишите тривиальное название данной аминокислоты.

Решение

Аминокислота, имеющая брутто-формулу $C_6H_{14}O_2N_4$ — аргинин.



Аргинин интересен тем, что это аминокислота, которая является эффективным реагентом для рефолдинга рекомбинантных белков. Этот процесс, в котором белки возвращаются к своей вторичной и третичной структуре после денатурации. Аргинин способствует этому процессу, подавляя агрегацию белков и тем самым повышая эффективность рефолдинга. Уникальные свойства делают его ценным инструментом в исследованиях и разработке новых белков, особенно в фармацевтическом контексте. Кроме того, аргинин способствует солюбилизации белков, которые находятся в рыхлых телах включения, что значительно упрощает процесс получения активных белков. Это особенно важно для разработки терапевтических белков.

Ответ: аргинин.

Задание 3. (2 балла) Какой является данная аминокислота с точки зрения синтеза в организме человека:

- 0.1. заменимой,
 - 0.2. незаменимой.

В ответе укажите только цифру.

Решение

По значению для организма человека аминокислоты разделяют на заменимые и незаменимые. Заменимые аминокислоты — это те, которые организм может производить самостоятельно из других аминокислот и веществ, поступающих в организм. Незаменимые аминокислоты — необходимые аминокислоты, которые не могут быть синтезированы в организме. Для человека незаменимыми являются: валин, лейцин, изолейцин, метионин, триптофан, фенилаланин, треонин, лизин и гистидин.

Аргинин — **заменимая** аминокислота для организма человека.

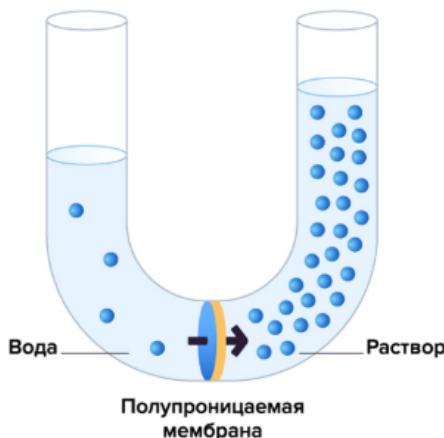
Ответ: 1.

Задача 2.2.8.3. Оsmос в биологических системах (20 баллов)

Темы: концентрации, растворы, осмос.

Условие

Рассмотрим такую систему: мембрана, по разные стороны от которой расположены растворы с разным содержанием растворенного вещества. Поры полупроницаемой мембраны пропускают молекулы растворителя, но не молекулы растворенного вещества. Из-за того, что концентрации растворов различны, растворитель (например, вода) начнет диффундировать (перетекать) из более разбавленного раствора в более концентрированный и разбавлять его до тех пор, пока концентрация не станет равной по обе стороны мембраны. Это явление называют осмосом.



Осмотическим давлением называют величину избыточного давления на раствор, отделенный от чистого растворителя полупроницаемой мембраной, при котором прекращается осмос, то есть диффузия растворителя через мембрану. Голландский химик Якоб Хендрик Вант-Гофф установил, что для разбавленных растворов осмотическое давление прямо пропорционально молярной концентрации частиц (молекул, ионов) растворенного вещества:

$$\pi = CRT,$$

где π — осмотическое давление, кПа; C — молярная концентрация частиц (молекул, ионов) растворенного вещества, моль/л; R — универсальная газовая постоянная, 8,314 Дж/(моль·К); T — температура, К. Это открытие было отмечено первой Нобелевской премией по химии.

Мембранные клетки используют осмос для контроля поглощения необходимых веществ, поэтому он играет очень важную роль в медицине, биотехнологии и агротехнологии, особенно в гидропонике. Осмос помогает растениям расти и всасывать воду корневой системой — поскольку в клеточном соке концентрация солей и сахаров выше, чем в почвенном растворе. Это важно учитывать при внесении удобрений — если осмотическое давление почвенного раствора станет слишком большим, поступление воды в растение прекратится, и оно погибнет (например, как в засоленных почвах).

Задание 1. (6 баллов) При температуре 25 °С рассчитайте осмотическое давление раствора удобрения (250 г мочевины в 7,5 л воды). Ответ запишите в килопаскалях (кПа) с точностью до целых.

Решение

Количество вещества мочевины:

$$n(\text{NH}_2\text{CONH}_2) = \frac{m(\text{NH}_2\text{CONH}_2)}{M} = \frac{250}{16 \cdot 2 + 28} = 4,17 \text{ моль},$$

соответственно молярная концентрация раствора

$$C(\text{NH}_2\text{CONH}_2) = \frac{n(\text{NH}_2\text{CONH}_2)}{V} = \frac{4,17}{7,5} = 0,56 \text{ моль/л.}$$

Оsmотическое давление $\pi = CRT = 0,56 \cdot 8,314 \cdot (273 + 25) = 1387 \text{ кПа.}$

Ответ: 1387. Диапазон 1350–1400.

Задание 2. (7 баллов) В медицине при внутривенном введении используют изотонические растворы — растворы, осмотическое давление которых соответствует давлению плазмы крови — в такой среде вода не поступает в клетку и не выходит из клетки, что предотвращает от повреждения эритроциты. Изотонический раствор хлорида натрия применяют как дезинтоксикационное средство, для коррекции состояния систем организма в случае обезвоживания и как растворитель других лекарственных препаратов.



Рассчитайте массовую долю хлорида натрия в разбавленном растворе, осмотическое давление которого при температуре 37 °C составляет 5199 кПа (плотность примите $\rho = 1035 \text{ г/л}$). Ответ запишите в процентах с точностью до сотых.

Решение

Рассчитаем концентрацию частиц в растворе, исходя из величины осмотического давления:

$$C = \frac{\pi}{RT} = \frac{5199}{8,314 \cdot (273 + 37)} = 2,02 \text{ моль/л.}$$

Хлорид натрия — электролит, диссоциирующий в растворе на ионы Na^+ и Cl^- . Поскольку точная степень диссоциации в информации не указана, а раствор является разбавленным, ее можно принять равной 100%.

Тогда концентрация хлорида натрия составляет:

$$C(\text{NaCl}) = \frac{C}{2} = \frac{2,02}{2} = 1,01 \text{ моль/л,}$$

а масса соли в 1 л раствора:

$$m(\text{NaCl}) = n(\text{NaCl}) \cdot M = C(\text{NaCl}) \cdot V \cdot M = 1,01 \cdot 1 \cdot (23 + 35,5) = 59,09 \text{ г.}$$

Массовая доля в растворе

$$\omega = \frac{m_{\text{NaCl}}}{m_{\text{p-pa}}} = \frac{59,09}{1 \cdot 1035} \cdot 100 = 5,7\%.$$

Ответ: 5,7. Диапазон 5,5–5,9.

Задание 3. (7 баллов) Измерение осмотического давления является одним из распространенных методов определения молекулярной массы полимера, влияющей на его свойства. Например, полипропилен с высокой молекулярной массой обладает более высокими показателями предела прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве, ударной вязкости при изгибе и растяжении. Мембранный осмометр основан на измерении разности давлений — например, по разности высот в капиллярах раствора и растворителя, поскольку гидростатическое давление уравновешивает осмотическое.

Установите молекулярную массу полипропилена, если разность высот жидкости в осмометре для его раствора в тетралине, содержащего 2,5 г в 250 мл раствора, составляет 2,1 см при 20 °C. Ответ выразите в килограммах на моль (кг/моль) с точностью до целых. Плотность тетралина и раствора 973 кг/м³.

Решение

Гидростатическое давление столба жидкости уравновешивает осмотическое давление, для удобства расчета используем единицы измерения системы СИ:

$$\pi = CRT = \rho g \Delta h = 973 \cdot 9,8 \cdot (2,1 \cdot 10^{-2}) = 200 \text{ Па.}$$

Молярная концентрация раствора полимера составляет

$$C = \frac{\pi}{RT} = \frac{200}{8,314 \cdot (273 + 20)} = 0,082 \text{ моль/м}^3,$$

то есть количество вещества полимера

$$n = CV = 0,082 \cdot \frac{0,1}{1000} = 0,008 \text{ ммоль.}$$

Тогда молекулярная масса

$$M = \frac{m}{n} = \frac{2,5}{0,008} = 312,5 \text{ кг/моль.}$$

Ответ: 312,5. Диапазон 290–320.

Задача 2.2.8.4. Е338: производство и применение (25 баллов)

Темы: количество вещества, термохимия, химическое равновесие.

Условие

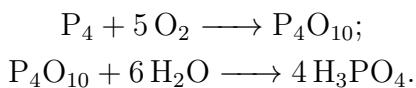
Ортофосфорная кислота используется в самых разных областях — в производстве удобрений и чистящих средств, для деревообработки и очистки металла от ржавчины, в стоматологии для реставрации зубов и в ювелирном деле при пайке. Также она зарегистрирована в качестве пищевой добавки Е338, которую можно встретить в составе мармеладов, сиропов и напитков, хлебобулочных изделий, сыров и плавленых сырков.

Пищевую фосфорную кислоту производят термическим способом, позволяющим получить концентрированный продукт с меньшим содержанием примесей — для этого белый фосфор сжигают в воздухе и подвергают образующийся оксид фосфора (V) гидратации.

Задание 1. (8 баллов) При нормальных условиях рассчитайте объем воздуха, который необходимо подавать в башню (камеру сжигания) в 1 ч для сжигания фосфора, если известно, что расход образующегося в башне 70%-го раствора фосфорной кислоты составляет 2 200 кг/ч. Ответ приведите в кубических метрах с точностью до целых. Учтите, что для предотвращения образования оксида фосфора (III) в башню подают двукратный избыток воздуха по сравнению с расчетным количеством.

Решение

Запишем уравнения происходящих реакций:



Масса фосфорной кислоты:

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = m_{\text{п-па}} \omega_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 2\,200 \cdot 0,70 = 1\,540 \text{ кг/ч.}$$

Количество вещества фосфорной кислоты:

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{M} = \frac{1\,540}{3 + 31 + 16 \cdot 4} = 15,71 \text{ кмоль/ч,}$$

что соответствует расчетному количеству вещества кислорода

$$\begin{aligned} n_{\text{теор}}(\text{O}_2) &= \frac{5}{4} n(\text{H}_3\text{PO}_4) = 19,64 \text{ кмоль/ч;} \\ n_{\text{практ}}(\text{O}_2) &= 2n_{\text{теор}}(\text{O}_2) = 2 \cdot 19,64 = 39,28 \text{ кмоль/ч.} \end{aligned}$$

Объем кислорода

$$V(\text{O}_2) = n_{\text{практ}}(\text{O}_2) V_0 = 39,28 \cdot 1\,000 \cdot 22,4 = 880\,000 \text{ л,}$$

объем воздуха

$$V_{\text{возд}} = \frac{V(\text{O}_2)}{\chi(\text{O}_2)} = \frac{880\,000}{0,21 \cdot 1\,000} = 4\,190 \text{ м}^3.$$

Ответ: 4 190. Диапазон 3 890–4 490.

Задание 2. (8 баллов) Использование теплоты, выделяющейся при сгорании фосфора, позволяет значительно увеличить энергоэффективность проведения процесса. При стандартных условиях рассчитайте теплоту, которая выделяется в ходе проходящих реакций при образовании указанного в задании № 1 количества фосфорной кислоты. Используйте данные таблицы, ответ приведите в мегаджоулях (МДж) с точностью до целых.

| Вещество | P ₄ O _{10(тв)} | H ₃ PO _{4(ж)} | H ₂ O _(ж) |
|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Теплота образования, кДж/моль | 2 984,03 | 1 266,90 | 285,83 |

Решение

В соответствии со следствием из закона Г.И. Гесса теплоту каждой из протекающей реакции можно выразить как разность между суммами теплот образования продуктов и реагентов с учетом стехиометрических коэффициентов:

$$\begin{aligned}\Delta_r Q &= \sum n_i Q_f(\text{прод}) - \sum n_j Q_f(\text{реаг}); \\ \Delta_{r1} Q &= Q_f(\text{P}_4\text{O}_{10(\text{тв})}) - Q_f(\text{P}_{4(\text{тв})}) - 5Q_f(\text{O}_{2(\text{г})}); \\ \Delta_{r2} Q &= 4Q_f(\text{H}_3\text{PO}_{4(\text{ж})}) - 6Q_f(\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}) - Q_f(\text{P}_4\text{O}_{10(\text{тв})}).\end{aligned}$$

С учетом того, что теплоты образования простых веществ равны нулю, получим:

$$\begin{aligned}\Delta_{r1} Q &= 2 984,03 \text{ кДж/моль}; \\ \Delta_{r2} Q &= 4 \cdot 1 266,90 - 6 \cdot 285,83 - 2 984,03 = 368,59 \text{ кДж/моль}.\end{aligned}$$

В расчете на 4 моль фосфорной кислоты

$$Q_R = \Delta_{r1} Q + \Delta_{r2} Q = 3 352,62 \text{ кДж/моль}.$$

Тогда

$$Q = Q_R \cdot \frac{n(\text{H}_3\text{PO}_4)}{4} = 3 352,62 \cdot \frac{15,71}{4} = 13 167 \text{ МДж}.$$

Ответ: 13 167. Диапазон 13 080–13 250.

Задание 3. (9 баллов) В качестве пищевой добавки ортофосфорная кислота выступает регулятором кислотности и консервантом: кислая среда препятствует размножению микроорганизмов и порче продукта. Именно наличие фосфорной кислоты в составе обуславливает способность газированных напитков растворять ржавчину и очищать бытовые поверхности, о которой снято много интернет-роликов. Впрочем, имеются сведения о стимулировании фосфорной кислотой вымывания кальция из организма и ее негативном влиянии на зубную эмаль при чрезмерном употреблении.



Рассчитайте pH 0,35 моль/л раствора фосфорной кислоты с точностью до десятых, если известно, что константа диссоциации кислоты по первой ступени составляет $7,52 \cdot 10^{-3}$, а диссоциацией по второй и третьей ступени можно пренебречь.

Решение

Запишем уравнение диссоциации фосфорной кислоты по первой ступени:



Выражение для константы диссоциации:

$$K_I = \frac{[\text{H}_2\text{PO}_4^-][\text{H}^+]}{[\text{H}_3\text{PO}_4]},$$

где в квадратных скобках указаны равновесные концентрации.

Тогда

$$[\text{H}_2\text{PO}_4^-] = [\text{H}^+], [\text{H}_3\text{PO}_4] = C_0 - [\text{H}^+];$$

$$K_I = \frac{[\text{H}^+]^2}{C_0 - [\text{H}^+]} = 7,52 \cdot 10^{-3}.$$

Решение уравнения при $C_0 = 0,35$ моль/л позволяет найти

$$[\text{H}^+] = 0,051 \text{ моль/л},$$

откуда $pH = -\lg([\text{H}^+]) \approx 1,3$.

Ответ: 1,3.

Задача 2.2.8.5. Химию, как и любую науку, делают люди (10 баллов)

Тема: химики России.

Условие

Этого выдающегося ученого однажды спросили, кто такой исследователь. «В Солнечной системе, затерянной в спиралах одной из миллионов галактик, на одной из десятков миллионов планет стоит существо и пытается слабым взором охватить Вселенную. Почему ему это удается? В чем сила этого слабого обитателя затерянной в мироздании планеты? Я думаю, в вечном беспокойстве», — ответил академик. Пожалуй, только такой «беспокойный» человек мог охватить так много — от био- и геохимии до химии космоса. В начале карьеры этот ученый работал военным врачом и даже учился в двух университетах одновременно: в Военно-медицинской академии и на химфаке Ленинградского университета. Позднее он станет химиком, ядерщиком и даже планетологом.

Под руководством своего наставника В. Вернадского ученый начнет первое в мире исследование химического состава морских организмов. Он заложит биостанцию

в Мурманске и проведет экспедицию по Баренцеву и Белому морям — в результате чего покажет, что живые организмы являются необходимым этапом круговорота элементов. Позднее он изучит влияние эволюции на изменение состава организмов и обоснует биогеохимический метод поиска полезных ископаемых.

Впоследствии он займется разработкой аналитических методов определения следов химических элементов в миллионных долях процента и меньше. Исследователь станет участником атомного проекта под руководством И. Курчатова, анализируя уран, тяжелую воду и другие материалы. Этот ученый станет основателем первой в России кафедры геохимии, организатором и первым директором Института геохимии и аналитической химии. Здесь он будет заниматься геохимией редких элементов, определит средние составы главных пород Земли, а после станет основоположником космохимии. Под его руководством определят состав лунного грунта, доставленного автоматическими станциями «Луна-16» и «Луна-20», а также состав атмосферы Венеры.

Имя этого ученого присвоено Институту геохимии, горному массиву на Луне и кратеру на Марсе, а также в его честь назван минерал, найденный на Кольском полуострове.

Назовите этого ученого:

- A. Сергей Васильевич Лебедев;
- B. Владимир Васильевич Марковников;
- C. Александр Павлович Виноградов;
- D. Александр Михайлович Зайцев;
- E. Николай Дмитриевич Зелинский;
- F. Карл Карлович Клаус;
- G. Николай Александрович Меншуткин;
- H. Николай Николаевич Зинин;
- I. Дмитрий Иванович Менделеев;
- J. Алексей Евграфович Фаворский.

Ответ: C.

2.3. Предметный тур. Физика

2.3.1. Первая волна. Задачи 8–9 класса

Задачи первой волны предметного тура по физике за 8–9 класс открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Конкурс: <https://contest.yandex.ru/contest/63463/enter/>.

Задача 2.3.1.1. Калориметр (10 баллов)

Условие

Внутренний стакан калориметра представляет собой цилиндр с радиусом $R = 8\text{ см}$ и высотой $3R$. Внешний стакан также имеет форму цилиндра, стенки которого (как боковые, так и торцы) отстоят от стенок внутреннего на расстояние R . Какая масса теплоизоляционного материала с плотностью $\rho = 25\text{ кг}/\text{м}^3$ необходима, чтобы полностью заполнить пространство между стаканами?

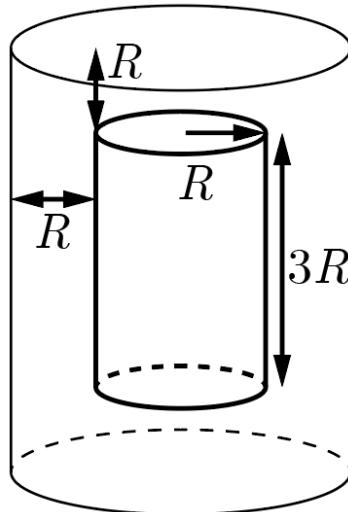


Рис. 2.3.1

Решение

Чтобы найти массу m теплоизоляционного материала, необходимо его плотность умножить на занимаемый им объем V :

$$m = \rho V. \quad (2.3.1)$$

Объем области, заполняемой теплоизоляцией, удобнее всего найти, вычитя из объема V_1 большого внешнего стакана объем V_2 маленького внутреннего. Для любого кругового цилиндра с высотой h и радиусом r объем может быть найден по

формуле $V = \pi r^2 h$. В случае большого цилиндра $r = 2R$ и $h = 5R$, следовательно,

$$V_1 = 5R \cdot \pi (2R)^2 = 20\pi R^3. \quad (2.3.2)$$

Аналогично, для маленького $r = R$, $h = 3R$ и, следовательно,

$$V_2 = 3\pi R^3. \quad (2.3.3)$$

Подставляя (2.3.2), (2.3.3) в (2.3.1), получим, что искомая масса составляет:

$$m = \rho(V_1 - V_2) = 17\pi R^3 \rho \approx 0,68 \text{ кг.} \quad (2.3.4)$$

Погрешность 0,01 кг.

Ответ: $m = 17\pi R^3 \rho = (0,68 \pm 0,01)$ кг.

Задача 2.3.1.2. Нить накала (15 баллов)

Условие

Нити накала ламп изготавливают из вольфрама, удельное сопротивление которого сильно зависит от температуры. По мере прогрева нити оно возрастает от $\rho_0 = 5,5 \cdot 10^{-8}$ Ом · м до $\rho_1 = 1,1 \cdot 10^{-6}$ Ом · м. Определите электрическую мощность, потребляемую лампой в первый момент после ее включения, если в рабочем режиме (полностью прогревшись) лампа потребляет от той же сети мощность $P_1 = 30$ Вт.

Решение

Электрическая мощность P , потребляемая нитью накала, может быть вычислена по закону Джоуля – Ленца, который для фиксированного напряжения U в сети удобно записать как

$$P = U^2/R. \quad (2.3.5)$$

При этом сопротивление R нити легко выразить через ее удельное сопротивление ρ , длину l и площадь поперечного сечения S

$$R = \frac{\rho l}{S}. \quad (2.3.6)$$

Подставляя (2.3.6) в (2.3.5), получим

$$P = \frac{U^2 S}{\rho l},$$

где только ρ зависит от температуры. В результате придем к выводу, что выделяющаяся в лампе мощность обратно пропорциональна ее удельному сопротивлению, откуда окончательно следует

$$P_0 = P_1 \frac{\rho_1}{\rho_0} \approx 600 \text{ Вт.}$$

Погрешность 1 Вт.

Ответ: $P_0 = (600 \pm 1)$ Вт.

Задача 2.3.1.3. Свая (20 баллов)

Условие

Бетонная свая высотой $h = 1,4$ м и массой $m = 160$ кг полностью погружена в грунт так, что ее верхний торец совпадает с уровнем почвы. К сожалению, сваю понадобилось извлечь. Определите, какую работу для этого необходимо совершить, если сила трения со стороны грунта, действующая на сваю, прямо пропорциональна площади соприкосновения ее боковой стороны с землей и в начальный момент ее извлечения равна $F = 4$ кН. Ускорение свободного падения $g \approx 9,8$ м/с².

Решение

Работа A , необходимая для извлечения сваи, складывается из увеличения потенциальной энергии сваи на величину mgh и работы по преодолению силы трения $A_{\text{тр}}$. Последняя должна быть найдена с учетом постепенного уменьшения силы трения $F_{\text{тр}}$ от максимального значения F до нуля. Поскольку это уменьшение происходит линейно, общая работа оказывается строго вдвое меньше, чем при постоянном значении $F_{\text{тр}} = F$ (аналогично тому, как вычисляется значение работы сил упругости пружины). В результате

$$A = mgh + \frac{Fh}{2} \approx 5 \text{ кДж.} \quad (2.3.7)$$

Погрешность 0,1 кДж.

Ответ: $(5,0 \pm 0,1)$ кДж.

Задача 2.3.1.4. Двое из ларца (25 баллов)

Условие

Два дрона одновременно вылетают с общей пусковой станции и движутся по прямолинейным траекториям. Первый дрон на начальном этапе движения перемещается с постоянной скоростью $v_1 = 15$ м/с, а через время $\tau = 40$ с быстро переключается на движение с постоянной скоростью $v_2 = 20$ м/с. Второй дрон — наоборот, сначала движется со скоростью v_2 , а через время τ переключается на скорость v_1 . Наконец, дроны одновременно заканчивают полет. Определите, как долго длился этот полет, если по его итогам средняя путевая скорость первого дрона оказалась на $\Delta v = 1$ м/с выше, чем средняя путевая скорость второго.

Решение

По определению средняя путевая скорость — это отношение общего пройденного пути S к общему времени движения t :

$$v = \frac{S}{t}. \quad (2.3.8)$$

Для первого дрона это уравнение принимает вид

$$v_a = \frac{v_1\tau + v_2(t - \tau)}{t}, \quad (2.3.9)$$

а для второго, соответственно,

$$v_b = \frac{v_2\tau + v_1(t - \tau)}{t}. \quad (2.3.10)$$

Из условий задачи известно, что $v_a - v_b = \Delta v$. Подставляя в это уравнение формулы (2.3.9) и (2.3.10), а также домножая его на t , получим

$$v_1\tau + v_2(t - \tau) - v_2\tau - v_1(t - \tau) = \Delta vt. \quad (2.3.11)$$

Перегруппировав слагаемые, получим

$$v_2t - 2v_2\tau - v_1t + 2v_1\tau = \Delta vt, \quad (2.3.12)$$

откуда окончательно

$$t = \frac{2(v_2 - v_1)\tau}{v_2 - v_1 - \Delta v} = 100 \text{ с.} \quad (2.3.13)$$

Погрешность 1 с.

Ответ: (100 ± 1) с.

Задача 2.3.1.5. Призма (30 баллов)

Условие

Для тонкого контроля параметров призмы используется следующая установка: отмечается точка, в которую падает лазерный луч, направленный на экран строго под прямым углом (пунктирный на рисунке). Затем на пути луча устанавливается исследуемая призма так, что задняя (первая по ходу распространения луча) ее грань оказывается строго перпендикулярна лучу, и измеряется расстояние d , на которое в результате этого смещается пятно лазера.

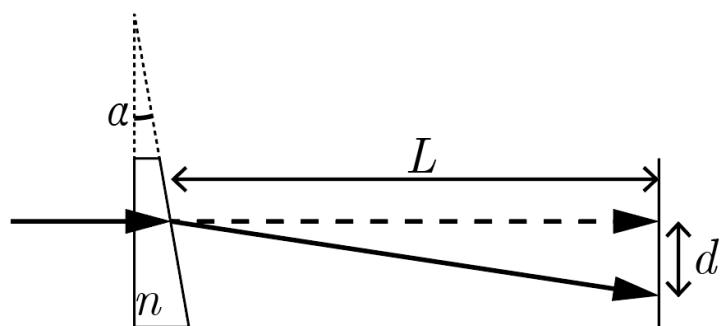


Рис. 2.3.2

Определите показатель преломления стекла, из которого изготовлена призма, если расстояние от передней грани призмы до экрана $L = 3 \text{ м}$, смещение пятна при установке призмы $d = 12 \text{ см}$, а угол между передней и задней поверхностями призмы $\alpha = 3^\circ$. Используйте приближение малых углов.

Решение

На первой по ходу распространения луча грани призмы свет не преломляется, поскольку падает на нее под прямым углом. Следовательно, угол падения луча на переднюю грань призмы равен α . Тогда по закону Снеллиуса

$$n = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha}, \quad (2.3.14)$$

где β — угол преломления луча, что с учетом приближения малых углов $\sin \alpha \approx \alpha \approx \approx \operatorname{tg} \alpha$ (в радианах) принимает форму

$$n \approx \frac{\beta}{\alpha}. \quad (2.3.15)$$

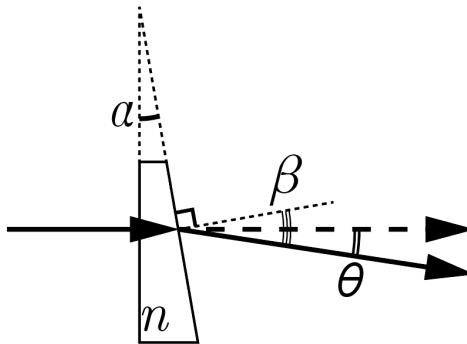


Рис. 2.3.3

Из геометрии рисунка легко видеть, что $\beta = \alpha + \theta$, где θ — угол, который преломленный луч составляет с направлением своего распространения до установки призмы. При этом $\operatorname{tg} \theta = \frac{d}{L}$, откуда

$$n\alpha \approx \beta = \alpha + \operatorname{arctg} \frac{d}{L} \Rightarrow n \approx 1 + \frac{d}{\alpha L} \approx 1,76. \quad (2.3.16)$$

Погрешность 0,02.

Ответ: $1,76 \pm 0,02$.

2.3.2. Первая волна. Задачи 10–11 класса

Задачи первой волны предметного тура по физике за 10–11 класс открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/63480/enter/>.

Задача 2.3.2.1. Беспилотник (10 баллов)

Условие

Беспилотник, двигаясь равномерно и прямолинейно и обладая при этом импульсом $p_0 = 10^4$ кг · м/с, преодолевает дистанцию $L = 20$ км ровно за 1,5 мин. За какое

время преодолеет ее этот же беспилотник, двигаясь также равномерно и прямолинейно, но обладая на $\Delta p = 10^3$ кг · м/с меньшим импульсом?

Решение

Импульс p тела — это произведение его массы на его скорость, поэтому скорость беспилотника легко может быть вычислена как

$$p_0 = \frac{mL}{t_0}, \quad (2.3.17)$$

где t_0 — время в пути с импульсом p_0 . Искомое время t можно аналогично выразить через скорость v беспилотника во второй рассмотренной ситуации как

$$t = \frac{L}{v} = \frac{Lm}{p_0 - \Delta p}. \quad (2.3.18)$$

Выражая массу беспилотника из 2.3.17 и подставляя ее в 2.3.18, получим:

$$t = \frac{\cancel{L}p_0t_0}{\cancel{L}(p_0 - \Delta p)} = 100 \text{ с.} \quad (2.3.19)$$

Погрешность 1 с.

Ответ: (100 ± 1) с.

Задача 2.3.2.2. Грузовик (15 баллов)

Условие

На плоское горизонтальное дно кузова транспортного грузовика погрузили большой грузовой контейнер и забыли его закрепить. Благодаря силе трения контейнер оставался в покое относительно грузовика до тех пор, пока ускорение последнего не превосходило $a_0 = 2,0 \text{ м/с}^2$, и начинал скользить при превышении этого значения. Совершая маневр, грузовик приобрел ускорение $a = 2,12 \text{ м/с}^2$, направленное по ходу движения. Какое время длился маневр, если в результате контейнер сдвинулся на $l = 1,5 \text{ м}$ относительно грузовика?

Решение

Исходя из того, что контейнер остается на месте при ускорении грузовика до a_0 , можно, по второму закону Ньютона, заключить, что сила трения покоя, обеспечивающая это ускорение для контейнера, не превышает значения

$$F = ma_0, \quad (2.3.20)$$

где m — масса контейнера. При любом маневре, при котором контейнер начинает скользить, на него действует сила трения скольжения, равная F и, следовательно, его ускорение относительно дороги оказывается равно a_0 .

Во время маневра ускорение контейнера относительно грузовика равно (по модулю) $a - a_0$, а пройденное контейнером относительно грузовика расстояние может быть выражено по законам кинематики как

$$l = \frac{(a - a_0)t^2}{2}, \quad (2.3.21)$$

где t — искомое в задаче время. Преобразуя эту формулу, получим

$$t = \sqrt{\frac{2l}{a - a_0}} = 5 \text{ с.} \quad (2.3.22)$$

Погрешность 0,1 с.

Ответ: $(5,0 \pm 0,1)$ с.

Задача 2.3.2.3. Методичка (20 баллов)

Условие

На лабораторной работе по физике в распоряжении школьников оказались резисторы двух номиналов: с сопротивлениями x и y кОм, а также конденсаторы двух номиналов: с емкостями x и y мкФ, при этом $x > y$. В старой методичке, посвященной этой лабораторной работе, была изображена схема, приведенная на рисунке, чернила на которой сильно затерлись. В результате Витя решил, что изображенные элементы являются резисторами, и, соединив их согласно схеме, получил элемент с эквивалентным сопротивлением $R = 5$ кОм. Таня же решила, что это конденсаторы и, соединив их, получила элемент с эквивалентной емкостью $C = 2$ мкФ. Определите, чему равнялось число y .

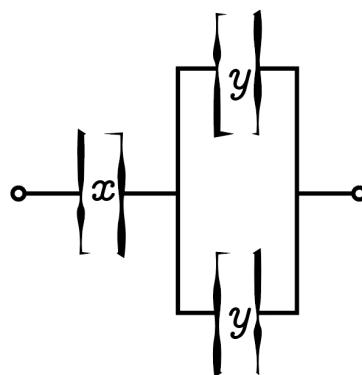


Рис. 2.3.4

Решение

При последовательном соединении резисторов их сопротивления складываются, а при параллельном — складываются обратные сопротивлениям величины. Поэтому сопротивление R схемы Вити через числа x и y в килоомах (кОм) может быть выражено по формуле

$$R = x + \frac{y}{2}. \quad (2.3.23)$$

Для конденсаторов правила поиска эквивалентной емкости при их последовательном и параллельном соединениях в точности обратные, поэтому емкость схемы Тани может быть выражена в микрофарадах (мкФ) по формуле

$$C = \frac{2xy}{x + 2y}. \quad (2.3.24)$$

Выразим x из уравнения (2.3.23) и подставим в (2.3.24):

$$C = \frac{2(R - y/2)y}{R + 3y/2}. \quad (2.3.25)$$

Домножив полученное уравнение на знаменатель дроби и раскрыв скобки, получим

$$RC + \frac{3Cy}{2} = 2Ry - y^2. \quad (2.3.26)$$

Поскольку величины x и y имеют разную размерность в разных частях задачи, имеет смысл сразу перейти к численным значениям

$$10 + 3y = 10y - y^2. \quad (2.3.27)$$

Это квадратное уравнение, которое легко привести к канонической форме

$$y^2 - 7y + 10 = 0 \quad (2.3.28)$$

и решить с помощью дискриминанта

$$y_{1,2} = \frac{7 \pm \sqrt{49 - 40}}{2} = \frac{7 \pm 3}{2}. \quad (2.3.29)$$

Снова воспользовавшись уравнением (2.3.23), легко определить, что при $y = 5$ (корень квадратного уравнения с плюсом) $x = 2,5$, что не удовлетворяет условию $x > y$. В то же время, при $y = 2$ (корень с минусом) $x = 4$, что удовлетворяет этому условию. Стало быть, верный корень — $y = 2$.

Погрешность 0,1.

Ответ: $2,0 \pm 0,1$.

Задача 2.3.2.4. Морозилка (25 баллов)

Условие

Морозильная установка работает по циклу Карно, обходимому в обратном направлении. Какую работу должна потребить такая установка, чтобы заморозить $m = 0,4$ кг воды, взятой при ее температуре замерзания, передав полученную от нее теплоту в помещение, температура θ которого равна 30 °C? Удельная теплота плавления и кристаллизации воды $\lambda = 333$ кДж/кг, абсолютный ноль температур $T_0 = -273$ °C.

Решение

Идеальный тепловой двигатель (машина Карно) работает, как известно, по циклу, состоящему из двух изотерм и двух адиабат, и имеет КПД

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2}, \quad (2.3.30)$$

где T_1 — минимальная, а T_2 — максимальная температуры в цикле. По определению КПД тепловой машины он равен отношению работы A , совершающей газом за цикл, к теплоте Q_2 , получаемой им от нагревателя

$$\frac{T_2 - T_1}{T_2} = \eta = \frac{A}{Q_2}. \quad (2.3.31)$$

Отсюда Q_2 может быть выражено как

$$Q_2 = \frac{AT_2}{T_2 - T_1}. \quad (2.3.32)$$

Поскольку за полный цикл внутренняя энергия не изменяется, количество теплоты Q_1 , которую газ отдает холодильнику такой машины, равна разнице

$$Q_1 = Q_2 - A = \frac{AT_1}{T_2 - T_1}. \quad (2.3.33)$$

В рассматриваемой задаче тепловой двигатель заменен холодильной машиной, для чего его цикл необходимо обходить в обратном направлении. При этом тепловой резервуар с температурой T_2 начинает получать тепло, а с температурой T_1 — отдавать, но по модулю количества теплоты, которыми газ обменивается с этими тепловыми резервуарами, не изменяются. Остается заметить, что в описанной в условиях холодильной машине $T_1 = 0^\circ\text{C} = 273\text{ K}$, $T_2 = \theta$, $Q_1 = \lambda m$, поскольку забираемая у теплового резервуара с меньшей температурой теплота идет на замораживание в нем воды. Подставив эти данные в (2.3.33), получим

$$\lambda m = \frac{AT_1}{\theta - T_1}, \quad (2.3.34)$$

откуда окончательно выражим ответ

$$A = \frac{\lambda m(\theta - T_1)}{T_1} \approx 14,6 \text{ Дж.} \quad (2.3.35)$$

Погрешность: 0,5 Дж.

Ответ: $(14,6 \pm 0,5)$ Дж.

Задача 2.3.2.5. Электромагнит (30 баллов)

Условие

Для большого промышленного электромагнита критически важной стала проблема охлаждения. Было установлено, что при пропускании через электромагнит

тока $I_1 = 10 \text{ A}$ он нагревается до температуры $t_1 = 70^\circ\text{C}$, после чего перестает увеличивать свою температуру, а при пропускании через него тока $I_2 = 20 \text{ A}$ — до температуры $t_2 = 205^\circ\text{C}$.

Определите температуру θ в помещении цеха, в котором используется электромагнит, если известно, что основным механизмом, отвечающим за охлаждение магнита, выступает теплопроводность, мощность которой прямо пропорциональна разнице температур между телами, обменивающимися теплом.

Решение

Как указано в условиях, мощность теплопроводности прямо пропорциональна разнице температур между магнитом и окружающим его воздухом в помещении цеха. Обозначим коэффициент этой пропорциональности κ

$$\begin{cases} P_1 = \kappa(\theta - t_1), \\ P_2 = \kappa(\theta - t_2). \end{cases} \quad (2.3.36)$$

Повышение температуры останавливается, когда мощность производимого катушкой тепла и мощность тепла, уходящего от катушки, благодаря теплообмену, оказываются равны. Первую можно выразить из закона Джоуля — Ленца

$$\begin{cases} P_1 = I_1^2 R, \\ P_2 = I_2^2 R, \end{cases} \quad (2.3.37)$$

где R — сопротивление катушки.

Разделим друг на друга уравнения системы (2.3.36) и уравнения системы (2.3.37), а затем приравняем эти отношения:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\theta - t_1}{\theta - t_2} = \frac{I_1^2}{I_2^2}. \quad (2.3.38)$$

Тривиальными алгебраическими преобразованиями выразим θ

$$(\theta - t_1)I_2^2 = (\theta - t_2)I_1^2 \Rightarrow \theta = \frac{t_1 I_2^2 - t_2 I_1^2}{I_2^2 - I_1^2} = 25^\circ\text{C}. \quad (2.3.39)$$

Погрешность: $0,1^\circ\text{C}$.

Ответ: $(25,0 \pm 0,1)$.

2.3.3. Вторая волна. Задачи 8–9 класса

Задачи второй волны предметного тура по физике за 8–9 класс открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Конкурс: <https://contest.yandex.ru/contest/63464/enter/>.

Задача 2.3.3.1. Аккумулятор тепла (10 баллов)

Условие

Для печи отопления требуется разработать аккумулятор тепла, представляющий собой емкость фиксированного объема, заполненную тем или иным минералом. Используя таблицу 2.3.1 плотностей ρ и удельных теплоемкостей $c_{уд}$ различных подходящих для этого пород, расположите их в порядке увеличения количества теплоты, которое может быть запасено в таком аккумуляторе при его нагреве до одной и той же температуры θ . Считайте, что θ заведомо меньше температур, при которых любой из этих минералов начнет плавиться или химически разрушаться, а тепловое расширение этих минералов при нагреве до θ пренебрежимо мало.

Таблица 2.3.1. Плотности и удельные теплоемкости

| | Минерал | $\rho, \text{ г/см}^3$ | $c_{уд}, \text{ кДж/(кг} \cdot {^\circ}\text{C)}$ |
|---|--------------|------------------------|---|
| A | Кварц | 2,6 | 0,75 |
| B | Базальт | 2,8 | 0,85 |
| C | Талькохлорит | 2,75 | 0,98 |
| D | Нефрит | 3 | 1,1 |
| E | Порфирит | 1,45 | 0,83 |

Ведите в поле ответа последовательность букв, соответствующих выбранным минералам, без пробелов, от наименьшего к наибольшему количеству запасаемой теплоты.

Решение

Количество тепла Q , которое может быть запасено в тепловом аккумуляторе фиксированного объема V , удобно выразить через массу m материала этого аккумулятора

$$Q = c_{уд}m(\theta - t_0), \quad (2.3.40)$$

где t_0 — начальная температура теплоаккумулятора. В свою очередь, масса m элементарно выражается через плотность вещества и объем V

$$m = \rho V, \quad (2.3.41)$$

откуда

$$Q = c_{уд}\rho V(\theta - t_0). \quad (2.3.42)$$

Поскольку величины V, θ, t_0 независимы от выбранного вещества, задача сводится к расположению в порядке возрастания произведений $c_{уд}\rho$. Найдем эти произведения для всей таблицы 2.3.1.

Таблица 2.3.2

| | Минерал | ρ , г/см ³ | $c_{уд}$, кДж/(кг · °C) | $c_{уд}\rho$, кДж/(м ³ · °C) |
|---|--------------|----------------------------|--------------------------|--|
| A | Кварц | 2,6 | 0,75 | 1 950 |
| B | Базальт | 2,8 | 0,85 | 2 380 |
| C | Талькохлорит | 2,75 | 0,98 | 2 695 |
| D | Нефрит | 3 | 1,1 | 3 300 |
| E | Порфирит | 1,45 | 0,83 | 1 204 |

Ответ: EABCD.

Задача 2.3.3.2. Изображения (15 баллов)

Условие

Тонкая собирающая линза имеет фокусное расстояние $F = 20$ см. Вдоль ее оптической оси перед линзой расположено плоское зеркало, на расстоянии $h = 2$ см от которого и $d = 60$ см от линзы размещен светодиод S (рис. 2.3.5). Найдите расстояние между двумя действительными изображениями светодиода, формируемыми этой оптической системой.

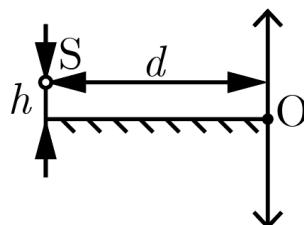


Рис. 2.3.5

Решение

Зеркало формирует мнимое изображение S_1 источника, расположенное в противоположном от него полупространстве на таком же расстоянии от зеркала, как и сам источник. В силу перпендикулярности зеркала и линзы, это мнимое изображение также окажется на расстоянии d от плоскости линзы. Далее линза формирует два действительных изображения: одно непосредственно от источника S (на рис. 2.3.6 оно обозначено S_2) и другое — от его мнимого изображения S_1 (S_3 на рисунке).

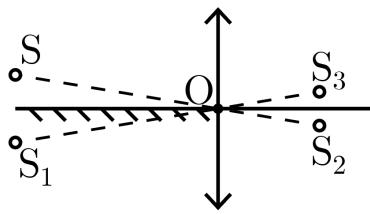


Рис. 2.3.6

Расстояние f , на котором находятся оба действительных изображения от плоскости линзы, легко найти по формуле тонкой линзы

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F} \Rightarrow f = \frac{Fd}{d - F}. \quad (2.3.43)$$

Искомое расстояние l между изображениями S_2 и S_3 , благодаря подобию треугольников $\triangle OSS_1$ и $\triangle OS_2S_3$, относится к расстоянию $2h$ между источником и его мнимым изображением S_1 так же, как расстояния от соответствующих изображений и источников до плоскости линзы, являющиеся высотами указанных треугольников

$$\frac{l}{2h} = \frac{f}{d} = \frac{F}{d - F}. \quad (2.3.44)$$

Отсюда окончательно находим

$$l = 2h \frac{F}{d - F} = 2 \text{ см.} \quad (2.3.45)$$

Погрешность 0,1 см.

Ответ: $l = (2,0 \pm 0,1)$ см.

Задача 2.3.3.3. Пила (30 баллов)

Условие

Циркулярная пила представляет собой пильный диск диаметром $D = 19$ см, вращающийся с частотой 4 500 об/мин. Определите среднюю силу сопротивления заготовки вращению полотна пилы, если за один пропил, длившийся $t = 3$ с, выделилось $Q = 5$ кДж тепла, а пила соприкасалась с заготовкой только узкой полоской своей внешней кромки.

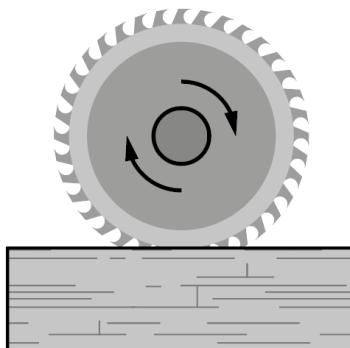


Рис. 2.3.7

Решение

При вращении пилы диссипативные силы (трения различных типов) переводят механическую энергию пильного диска в тепловую. При этом количество выделяющегося тепла равно по модулю работе A этих сил. Последнюю легко найти из ее определения

$$A = FS = Fvt, \quad (2.3.46)$$

где S — путь точек соприкосновения диска с заготовкой, v — скорость этих точек. При вращении диска скорость точек его кромки удобно выразить через период вращения T этого диска

$$v = \frac{\pi D}{T} = \pi D\nu, \quad (2.3.47)$$

где ν — частота вращения диска в оборотах в секунду. Подставляя (2.3.47) в (2.3.46) и учитывая $Q = A$, получим окончательно

$$Q = \pi F D \nu t \Rightarrow F = \frac{Q}{\pi D \nu t} \approx 37 \text{ Н.} \quad (2.3.48)$$

Погрешность 1 Н.

Ответ: $F = (37 \pm 1)$ Н.

Задача 2.3.3.4. Питстоп (25 баллов)

Условие

Транспортный робот перемещается из города A в город B , двигаясь практически все время с некоторой постоянной скоростью v . Однако один раз за маршрут ему необходима остановка для заправки и краткого технического обслуживания. Инженеры установили, что при уменьшении длительности этой остановки вдвое скорость движения робота на остальной части маршрута можно будет снизить на $\delta = 10\%$, сохранив при этом его среднюю путевую скорость, что поможет повысить безопасность и экономичность движения. Определите, на сколько процентов (от исходного значения) удалось бы снизить скорость v без изменения средней путевой, если бы от технической остановки удалось полностью отказаться?

Решение

Средняя путевая скорость определяется как отношение всего пути ко всему времени, которое этот путь занимает. Поскольку расстояние между городами неизменно, сохранение средней путевой скорости означает и сохранение общего времени в пути (включая остановку). Следовательно, уменьшение длительности остановки на Δt эквивалентно увеличению времени непосредственного движения на ту же величину. Обозначим общее время робота в пути t , исходную длительность его остановки τ , а исходную скорость движения v_0 . Тогда путь робота может быть выражен до и после снижения времени остановки как

$$S = v_0(t - \tau) = v_0(1 - \delta) \left(t - \frac{\tau}{2} \right). \quad (2.3.49)$$

Сократив v_0 и перегруппировав слагаемые, получим

$$\delta t = \tau \left(1 - \frac{1}{2} + \frac{\delta}{2} \right) = \tau \frac{\delta + 1}{2}. \quad (2.3.50)$$

Полностью избавившись от остановки, таким образом, робот будет двигаться в течение времени

$$t = \tau \frac{\delta + 1}{2\delta}. \quad (2.3.51)$$

Аналогично, время движения $t - \tau$ при наличии остановки удобно записать как

$$t - \tau = \tau \left(\frac{\delta + 1}{2\delta} - 1 \right) = \tau \frac{1 - \delta}{2\delta}. \quad (2.3.52)$$

Обозначив v_1 скорость, которой можно добиться, исключив остановку, запишем через эти выражения путь и приравняем его в случаях с остановкой и без

$$v_1 t = v_0 (t - \tau) \Rightarrow v_1 \tau \frac{\delta + 1}{2\delta} = v_0 \tau \frac{1 - \delta}{2\delta}. \quad (2.3.53)$$

Отсюда окончательно

$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{1 - \delta}{1 + \delta} \approx 0,818. \quad (2.3.54)$$

Итого скорость движения без остановки может составлять приблизительно 81,8% от исходной скорости, то есть ниже ее на 18,2%.

Погрешность 0,5%.

Ответ: $(18,2 \pm 0,5)\%$.

Задача 2.3.3.5. Сцепка (30 баллов)

Условие

Два абсолютно одинаковых ползунковых реостата, сопротивления которых могут изменяться в пределах от 0 до $R_0 = 2$ кОм, размещены параллельно на печатной плате и соединены как изображено на рис. 2.3.8. Из-за ошибки в процессе пайки изоляция их ползунков слиплась таким образом, что ползунки всегда занимают одно и то же положение на обоих реостатах, но электрический контакт между ними отсутствует (это соединение обозначено на рисунке пунктиром). Найдите разницу между максимальным и минимальным сопротивлениями полученной батареи.

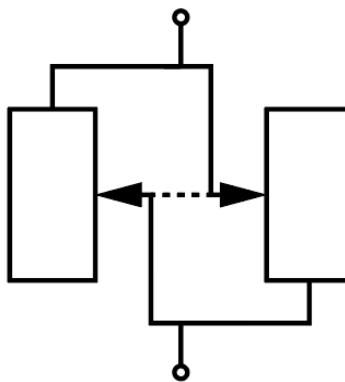


Рис. 2.3.8

Решение

Реостаты на схеме соединены параллельно, поэтому общее сопротивление схемы R может быть выражено через сопротивления $R_{1,2}$ каждого из реостатов по формуле

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}. \quad (2.3.55)$$

Несложно видеть из схемы, что когда ползунок находится в крайнем верхнем положении, левый реостат имеет нулевое сопротивление, а правый — сопротивление R_0 и наоборот. Величина сопротивления находится в линейной зависимости от длины провода. Из этого можно заключить, что при любом положении ползунка

$$R_2 = R_0 - R_1. \quad (2.3.56)$$

Подставляя этот результат в (2.3.55), получим

$$R = \frac{R_1(R_0 - R_1)}{R_0} = R_1 - \frac{R_1^2}{R_0}. \quad (2.3.57)$$

График полученной функции является параболой. Его минимумы и максимумы могут лежать либо на границах диапазона изменения R_1 , либо в вершине соответствующей параболы. Поскольку коэффициент перед квадратным слагаемым отрицательный, парабола «поворнута» ветвями вниз, то есть на границах диапазона (при $R_1 = 0$ или $R_1 = R_0$) сопротивления батареи минимальны и равны 0, а в ее вершине (которая, как легко видеть из симметрии или непосредственно по формуле $x_{max} = -b/(2a)$, лежит в центре диапазона, при $R_1 = R_2 = \frac{R_0}{2}$) сопротивление батареи равно $\frac{R_0}{4}$.

Таким образом,

$$R_{max} - R_{min} = \frac{R_0}{4} - 0 = \frac{R_0}{4} = 0,5 \text{ кОм.} \quad (2.3.58)$$

Погрешность 0,01 кОм.

Ответ: $l = (0,50 \pm 0,01) \text{ кОм.}$

2.3.4. Вторая волна. Задачи 10–11 класса

Задачи второй волны предметного тура по физике за 10–11 класс открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/63481/enter/>.

Задача 2.3.4.1. Зарядка (10 баллов)

Условие

Для увеличения ресурса аккумулятора его зарядка происходит по специальной программе, учитывающей внешние условия, интенсивность использования прибора и другие факторы. Рассчитав оптимальный режим, зарядное устройство в течении $\tau = 10$ мин подавало на аккумулятор ток, линейно возраставший со временем от нуля до максимального значения $I_0 = 3$ А, затем в течение $2,5\tau$ поддерживало постоянное значение этого тока и, наконец, на протяжении $\tau/2$, также линейно опускало ток от максимального значения до нуля. Какой общий заряд поступил на положительную клемму аккумулятора за все это время?

Решение

Один из способов решения задачи состоит в обнаружении аналогии между током и движением. Подобно тому, как скорость описывает темп изменения координаты, сила тока описывает темп поступления заряда на аккумулятор. Из кинематики известно, что при равномерном увеличении этого темпа (равноускоренном движении) от нуля, либо при равномерном снижении этого темпа (равнозамедленном движении) до нуля тело проходит вдвое меньшее расстояние, чем при движении с постоянной скоростью, равной максимальной на рассматриваемом участке. Применяя этот результат к току, заметим, что за время $2,5\tau$ постоянного тока зарядки на аккумулятор поступил заряд

$$q_1 = 2,5\tau I_0, \quad (2.3.59)$$

а за общее время $1,5\tau$ увеличения и уменьшения силы тока — заряд

$$q_2 = \frac{1,5\tau I_0}{2} = 0,75\tau I_0. \quad (2.3.60)$$

Складывая эти заряды, получим окончательно

$$q = 3,25\tau I_0 = 5850 \text{ Кл.} \quad (2.3.61)$$

Задача также может быть решена графически, изображением зависимости $I(t)$ и вычислением площади под ней. Фактически такое решение также является применением аналогии, но геометрической, а не кинематической.

Погрешность 50 Кл.

Ответ: (5850 ± 50) Кл.

Задача 2.3.4.2. Принтер (15 баллов)

Условие

Печатающая головка 3D-принтера может перемещаться вдоль направляющей (координата x), которая также может смещаться в перпендикулярном направлении (координата y) под действием двух сервоприводов. Для изготовления детали на принтер была передана программа, согласно которой сервоприводы должны перемещать головку по законам $x(t) = 0,2 \sin(t/10)$; $y(t) = 0,1 + 0,2 \cos(t/10)$, где t — время, а все величины даны в основных единицах СИ. Найдите величину ускорения печатающей головки при выполнении этой программы.

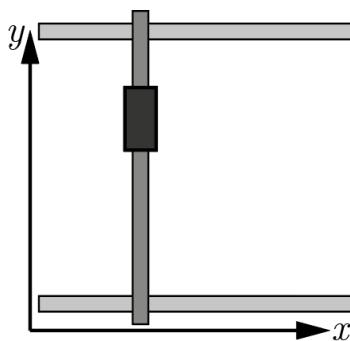


Рис. 2.3.9

Решение

Прежде всего заметим, что уравнения приведенного типа параметрически задают окружность. Это следует из самого определения синуса и косинуса. Радиус R этой окружности равен множителю перед синусом и косинусом (т. к. в математическом определении тригонометрических функций используется единичная окружность), то есть $R = 0,2$ м. Здесь было учтено, что основными единицами СИ для измерения длины являются метры.

Поскольку зависимость угла на окружности (аргумента синуса и косинуса) от времени линейна, модуль скорости v печатающей головки постоянен. Чтобы найти его, определим период обращения. Печатающая головка описывает полную окружность, когда аргумент синуса и косинуса меняется на 2π , что происходит при достижении t значения $T = 20\pi$ с. Тогда

$$v = \frac{2\pi R}{T}. \quad (2.3.62)$$

Окончательно заметим, что при неизменной по модулю скорости головки единственное ее ускорение — центростремительное, которое может быть найдено как

$$a = \frac{v^2}{R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = \frac{4\pi^2 \cdot 0,2}{400\pi} \approx 2 \text{ мм/с}^2. \quad (2.3.63)$$

Погрешность 0,1 мм/с².

Ответ: $(2,0 \pm 0,1)$ мм/с².

Задача 2.3.4.3. Плита (20 баллов)

Условие

Квадратная плита ABCD со стороной $a = 40$ см шарнирно закреплена в одной точке и вращается вокруг оси, перпендикулярной ее плоскости с постоянной угловой скоростью. При этом в некоторый момент времени скорость вершины С этой плиты направлена строго на вершину D, а ускорение вершины A — строго на вершину B (см. рис. 2.3.10). На каком расстоянии от центра пластины находится шарнир?

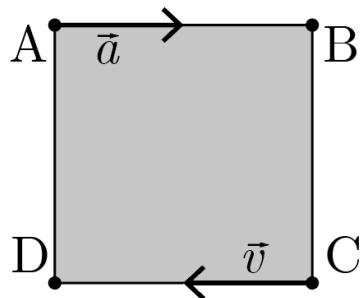


Рис. 2.3.10

Решение

При плоском вращении скорость каждой точки тела направлена перпендикулярно направлению из этой точки на ось вращения, а ускорение (центростремительное) — непосредственно на эту ось. Поэтому, проведя одну прямую через точку С перпендикулярно ее скорости, а другую — через точку A вдоль ее ускорения, можно найти ось вращения как точку пересечения этих прямых. Такой точкой будет, разумеется, вершина B, а расстояние от нее до центра пластины равно

$$l = \frac{\sqrt{2}}{2}a \approx 28,3 \text{ см.} \quad (2.3.64)$$

Погрешность 0,5 см.

Ответ: $(28,3 \pm 0,5)$ см.

Задача 2.3.4.4. Прямоугольники (25 баллов)

Условие

К проекту модельного теплового двигателя, рабочим телом которого является идеальный одноатомный газ, прилагается pV -диаграмма его рабочего цикла, представляющая собой прямоугольник 1234. К сожалению, автор не указал ни давления, ни объемы характерных точек, а ограничился «площадями» (в энергетических единицах) некоторых прямоугольников на данной диаграмме, которые указаны на рис. 2.3.10. Да к тому же самая важная площадь — площадь внутри цикла 1234, стерлась. Тем не менее определите КПД данного двигателя.

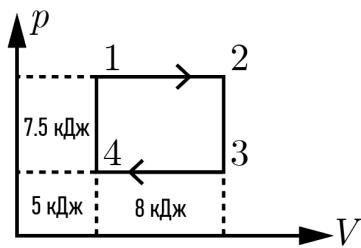


Рис. 2.3.11

Решение

КПД η теплового двигателя определяется как отношение работы A газа за один цикл этого двигателя к количеству теплоты Q , получаемой газом за этот цикл от нагревателя:

$$\eta = \frac{A}{Q}. \quad (2.3.65)$$

Первая — есть площадь прямоугольника 1234. Найти ее просто, если заметить, что поскольку высота (вдоль оси p) у верхних двух прямоугольников одинакова, их площади относятся так же, как и их ширины (вдоль оси V), и то же верно для нижней пары прямоугольников

$$A = 7,5 \frac{8}{5} = 12 \text{ кДж}. \quad (2.3.66)$$

Чтобы найти теплоту Q , воспользуемся первым началом термодинамики $Q = A + \Delta U$ и заметим, что газ получает теплоту на процессах 41 и 12. Работа за эти два процесса равна полной площади под отрезком 12

$$A_{412} = 12 + 8 = 20 \text{ кДж}, \quad (2.3.67)$$

а внутренняя энергия может быть удобно вычислена по формуле

$$U = \frac{3}{2}PV, \quad (2.3.68)$$

из которой следует, что внутренняя энергия U_4 газа в состоянии 4 равна

$$U_4 = \frac{3}{2}5 = 7,5 \text{ кДж}, \quad (2.3.69)$$

поскольку произведение PV для этого состояния есть площадь одного соответствующего прямоугольника. Аналогично, внутренняя энергия U_2 газа в состоянии 2 равна

$$U_2 = \frac{3}{2}(7,5 + 12 + 5 + 8) = 48,75 \text{ кДж}, \quad (2.3.70)$$

поскольку в этом состоянии соответствующее произведение PV равно общей площади всех прямоугольников на диаграмме.

Подставляя все найденные величины в исходное уравнение (2.3.65), получим окончательно

$$\eta = \frac{A}{A_{412} + U_2 - U_4} = \frac{12}{20 + 48,75 - 7,5} \approx 19,6\%. \quad (2.3.71)$$

Погрешность 1%.

Ответ: $(19,6 \pm 1,0)\%$

Задача 2.3.4.5. Трюм (30 баллов)

Условие

Трюм грузового судна представляет собой призму с основанием в виде равностороннего треугольника вершиной вниз. Длина внешней стороны треугольника $a = 15$ м, толщина его стенок $d = 1,5$ м, длина киля судна (высота призмы) $l = 40$ м. Инженерами было рассчитано, что для сохранения устойчивости судна центр тяжести сыпучего груза, перевозимого в трюме, должен быть хотя бы на $h = 2$ м ниже центра тяжести вытесняемой трюмом воды при его полном погружении. Какой максимальный объем груза можно разместить в трюме, если при насыпании его центр тяжести занимает самое низкое доступное положение?

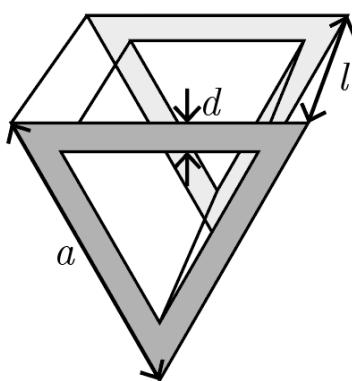


Рис. 2.3.12

Решение

Сыпучий груз занимает объем, форма которого также является призмой с основанием в виде равностороннего треугольника, во всяком случае, при необходимости понизить центр тяжести. В силу симметрии, центр тяжести равностороннего треугольника находится в его геометрическом центре. Поскольку центр тяжести груза должен быть на h ниже, чем центр тяжести вытесненной воды, центр треугольника, формируемого сечением насыпанного груза (темный на рис. 2.3.13), на h ниже центра трюма.

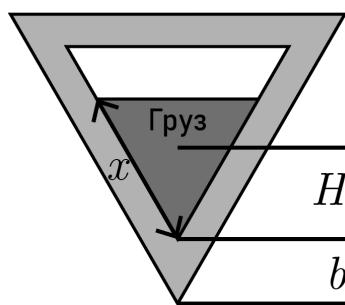


Рис. 2.3.13

Отсчитывая от киля (нижней вершины треугольника) высоту $y_{\text{в}}$, на которой

находится центр тяжести вытесненной воды, легко выразить как

$$y_{\text{в}} = \frac{\sqrt{3}}{3}a, \quad (2.3.72)$$

поскольку радиус описанной окружности для равностороннего треугольника в $\sqrt{3}/3$ раз меньше его стороны.

Высота y_{Γ} центра тяжести груза может быть найдена как

$$y_{\Gamma} = b + H, \quad (2.3.73)$$

где b — толщина стенки вдоль соответствующего направления (см. рис. 2.3.13), а H — высота центра тяжести груза от нижней внутренней точки трюма. Обе эти величины вычисляются из тригонометрии

$$b = 2d; \quad H = \frac{\sqrt{3}}{3}x, \quad (2.3.74)$$

где x — сторона треугольника, являющегося поперечным сечением груза.

Учитывая $y_{\Gamma} + h = y_{\text{в}}$, получим

$$\frac{\sqrt{3}}{3}x + 2d + h = \frac{\sqrt{3}}{3}a, \quad (2.3.75)$$

откуда

$$x = a - \sqrt{3}(2d + h) \approx 6,34 \text{ м.} \quad (2.3.76)$$

Объем, занимаемый грузом при такой длине его стороны, находится как произведение площади равностороннего треугольника на длину киля

$$V = \frac{\sqrt{3}}{4}x^2l \approx 696 \text{ м}^3. \quad (2.3.77)$$

Погрешность 10 м³.

Ответ: (696 ± 10) м³.

2.3.5. Третья волна. Задачи 8–9 класса

Задачи третьей волны предметного тура по физике за 8–9 класс открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Конкурс: <https://contest.yandex.ru/contest/63465/enter/>.

Задача 2.3.5.1. Башня (10 баллов)

Условие

В гидравлической системе используется башня, заполненная минеральным маслом с плотностью $\rho = 900 \text{ кг}/\text{м}^3$. Верхний уровень маслаложен на $h = 60 \text{ м}$ выше, чем смотровое окно в трубе с маслом, закрепленное на ней при помощи $n = 16$ одинаковых болтов. Определите, какую нагрузку должен выдерживать каждый из этих болтов на разрыв, чтобы обеспечить трехкратный запас прочности? Площадь смотрового окна $S = 0,1 \text{ м}^2$. Ускорение свободного падения $g = 9,8 \text{ м}/\text{с}^2$.

Решение

Давление p масла на уровне окна элементарно вычисляется по формуле гидростатического давления

$$p = \rho gh. \quad (2.3.78)$$

Исходя из определения всякого давления p как отношения силы F к площади S , на которую действует эта сила, найдем силу со стороны жидкости, «пытающуюся выдавить» смотровое окно

$$F = pS = \rho ghS. \quad (2.3.79)$$

Искомая расчетная нагрузка f каждого из болтов может быть получена домножением этой силы на 3 (требуемый запас прочности) и делением на число болтов n , по которым распределяется нагрузка

$$f = \frac{3F}{16} = \frac{3\rho ghS}{16} \approx 9,9 \text{ кН.} \quad (2.3.80)$$

Погрешность 0,1 кН.

Ответ: $(9,9 \pm 0,1)$ кН.

Задача 2.3.5.2. Реостат (15 баллов)

Условие

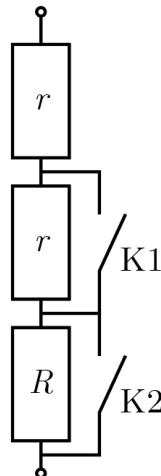


Рис. 2.3.14

Имея в своем распоряжении резисторы только двух различных номиналов, начинающий радиолюбитель изготовил ступенчатый реостат оригинальной конструкции, позволяющий, переключая ключи, получить четыре различных значения сопротивления. Увы, на приложенной к прибору схеме он забыл указать сопротивления отдельных резисторов, указав только, какие из них совпадают. В техническом паспорте устройства остались данные о том, что при замыкании ключа K_1 и размыкании ключа K_2 оно имеет сопротивление $R_1 = 2 \text{ кОм}$, а напротив, при замыкании ключа K_2 и размыкании ключа K_1 — сопротивление $R_2 = 3 \text{ кОм}$. Найдите максимальное сопротивление, которое можно получить, используя этот реостат.

Решение

Когда параллельно резистору коротко замыкается цепь, этот резистор фактически перестает работать, поскольку сопротивление провода пренебрежимо мало. Следовательно, замыкание ключа К1 фактически эквивалентно замене среднего резистора на отрезок провода, а ключа К2 — такой же замене нижнего. Учитывая это и применяя формулу эквивалентного сопротивления последовательно соединенных резисторов, легко получим

$$\begin{cases} R_1 = r + R, \\ R_2 = 2r. \end{cases} \quad (2.3.81)$$

Решая эту систему, находим $r = \frac{R_2}{2}$ и $R = R_1 - \frac{R_2}{2}$. Теперь точно так же составим выражения для оставшихся двух конфигураций реостата: R_3 с обоими замкнутыми ключами и R_4 с обоими разомкнутыми

$$\begin{cases} R_3 = r = \frac{R_2}{2} = 1,5 \text{ кОм}, \\ R_4 = 2r + R = R_1 + \frac{R_2}{2} = 3,5 \text{ кОм}. \end{cases} \quad (2.3.82)$$

Погрешность 0,01 кОм.

Ответ: $(3,50 \pm 0,1)$ кОм.

Задача 2.3.5.3. Теплоноситель (20 баллов)

Условие

В некоторых типах ядерных реакторов в качестве теплоносителя используются жидкие металлы. Определите, сколько теплоты за 1 с забирает у реактора жидкий свинец с удельной теплоемкостью $c = 155 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{°C})$ и средней плотностью $\rho = 10^4 \text{ кг}/\text{м}^3$, если, двигаясь в трубе диаметром $d = 10 \text{ см}$ со скоростью $v = 20 \text{ м}/\text{с}$, он нагревается от $t_1 = 400 \text{ °C}$ до $t_2 = 900 \text{ °C}$.

Решение

Обозначим рассматриваемый промежуток времени (1 с) τ . Двигаясь со скоростью v , свинец успевает за это время пройти в трубе дистанцию $l = v\tau$. Учитывая площадь сечения трубы $S = \pi d^2/4$, можно заключить из этого, что за время τ в реактор поступает из реактора уходит объем

$$V = Sl = \frac{\pi}{4}d^2v\tau \quad (2.3.83)$$

расплавленного свинца. Количество теплоты Q , которое этот свинец забирает у реактора, задается выражением

$$Q = cm(t_2 - t_1) = c\rho V(t_2 - t_1) = \frac{\pi}{4}c\rho d^2 v \tau (t_2 - t_1) \approx 122 \text{ МДж}, \quad (2.3.84)$$

где m — масса поступившей и ушедшей порции свинца.

Погрешность 2 МДж.

Ответ: (122 ± 2) МДж.

Задача 2.3.5.4. Шкала (25 баллов)

Условие

Шкала вольтметра, используемого в эксперименте, имеет вид, представленный на рис. 2.3.15, и общую длину $l = 15$ см (от минимальной до максимальной отметки). Экспериментатор, глядя на прибор под углом 45° к плоскости шкалы, считал показания вольтметра как $U_1 = 1,2$ В ровно, однако на самом деле стрелка прибора находилась напротив отметки $U_2 = 0,8$ В. Определите, на какое расстояние отстоит стрелка от шкалы, если известно, что глаза экспериментатора находились со шкалой строго на одном уровне высоты, а деления расположены на шкале равномерно.

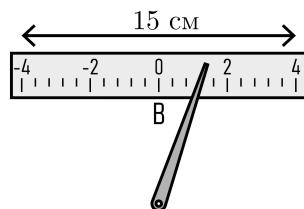


Рис. 2.3.15

Решение

Согласно условиям, глаза экспериментатора находятся на одной высоте со шкалой, поэтому удобно изобразить систему в горизонтальной плоскости (вид сверху), см. рис. 2.3.16. Поскольку угол α , под которым наблюдатель смотрит на стрелку, равен 45° , искомое расстояние x в точности равно расстоянию y между точкой A действительных показаний прибора и точкой B считанных экспериментатором показаний (треугольник ABC , где C — стрелка — прямоугольный и равнобедренный).

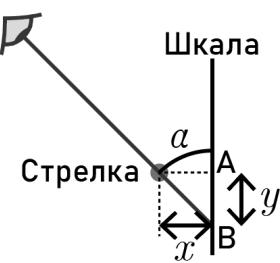


Рис. 2.3.16

Тогда остается вычислить расстояние y между отметками шкалы, соответствующими значениям U_1 и U_2 . Поскольку шкала равномерная, это расстояние относится к полной длине шкалы так же, как величина абсолютной ошибки к ее разнице между ее верхним U_{max} и нижним U_{min} пределами измерений

$$\frac{y}{l} = \frac{U_2 - U_1}{U_{max} - U_{min}}. \quad (2.3.85)$$

Отсюда окончательно

$$x = y = l \frac{U_2 - U_1}{U_{max} - U_{min}} = 7,5 \text{ мм.} \quad (2.3.86)$$

Погрешность 0,1 мм.

Ответ: $(7,5 \pm 0,1)$ мм.

Задача 2.3.5.5. Площадка (30 баллов)

Условие

Три робота одновременно стартуют в углу А прямоугольной площадки ABCD. Все они движутся с постоянными по модулю скоростями и все заканчивают движение в точке D одновременно. Но первый робот движется по прямой вдоль стороны AD, второй — по трехзвенной ломаной ABCD, а третий — по двузвенной: сначала вдоль диагонали AC, а затем — по стороне CD. Во сколько раз средняя путевая скорость третьего робота выше, чем первого, если средняя путевая скорость второго робота выше, чем первого, в 2,5 раза? Временем на разгон, остановку и развороты роботов можно пренебречь.

Решение

Обозначив длину стороны AB (и, соответственно, CD) прямоугольника a , а длину стороны BC (и, соответственно, DA) — b , можно легко выразить через эти стороны пути $S_{1,2,3}$ всех трех роботов

$$\begin{cases} S_1 = b, \\ S_2 = 2a + b, \\ S_3 = \sqrt{a^2 + b^2} + a. \end{cases} \quad (2.3.87)$$

Поскольку время движения всех роботов совпадало, отношения их путей точно такие же, как и средних путевых скоростей:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{2a}{b} + 1 = 2,5, \quad (2.3.88)$$

откуда легко найти

$$\frac{2a}{b} = 1,5 \Rightarrow b = \frac{4}{3}a. \quad (2.3.89)$$

Теперь, пользуясь той же логикой, найдем ответ на вопрос задачи как отношение путей третьего и первого роботов

$$\frac{v_3}{v_1} = \frac{S_3}{S_1} = \frac{\sqrt{a^2 + b^2} + a}{b} = \frac{\sqrt{\frac{25a^2}{9} + a}}{4a} = \frac{\frac{5a}{3} + a}{4a} = \frac{\frac{8a}{3}}{4a} = \frac{2}{3} = 2. \quad (2.3.90)$$

Погрешность 0,01.

Ответ: $2,00 \pm 0,01$.

2.3.6. Третья волна. Задачи 10–11 класса

Задачи третьей волны предметного тура по физике за 10–11 класс открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/63482/enter/>.

Задача 2.3.6.1. На коленке (10 баллов)

Условие

На конференции, посвященной освоению труднодоступных северных регионов, был представлен проект теплового двигателя, для работы которого используются два тепловых резервуара. Их можно собрать «на коленке»: в качестве холодильника выступает емкость с мокрым снегом, а в качестве нагревателя — котелок с кипящей водой. При этом, по заверениям авторов проекта, КПД двигателя только в $\alpha = 1,6$ раз уступает КПД идеальной тепловой машины с такими же холодильником и нагревателем. Найдите этот КПД. Абсолютный ноль температур $T_0 = -273^\circ\text{C}$. Двигатель используется при нормальном атмосферном давлении на уровне моря.

Решение

Мокрый снег представляет собой смесь льда и воды, поэтому может существовать только при температуре плавления льда, $t_x = 0^\circ\text{C}$. Аналогично, при атмосферном давлении температура кипящей воды может быть равна только $t_h = 100^\circ\text{C}$. КПД идеальной тепловой машины (машины Карно) с известными абсолютными термодинамическими температурами T_h и T_x холодильника задается выражением

$$\eta_0 = \frac{T_h - T_x}{T_h}. \quad (2.3.91)$$

Чтобы дать ответ на вопрос задачи, таким образом, остается разделить этот КПД на α и перевести температуры в шкалу Кельвина

$$\eta = \frac{\eta_0}{\alpha} = \frac{t_h - t_x}{\alpha(t_h - T_0)} \approx 16,8\%. \quad (2.3.92)$$

Погрешность: 0,2%.

Ответ: $(16,8 \pm 0,2)\%$.

Задача 2.3.6.2. Патруль (15 баллов)

Условие

Корабль береговой охраны движется с постоянной скоростью $v = 12 \text{ м/с}$ относительно поверхности воды. Наблюдательный дрон запрограммирован летать на постоянной высоте по траектории, в системе отсчета корабля представляющей собой окружность с радиусом $R = 2 \text{ км}$ и центром на этом корабле, двигаясь в этой

системе отсчета равномерно и совершая полный оборот за время $T = 10$ мин. Во сколько раз максимальная скорость дрона относительно поверхности воды выше его минимальной скорости относительно нее же?

Решение

Согласно правилу сложения скоростей, скорость $\vec{v}_{\text{дв}}$ дрона относительно воды равна (векторной) сумме его скорости $\vec{v}_{\text{дк}}$ относительно корабля и скорости $\vec{v}_{\text{кв}}$ корабля относительно воды. Поскольку направление вектора $\vec{v}_{\text{кв}}$ неизменно, а вектор $\vec{v}_{\text{дк}}$ в ходе движения дрона принимает все возможные в горизонтальной плоскости направления, обязательно найдутся такие моменты времени, когда эти два вектора сонаправлены и такие, когда они противонаправлены. Эти два случая и будут соответствовать максимальному и минимальному значениям модуля суммы этих векторов, равным $v_{\max} = |\vec{v}_{\text{дк}}| + |\vec{v}_{\text{кв}}|$ и $v_{\min} = ||\vec{v}_{\text{дк}}| - |\vec{v}_{\text{кв}}||$ соответственно.

Модуль вектора $\vec{v}_{\text{кв}}$ дан напрямую: он равен v . Модуль вектора $\vec{v}_{\text{дк}}$ легко получить, разделив путь дрона в СО корабля на период его обращения в этой СО

$$v_{\text{дк}} = \frac{2\pi R}{T}. \quad (2.3.93)$$

Отсюда получим окончательно

$$\frac{v_{\max}}{v_{\min}} = \frac{vT + 2\pi R}{|vT - 2\pi R|} \approx 3,68. \quad (2.3.94)$$

Погрешность 0,02.

Ответ: $3,68 \pm 0,02$.

Задача 2.3.6.3. Конденсатор (20 баллов)

Условие

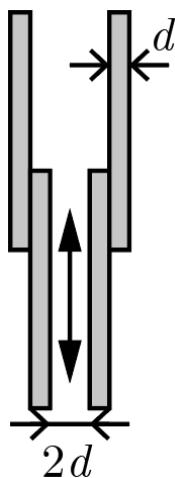


Рис. 2.3.17

Переменный конденсатор состоит из двух пар металлических пластинок толщиной d и площадью $S \gg d^2$, разделенных воздушными зазорами. При этом одна из пар (внутренняя) может частично или полностью входить в зазор другой (внешней), плотно прилегая к ней так, что электрический контакт между соответствующими пластинами никогда не нарушается, но при полном выдвижении площадь этого контакта пренебрежимо мала в сравнении с S .

Определите, во сколько раз максимальная емкость такого конденсатора превосходит минимальную, если зазор между пластинами внутренней пары имеет ширину $2d$.

Решение

Рассматриваемый конденсатор может быть представлен как батарея из двух параллельно соединенных конденсаторов, один из которых (внутренняя пара пластин) всегда имеет зазор $2d$ и площадь обкладок S , а другой (внешняя пара) имеет зазор $4d$ и площадь обкладок, которая может изменяться в пределах от 0 до S . Поскольку эти конденсаторы соединены параллельно, эквивалентная емкость батареи равна сумме их емкостей, а значит, максимальна, когда пары пластин максимально раздвинуты и минимальна, когда они полностью вдвинуты одна в другую. Используя формулу емкости плоского конденсатора, найдем, что емкость внутренней пары пластин (она же минимальная емкость всей батареи) равна

$$C_1 = \frac{S\epsilon_0}{2d}, \quad (2.3.95)$$

где ϵ_0 — диэлектрическая постоянная.

Аналогично, емкость полностью выдвинутой внешней пары равна

$$C_2 = \frac{S\epsilon_0}{4d}, \quad (2.3.96)$$

а максимальная емкость батареи составляет, соответственно, $C_1 + C_2$.

Тогда для искомого отношения максимальной и минимальной емкостей получим:

$$\frac{C_{max}}{C_{min}} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} = \frac{S\epsilon_0/(4d) + S\epsilon_0/(2d)}{S\epsilon_0/(2d)} = \frac{1/4 + 1/2}{1/2} = 1,5. \quad (2.3.97)$$

Погрешность 0,01.

Ответ: $1,50 \pm 0,01$.

Задача 2.3.6.4. Аэростат (25 баллов)

Условие

Горелка теплового аэростата способна поддерживать среднюю температуру воздуха в его оболочке не более, чем на $\Delta t = 70^\circ\text{C}$ выше, чем температура окружающего шара воздуха. Аэростат имеет объем $V = 645 \text{ м}^3$, а общая масса его оболочки, корзины и полезной нагрузки $M = 150 \text{ кг}$. Определите, при какой максимальной температуре окружающей среды аэростат сможет взлететь?

Абсолютный ноль температур $T_0 = -273^{\circ}\text{C}$, атмосферное давление $p_0 = 100 \text{ кПа}$, молярная масса воздуха $\mu = 29 \text{ г/моль}$, универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$.

Решение

Оболочки монгольфьеров (тепловых аэростатов) представляют собой открытые сосуды, поэтому давление внутри и снаружи оболочки должно совпадать (и равняться p_0). Тогда из уравнения Менделеева – Клапейрона

$$p_0 V = \frac{m}{\mu} RT, \quad (2.3.98)$$

где T — абсолютная термодинамическая температура газа, m — его масса.

Легко выразить массу m_1 воздуха внутри оболочки и массу m_2 вытесненного атмосферного воздуха

$$\begin{aligned} m_1 &= \frac{\mu p_0 V}{R(T_0 + \Delta t)}, \\ m_2 &= \frac{\mu p_0 V}{RT_0}, \end{aligned} \quad (2.3.99)$$

где T_0 — искомая температура окружающего воздуха.

Для того чтобы аэростат мог подняться в воздух, необходимо, чтобы вес вытесненного им воздуха превысил его общий вес (включая вес газа в оболочке)

$$m_2 g = M g + m_1 g \Rightarrow \frac{\mu p_0 V}{RT_0} = M + \frac{\mu p_0 V}{R(T_0 + \Delta t)}, \quad (2.3.100)$$

где g — ускорение свободного падения (сразу сокращающееся во всех слагаемых).

Домножим это выражение на $RT_0(T_0 + \Delta T)$ и получим квадратное уравнение относительно T_0

$$\mu p_0 V (T_0 + \Delta t) = M RT_0 (T_0 + \Delta t) + \mu p_0 V T_0. \quad (2.3.101)$$

В канонической форме:

$$T_0^2 + T_0 \Delta t - \frac{\mu p_0 V \Delta t}{MR} = 0. \quad (2.3.102)$$

Остается найти (методом дискриминанта) единственный положительный корень этого уравнения

$$T_0 = -\frac{\Delta t}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\Delta t^2 + \frac{4\mu p_0 V}{MR} \Delta t} \approx 291 \text{ K} \approx 18^{\circ}\text{C}. \quad (2.3.103)$$

Погрешность $0,1^{\circ}\text{C}$.

Ответ: $(18,0 \pm 0,1)^{\circ}\text{C}$.

Задача 2.3.6.5. Спутник (30 баллов)

Условие

Спутник, движущийся вокруг Земли по высокой круговой орбите, перевели на другую круговую орбиту, в результате чего его кинетическая энергия увеличилась на 5%. На сколько процентов увеличился модуль потенциальной энергии взаимодействия спутника с планетой, если она считается равной нулю на бесконечном удалении от планеты?

Решение

Обозначим радиус орбиты спутника R , его орбитальную скорость v , его массу m , а массу планеты M . На спутник действует сила всемирного тяготения

$$F = G \frac{mM}{R^2}, \quad (2.3.104)$$

где G — гравитационная постоянная, связанная с центростремительным ускорением v^2/R спутника вторым законом Ньютона

$$m \frac{v^2}{R} = G \frac{mM}{R^2}. \quad (2.3.105)$$

Из этого выражения легко видеть, что квадрат орбитальной скорости спутника v^2 обратно пропорционален радиусу орбиты. Разумеется, кинетическая энергия спутника $mv^2/2$ прямо пропорциональна этому квадрату скорости и, следовательно, тоже обратно пропорциональна R .

Чтобы понять, как потенциальная энергия спутника зависит от радиуса его орбиты, проще всего обратить внимание на аналогию между гравитацией и электростатическими силами. Сила Кулона взаимодействия двух точечных зарядов зависит от расстояния между ними и обратно пропорциональна квадрату разделяющего их расстояния, точно так же, как сила всемирного тяготения. Одновременно потенциальная энергия взаимодействия этих зарядов обратно пропорциональна первой степени расстояния между ними, следовательно, то же справедливо и для гравитации. В результате видно, что модуль потенциальной энергии обратно пропорционален R , как и кинетическая энергия. Следовательно, при изменении орбиты спутника он изменится ровно во столько же раз.

Погрешность 0,01%.

Ответ: $(5,00 \pm 0,01)\%$.

2.3.7. Четвертая волна. Задачи 8–9 класса

Задачи четвертой волны предметного тура по физике за 8–9 класс открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Конкурс: <https://contest.yandex.ru/contest/63466/enter/>.

Задача 2.3.7.1. Расплав (10 баллов)

Условие

Расплавленная соль предлагается как эффективный аккумулятор тепла для некоторых типов теплоцентралей. Удельная теплота плавления и кристаллизации соли $\lambda = 28,7 \text{ кДж/кг}$, ее теплоемкость в твердой форме $c_1 = 0,92 \text{ кДж/(кг}^{\circ}\text{C)}$, а в жидкой — $c_2 = 1,5 \text{ кДж/(кг}^{\circ}\text{C)}$, температура ее плавления $\theta = 800 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Определите, какую массу соли необходимо взять, чтобы при ее нагреве от $t_0 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_1 = 1200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ запасти $Q = 1 \text{ МДж}$ тепла.

Решение

Количество теплоты, требуемое на нагрев твердой соли до температуры плавления, задается выражением

$$Q_1 = c_1 m(\theta - t_0), \quad (2.3.106)$$

где m — масса нагреваемой соли.

Количество теплоты, уходящее непосредственно на плавление

$$Q_2 = \lambda m. \quad (2.3.107)$$

Наконец, количество теплоты, уходящее на нагрев расплава соли,

$$Q_3 = c_2 m(t_1 - \theta). \quad (2.3.108)$$

Складывая все эти порции тепла, получим, что общая запасаемая теплота

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = m(c_1(\theta - t_0) + \lambda + c_2(t_1 - \theta)), \quad (2.3.109)$$

откуда окончательно

$$m = \frac{Q}{(c_1(\theta - t_0) + \lambda + c_2(t_1 - \theta))} \approx 743 \text{ г.} \quad (2.3.110)$$

Погрешность 1 г.

Ответ: (743 ± 1) г.

Задача 2.3.7.2. Катафот (15 баллов)

Условие

Катафот представляет собой два одинаковых квадратных зеркала, соединенных общей гранью под прямым углом друг к другу. При падении на него видимого света каждое зеркало поглощает $\eta = 20\%$ достигающей его световой энергии, а остальную — отражает. Параллельно биссектрисе образованного зеркалами угла в плоскости, перпендикулярной к их общему ребру, на середину одного из зеркал падает узкий лазерный луч, переносящий мощность $P = 5 \text{ мВт}$. Какое количество световой энергии поглотит второе зеркало за $\tau = 10 \text{ с}$?

Решение

Прежде всего отметим, что любой луч, падающий на катафот параллельно его биссектрисе, отразится последовательно от обоих зеркал катафота, как изображено на рис. 2.3.18. При этом после первого отражения мощность луча снизится в $(1 - \eta)$ раз, и доля η от этой оставшейся мощности будет поглощена вторым зеркалом. В результате связь между изначальной P и поглощаемой P_1 мощностями имеет следующий вид:

$$P_1 = (1 - \eta)\eta P. \quad (2.3.111)$$

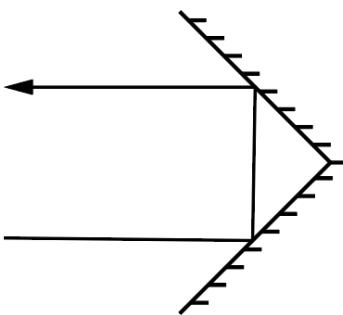


Рис. 2.3.18

Теперь остается лишь вспомнить определение мощности, как отношения энергии (в данном случае переносимой лазерным лучом или поглощаемой зеркалом) ко времени, чтобы получить окончательный ответ

$$Q = P_1\tau = (1 - \eta)\eta P\tau \approx 8 \text{ мДж.} \quad (2.3.112)$$

Погрешность 0,1 мДж.

Ответ: $(8,0 \pm 0,1) \text{ мДж.}$

Задача 2.3.7.3. Соты (20 баллов)

Условие

Композитный материал изготавливают, вырезая из алюминия (плотность $\rho_1 = 2,7 \text{ г/см}^3$) строго периодическую вдоль двух взаимно перпендикулярных осей квадратную сетку с толщиной стенки d и длиной внутренней стороны ячейки $4d$, фрагмент которой изображен на рис. 2.3.19. Затем полости заполняют смолой, после затвердевания имеющей плотность $\rho_2 = 1,2 \text{ г/см}^3$. Найдите среднюю плотность большого листа из такого материала.

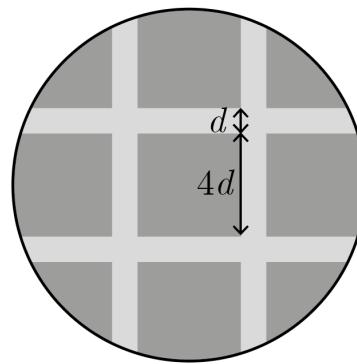


Рис. 2.3.19

Решение

По мере увеличения размеров листа материала роль его краев в общей плотности постепенно снижается, поэтому среднюю плотность большого листа следует вычислять как среднюю плотность одного элемента периодичности, границы которого изображены пунктиром на рис. 2.3.20. Объем V этого элемента равен $25dh$, где h — толщина листа материала.

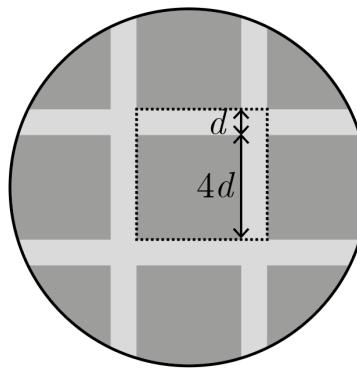


Рис. 2.3.20

Массу элемента найдем, сложив массы алюминия (индексы 1) и смолы (индексы 2)

$$m = m_1 + m_2 = \rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 = \rho_1 9dh + \rho_2 16dh. \quad (2.3.113)$$

Тогда искомая плотность окончательно равна

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\rho_1 9dh + \rho_2 16dh}{25dh} \approx 1,74 \text{ г/см}^3. \quad (2.3.114)$$

Погрешность $0,01 \text{ г/см}^3$.

Ответ: $(1,74 \pm 0,01) \text{ г/см}^3$.

Задача 2.3.7.4. Домкрат (25 баллов)

Условие

На рис. 2.3.21 приведена схема устройства гидравлического домкрата. Его поршины представляют собой цилиндры с радиусами $R = 21$ см и $r = 3$ см. Чтобы поднимать при помощи этого домкрата груз $m = 1,4$ т, установленный на платформе большого цилиндра, к точке A рычага необходимо приложить силу не менее $F = 87,5$ Н. Определите отношение $AB : BC$. Ускорение свободного падения $g = 9,8$ м/с². На рисунке точный масштаб не сохранен.

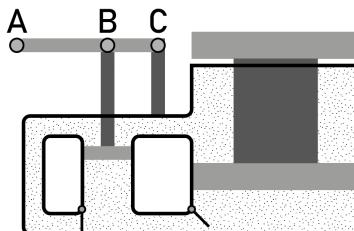


Рис. 2.3.21

Решение

Изображенный домкрат дает выигрыш в силе благодаря двум механизмам: рычагу и гидравлическому прессу. Выигрыш в силе, обеспечиваемый прессом, равен отношению площадей его цилиндров

$$\frac{mg}{F_1} = \frac{\pi R^2}{\pi r^2} \Rightarrow F_1 = mg \frac{r^2}{R^2}, \quad (2.3.115)$$

где F_1 — сила давления малого поршня.

В свою очередь, выигрыш в силе, обеспечиваемый рычагом, равен отношению его плеч, но так как рычаг закреплен в точке C , нужно сравнивать плечи AC и BC

$$\frac{F_1}{F} = \frac{AC}{BC} = \frac{AB + BC}{BC} = 1 + \frac{AB}{BC}. \quad (2.3.116)$$

Совместив эти уравнения, получим окончательно

$$\frac{AB}{BC} = \frac{F_1}{F} - 1 = \frac{mgr^2}{FR^2} - 1 = 2,2. \quad (2.3.117)$$

Погрешность 0,1.

Ответ: $2,2 \pm 0,1$.

Задача 2.3.7.5. Номинальная мощность (30 баллов)

Условие

Изучая электронагреватель прямого действия, ученик заметил, что увеличение подаваемой на него силы тока на $\Delta I = 0,1$ А над номинальным значением приводит к увеличению тепловой мощности, выделяемой прибором, на $\Delta P_1 = 44$ Вт,

а уменьшение силы тока на ту же величину от номинальной, приводит к уменьшению мощности на $\Delta P_2 = 36$ Вт. Найдите номинальную мощность прибора, считая его сопротивление независимым от температуры.

Решение

Согласно закону Джоуля – Ленца, тепловая мощность электронагревателя равна

$$P = I^2 R, \quad (2.3.118)$$

где I — сила пропускаемого через него тока, а R — сопротивление прибора. Последнее по условиям задачи можно считать неизменным, поэтому, введя обозначения I_0 для номинальной силы тока и P_0 для номинальной мощности прибора, можно составить пропорции

$$\begin{cases} \frac{P_0 + \Delta P_1}{P_0} = \left(\frac{I_0 + \Delta I}{I_0} \right)^2, \\ \frac{P_0 - \Delta P_2}{P_0} = \left(\frac{I_0 - \Delta I}{I_0} \right)^2. \end{cases} \quad (2.3.119)$$

Обозначив $\frac{\Delta I}{I_0}$ буквой x и частично сократив дроби, приведем их к виду

$$\begin{cases} 1 + \frac{\Delta P_1}{P_0} = (1 + x)^2, \\ 1 - \frac{\Delta P_2}{P_0} = (1 - x)^2. \end{cases} \quad (2.3.120)$$

Эту систему можно решить, вычитая второе уравнение из первого

$$\frac{\Delta P_1 + \Delta P_2}{P_0} = 4x \Rightarrow x = \frac{\Delta P_1 + \Delta P_2}{4P_0} \quad (2.3.121)$$

и подставляя результат в любое уравнение системы (2.3.120)

$$\chi + \frac{\Delta P_1}{P_0} = \chi + \frac{\Delta P_1 + \Delta P_2}{2P_0} + \frac{(\Delta P_1 + \Delta P_2)^2}{16P_0^2}. \quad (2.3.122)$$

Домножим на $16P_0^2$

$$16\Delta P_1 P_0 = 8P_0(\Delta P_1 + \Delta P_2) + (\Delta P_1 + \Delta P_2)^2. \quad (2.3.123)$$

и выразим окончательно

$$P_0 = \frac{(\Delta P_1 + \Delta P_2)^2}{8(\Delta P_1 - \Delta P_2)} = 100 \text{ Вт.} \quad (2.3.124)$$

Погрешность 1 Вт.

Ответ: 100 ± 1 Вт.

2.3.8. Четвертая волна. Задачи 10–11 класса

Задачи четвертой волны предметного тура по физике за 10–11 класс открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Конкурс: <https://contest.yandex.ru/contest/63483/enter/>.

Задача 2.3.8.1. Шестеренки (10 баллов)

Условие

В сложной трансмиссии две шестеренки А и Б вращаются в различных частях механизма так, что угловая скорость вращения шестеренки А в 3 раза выше, чем шестеренки Б, но линейная скорость зубцов шестеренки Б в 2 раза выше, чем шестеренки А. Найдите отношение центростремительного ускорения зубцов шестеренки А к центростремительному ускорению зубцов шестеренки Б.

Решение

Два хорошо известных выражения для центростремительного ускорения a

$$a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R, \quad (2.3.125)$$

где R — радиус траектории, v — линейная скорость, ω — угловая скорость. Пере-
множив эти выражения, получим

$$a^2 = \frac{v^2}{R} \omega^2 R \Rightarrow a = v\omega. \quad (2.3.126)$$

Таким образом, центростремительное ускорение равно произведению линейной скорости на угловую, из чего следует

$$\frac{a_A}{a_B} = \frac{v_A}{v_B} \cdot \frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{1} = 1,5. \quad (2.3.127)$$

Погрешность 0,01.

Ответ: $1,50 \pm 0,01$.

Задача 2.3.8.2. Маятник (15 баллов)

Условие

Заряженный металлический шарик закреплен на конце тонкой шелковой нити и несет заряд $q = 20 \text{ мККл}$. Другой конец нити закреплен к потолку. Определите массу шарика, если при помещении такого маятника в однородное электрическое поле, вектор напряженности которого направлен строго горизонтально и равен по модулю $E = 2,5 \text{ кВ/м}$, сила натяжения нити после установления равновесия оказывается равна $T = 130 \text{ мН}$. Ускорение свободного падения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Решение

На шарик действуют три силы: горизонтально направленная сила электростатического взаимодействия $q\vec{E}$, вертикально вниз направленная сила тяжести $m\vec{g}$ и направленная вдоль нити сила ее натяжения \vec{T} . Разумеется, маятник может быть в равновесии, только если векторная сумма этих сил равна нулю, то есть эти три вектора образуют замкнутый треугольник

$$q\vec{E} + m\vec{g} + \vec{T} = \vec{0}. \quad (2.3.128)$$

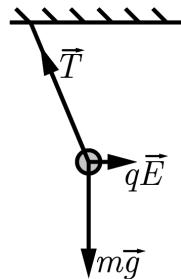


Рис. 2.3.22

Поскольку направления \vec{E} и \vec{g} известны, этот треугольник прямоугольный, а \vec{T} — его гипотенуза. Тогда из теоремы Пифагора

$$q^2E^2 + m^2g^2 = T^2 \Rightarrow m = \frac{\sqrt{T^2 - q^2E^2}}{g} \approx 12,2 \text{ г.} \quad (2.3.129)$$

Погрешность 0,2 г.

Ответ: $(12,2 \pm 0,2)$ г.

Задача 2.3.8.3. Автопилот (20 баллов)

Условие

Автомобиль с автопилотом запрограммирован таким образом, что при движении по прямой на трассе он всегда старается поддерживать дистанцию между собой и движущимся непосредственно перед ним автомобилем ровно такой же, как между собой и движущимся непосредственно за ним автомобилем. В некоторый момент движения скорости всех трех этих автомобилей были равны. Определите ускорение автомобиля, движущегося непосредственно за автопилотируемым, если модули ускорения самого автопилотируемого автомобиля и движущегося непосредственно перед ним в этот момент оба оказались равны $a = 0,2 \text{ м/с}^2$, но дистанция между ними при этом начала сокращаться. Колеса автомобилей движутся без проскальзывания, и автопилоту удается соблюдать требования своей программы.

Решение

Программа автомобиля означает, что (до тех пор, пока это позволяет мощность двигателя и сцепление колес) координата x вдоль оси, совпадающей с дорогой, ав-

томобиля с автопилотом равна среднему арифметическому координат x_1 идущего впереди и x_2 идущего позади

$$x = \frac{x_1 + x_2}{2}. \quad (2.3.130)$$

Поскольку такая кинематическая связь справедлива в любые два момента времени t_1 и t_2 , для средней скорости v автомобиля на автопилоте в проекции на $0x$ на любом промежутке времени можно записать

$$v_x = \frac{x(t_2) - x(t_1)}{t_2 - t_1} = \frac{x_1(t_2) + x_2(t_2) - x_1(t_1) - x_2(t_1)}{2(t_2 - t_1)} = \frac{v_{x1} + v_{x2}}{2}, \quad (2.3.131)$$

где использована та же система индексов. Таким образом, средняя скорость на любом промежутке времени и, следовательно, мгновенная скорость в любой момент времени автомобиля на автопилоте в проекции на $0x$ равна среднему арифметическому мгновенной скорости в этой же проекции впереди и позади идущих автомобилей. Повторение этих рассуждений приводит к аналогичному результату для ускорений

$$a_x = \frac{a_{x1} + a_{x2}}{2}. \quad (2.3.132)$$

Выразим из этого уравнения проекцию на $0x$ искомого ускорения замыкающего автомобиля a_{x2}

$$a_{x2} = 2a_x - a_{x1}. \quad (2.3.133)$$

По условиям задачи в рассматриваемый момент скорости всех трех автомобилей равны, а ускорения a_1 и a совпадают по модулю, но дистанция начинает сокращаться. Это возможно только если передний автомобиль тормозит — имеет отрицательную проекцию ускорения на направление движения, а автопилотируемый автомобиль, наоборот, ускоряется (имеет положительную проекцию). Тогда напрямую из (2.3.133) получим

$$a_{x2} = 2a_x - a_{x1} = 2a - (-a) = 3a = 0,6 \text{ м/с}^2. \quad (2.3.134)$$

Погрешность $0,01 \text{ м/с}^2$.

Ответ: $(0,60 \pm 0,01) \text{ м/с}^2$.

Задача 2.3.8.4. Лифт (25 баллов)

Условие

В лифте, движущемся вверх с некоторым ускорением a , сонаправленным его скорости, уронили без начальной скорости относительно лифта мячик с высоты $h_1 = 0,6 \text{ м}$ над уровнем пола лифта. Мячик абсолютно упруго ударился о пол, но своим ударом спровоцировал срабатывание системы аварийной остановки, в результате чего в момент удара ускорение лифта резко поменяло направление на противоположное, а его модуль возрос втрое. После отскока мячик поднялся до высоты $h_2 = 1,8 \text{ м}$. Определите a . Ускорение свободного падения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Решение

В системе отсчета, связанной с лифтом, начальное ускорение мяча равно $g + a$. Проходя с этим ускорением расстояние h_1 , мяч приобретает скорость (относительно лифта) v , которую легко вычислить из соотношения

$$\frac{v^2}{2} = (g + a)h_1. \quad (2.3.135)$$

В момент удара резко меняется ускорение, но не скорость лифта, поэтому значение v при абсолютно упругом ударе по модулю остается неизменным.

В процессе подъема мяч уже имеет относительно лифта ускорение $g - 3a$, что позволяет записать аналогично

$$\frac{v^2}{2} = (g - 3a)h_2. \quad (2.3.136)$$

Совмешая эти равенства, получим окончательно

$$(g + a)h_1 = (g - 3a)h_2 \Rightarrow a(h_1 + 3h_2) = g(h_2 - h_1) \Rightarrow a = g \frac{h_2 - h_1}{h_1 + 3h_2} = 1,96 \text{ м/с}^2. \quad (2.3.137)$$

Погрешность $0,02 \text{ м/с}^2$.

Ответ: $(1,96 \pm 0,02) \text{ м/с}^2$.

Задача 2.3.8.5. Эффект Лейденфроста (30 баллов)

Условие

Капля воды при температуре немного ниже температуры кипения упала на раскаленную поверхность, в результате чего $\alpha = 10^{-5}$ ее массы практически мгновенно испарилось. Известно, что $\eta = 3\%$ полученной каплей энергии пошло на работу расширяющегося пара над оставшейся частью капли.

На какую высоту «подпрыгнет» капля вертикально вверх в результате такого испарения, если сопротивлением воздуха ее движению, а также потерями тепла в окружающую среду и работой пара против воздуха можно пренебречь?

Удельная теплота парообразования воды равна $L = 2,26 \text{ МДж/кг}$, ускорение свободного падения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

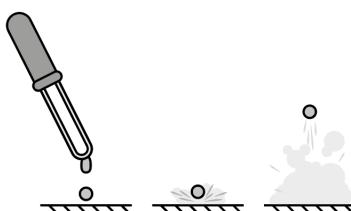


Рис. 2.3.23

Решение

Согласно первому началу термодинамики та теплота, полученная каплей, которая не пошла на работу расширяющегося пара над жидкой частью капли, ушла на изменение ее внутренней энергии; в данном случае — на испарение. Таким образом, можно записать для этой части энергии

$$\Delta U = (1 - \eta)Q = Lm\alpha, \quad (2.3.138)$$

где m — масса капли до испарения, а Q — общая полученная каплей теплота. Отсюда легко найти Q

$$Q = \frac{Lm\alpha}{1 - \eta}. \quad (2.3.139)$$

В то же время работа пара над каплей полностью идет на увеличение ее механической энергии, которая в верхней точке траектории чисто потенциальна

$$A = \eta Q = (1 - \alpha)mgh. \quad (2.3.140)$$

Выражая из этого уравнения h и подставляя в него Q , получаем

$$h = \frac{\eta Q}{(1 - \alpha)mg} = \frac{L\alpha\eta}{(1 - \alpha)(1 - \eta)g} \approx 7,1 \text{ см.} \quad (2.3.141)$$

Разумеется, если величину $1 - \alpha$ в этом выражении считать просто единицей, ответ не изменится в пределах любой разумной погрешности.

Погрешность 0,5 см.

Ответ: $(7,1 \pm 0,5)$ см.

2.4. Инженерный тур

Задачи первого этапа инженерного тура открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/66932/enter/>.

Задача 2.4.1. (2 балла)

Темы: наночастицы, нанотехнологии, физико-химические методы исследования.

Условие

Какие из перечисленных характеристик можно отнести к наночастицам?

1. Имеют различную форму.
2. Газофазный объект.
3. Подвержены броуновскому движению.
4. Четкая граница с окружающей средой.
5. Больше длины волны видимого света.
6. Размер составляет от 1 до 1 000 нм.
7. Размер составляет от 1 до 1 000 мкм.

Ответ: 1, 3, 4, 5.

Задача 2.4.2. (2 балла)

Темы: наночастицы, нанотехнологии, физико-химические методы исследования.

Условие

Каковы области применения наночастиц?

1. Промышленность.
2. Биомедицина.
3. Энергетика.
4. Военное дело.
5. Сельское хозяйство.

Ответ: 1, 2, 3, 4, 5.

Задача 2.4.3. (5 баллов)

Темы: наночастицы, нанотехнологии, физико-химические методы исследования.

Условие

Соотнесите метод исследования наночастиц и принцип его работы:

- | | |
|---------|--|
| 1. АСМ. | A. Взаимодействие между электронами и поверхностью исследуемого объекта. |
| 2. СТМ. | B. Квантово-механический туннельный эффект. |
| 3. ТЭМ. | C. Применимо только для металлов и полупроводников. |
| | D. Регистрация силового взаимодействия между поверхностью исследуемого образца и зондом. |
| | E. Прохождение прямого или отраженного луча света через систему линз. |

Ответ: 1 – D; 2 – B, C; 3 – A.

Задача 2.4.4. (2 балла)

Темы: наночастицы, нанотехнологии, физико-химические методы исследования.

Условие

Какие вещества из перечисленных ниже являются вспомогательными для получения наночастиц?

1. Твин-80.
2. Соевый лецитин.
3. Полистирол.
4. Полиакрилат.
5. Олеиламин.
6. Поливинилхлорид.
7. Поливиниловый спирт.

Ответ: 1, 2, 5, 7.

Задача 2.4.5. (3 балла)

Темы: наночастицы, нанотехнологии, физико-химические методы исследования.

Условие

Какие из приведенных наночастиц можно отнести к частицам-носителям?

1. Липосома.
2. Мицелла.

3. Квантовая точка.
4. Углеродная нанотрубка.
5. Магнитные наночастицы.
6. Наночастица золота.

Ответ: 1, 2, 4, 5, 6.

Задача 2.4.6. (2 балла)

Темы: наночастицы, нанотехнологии, физико-химические методы исследования.

Условие

Из чего могут состоять магнитные наночастицы?

1. FeCo.
2. FePt.
3. Al_2O_3 .
4. BaCl_2 .
5. Fe_3O_4 .
6. $\text{Co}_2(\text{CO})_8$.

Ответ: 1, 2, 5, 6.

Задача 2.4.7. (5 баллов)

Темы: наночастицы, нанотехнологии, физико-химические методы исследования.

Условие

Соотнесите метод получения магнитных наночастиц и его недостатки:

- | | |
|----------------------|---|
| 1. Соосаждение. | A. Требует инертную атмосферу. |
| 2. Пиролиз. | B. Требует высокое давление. |
| 3. Микроэмulsionный. | C. Не дает возможности контроля формы наночастиц. |
| 4. Гидротермальный. | D. Низкий выход продукта. |

Ответ: 1 – C; 2 – A; 3 – D, 4 – B.

Задача 2.4.8. (2 балла)

Темы: наночастицы, нанотехнологии, физико-химические методы исследования.

Условие

Из каких перечисленных соединений могут состоять квантовые точки?

1. CdSe.
2. ZnSe.
3. CdTe.
4. CdS.
5. ZnS.
6. InAs.
7. InP.
8. Si.

Ответ: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

Задача 2.4.9. (5 баллов)

Темы: наночастицы, нанотехнологии, физико-химические методы исследования.

Условие

Соотнесите тип магнитных квантовых точек и их размер:

- | | |
|--|-----------|
| 1. МКТ типа ядро-оболочка. | A. 2 нм. |
| 2. Доупленные МКТ. | B. 64 нм. |
| 3. Композитные МКТ. | C. 9 нм. |
| 4. Квантовые точки, покрытые парамагнитными ионами-хелатами. | D. 12 нм. |

Ответ: 1 – C; 2 – A; 3 – B, 4 – D.

Задача 2.4.10. (2 балла)

Темы: наночастицы, нанотехнологии, физико-химические методы исследования.

Условие

Для чего из перечисленного ниже можно использовать магнитные квантовые точки?

1. Визуализация опухолей.
2. Компоненты для МРТ-диагностики.
3. Разработка квантовых компьютеров.
4. Сенсоры для химического анализа воды.
5. Запись и хранение информации.

Ответ: 1, 2, 3, 4, 5.

Задача 2.4.11. Получение магнитных квантовых точек (70 баллов)

Темы: синтез магнитных наночастиц, синтез квантовых точек, синтез магнитных квантовых точек.

Условие

Ниже приведены методики для получения магнитных квантовых точек.

Методика получения магнитных наночастиц

Водные 0,5 М растворы хлоридов железа FeCl_2 и FeCl_3 смешивали при комнатной температуре в стехиометрическом соотношении $\text{FeCl}_2:\text{FeCl}_3 = 1:2$ в соответствии с химической реакцией:



Для окисления магнетита в маггемит осаждение проводили с помощью водного раствора аммиака (12,5 мас. %) под воздействием ультразвука (240 Вт, 40 кГц) в течение всего процесса осаждения (30 мин).

Методика получения квантовых точек

К навескам CdSe и ZnS при интенсивном перемешивании добавляли олеиновую кислоту (ОА), олеиламин (ОAm) и диметилформамид (DMF) и нагревали до 120 °C до полного растворения солей. Затем раствор охлаждали до комнатной температуры и при интенсивном перемешивании по каплям добавляли в 100 мл хлороформа. Полученные частицы отделяли на центрифуге и диспергировали в хлороформе.

Методика получения магнитных квантовых точек

Навеску в 4 мг квантовых точек, диспергированных в 1 мл хлороформа, добавляли к 5 мл водного раствора, содержащего 0,1 г цетилtrimетиламмоний бромида (СТАВ), выполняющего роль межфазного катализатора. Нагревание при 60 °C в течение 10 мин вызывало испарение хлороформа, что приводило к образованию диспергированных в водной фазе наночастиц (раствор 1). Навеску 1,4 мг магнитных наночастиц, стабилизированных олеиновой кислотой в хлороформе (2,5 мл), переносили в 5 мл водного раствора, содержащего 0,1 г СТАВ и также нагревали (раствор 2). Затем 0,3 мл раствора 1 и 0,3 мл раствора 2 одновременно переливали в 10 мл смеси вода-этанол (1-1), получая раствор 3, к которому добавляли 0,3 мл 25%-го водного раствора аммиака и медленно прикалывали 50 мкл тетраэтоксисилана (TEOS). Полученную смесь перемешивали в течение 1 мин, а затем выдерживали в течение 4 ч. Наночастицы собирали центрифугированием и промывали водой и этанолом три раза.

Ознакомившись с методиками, приведенными выше, ответьте на следующие вопросы:

1. Известно, что 100 мл 0,5 М раствора FeCl_2 получали путем разбавления 20 мл концентрированного раствора. Установите массу навески кристаллогидрата $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, необходимой для приготовления 100 мл исходного раствора. Ответ дайте в граммах с точностью до целых. (15 баллов)
2. Определите объем 0,5 М раствора FeCl_3 , необходимого для реакции с 100 мл 0,5 М раствора FeCl_2 . Ответ дайте в миллилитрах с точностью до целых. (10 баллов)

3. Известно, что для получения квантовых точек соотношение жидких реагентов DMF : OA : OAm составляет 17 : 2 : 1. Установите массу навески CdSe, если известно, что его молярная концентрация в исходном растворе составляет 0,04 М, а объем DMF — 10,2 мл. Ответ дайте в миллиграммах с точностью до целых. (15 баллов)
4. Учитывая, что для получения квантовых точек CdSeZnS стехиометрическое соотношение исходных солей составляет 1 : 1, установите массу навески ZnS. Ответ дайте в миллиграммах с точностью до целых. (10 баллов)
5. Сколько несвязавшегося TEOS осталось в ходе получения магнитных квантовых точек, если известно, что масса полученных наночастиц составила 25,4 мг, а плотность TEOS — 0,933 мг/мкл. Ответ дайте в микролитрах с точностью до целых. (20 баллов)

Решение

1. Рассчитаем количество вещества FeCl_2 :

$$n(\text{FeCl}_2) = C \cdot V = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05 \text{ моль.}$$

Это количество вещества FeCl_2 в 20 мл исходного раствора. Следовательно, в 100 мл его будет в 5 раз больше — 0,25 моль.

Количество вещества соли совпадает с количеством вещества кристаллогидрата, тогда:

$$m(\text{FeCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}) = n \cdot M = 0,25 \cdot 199 = 49,75 = 50 \text{ г.}$$

2. Согласно стехиометрии, количество вещества FeCl_3 в два раза больше FeCl_2 и тогда равно 0,1 моль. Следовательно:

$$V = \frac{n}{C} = \frac{0,1}{0,5} = 0,2 \text{ л} = 200 \text{ мл.}$$

3. Согласно отношению жидких компонентов реакции DMF составляет значение 17 из 20, тогда из пропорции можно рассчитать общий объем раствора — 12 мл.

Тогда:

$$m = n \cdot M = C \cdot V \cdot M = 0,04 \cdot 0,012 \cdot 191 = 0,09168 \text{ г} = 91,68 \text{ мг} = 92 \text{ мг.}$$

4. Так как соотношение солей равно 1 : 1, то:

$$m = n \cdot M = C \cdot V \cdot M = 0,04 \cdot 0,012 \cdot 97 = 0,04656 \text{ г} = 46,56 \text{ мг} = 47 \text{ мг.}$$

5. Согласно закону сохранения масс, масса конечного конъюгата складывается из массы МНЧ, КТ и TEOS. Тогда можно определить массу TEOS, который стал частью МКТ:

$$m = m(\text{НЧ}) - m(\text{МНЧ}) - m(\text{КТ}) = 25,4 - 1,4 - 4 = 20 \text{ мг.}$$

Пересчитаем на объем:

$$V = \frac{m}{d} = \frac{20}{0,933} = 21,43 \text{ мкл} = 21 \text{ мкл.}$$

Тогда оставшийся объем составит:

$$V = 50 - 21 = 29 \text{ мкл.}$$

Ответ: 1. — 50; 2. — 200; 3. — 92; 4. — 47; 5. — 29.

3. Второй отборочный этап

3.1. Работа наставника НТО на этапе

На втором отборочном этапе НТО участникам предстоит решать как индивидуальные, так и командные задачи в рамках выбранного профиля. Подготовка к этому этапу требует от них не только глубокого понимания предметной области, но и умения работать в команде, эффективно распределять роли и применять полученные знания на практике. Наставник играет здесь важную роль — он помогает участникам выстроить осмысленную и целенаправленную траекторию подготовки.

Вот основные направления, в которых наставник может поддержать участника:

- **Подготовка по образовательным программам НТО.** Наставник может готовить участников, используя готовые образовательные программы по технологическим направлениям, рекомендованные организаторами, а также адаптировать их под уровень подготовки школьников.
- **Разбор заданий прошлых лет.** Изучение задач второго отборочного этапа прошлых лет помогает участникам понять формат заданий, определить типовые ошибки и выработать стратегии решения.
- **Онлайн-курсы.** Участники могут пройти курсы по разбору задач прошлых лет или курсы, рекомендованные разработчиками отдельных профилей. Наставник может включить эти курсы в план подготовки, а также сопровождать процесс изучения и помогать с возникшими вопросами.
- **Анализ материалов профиля.** Совместный разбор методических материалов, размещенных на страницах профилей, помогает уточнить требования к участникам и направить подготовку на ключевые темы.
- **Практикумы.** Это важный элемент подготовки, позволяющий применять знания на практике. Наставник может:
 - ◊ организовать практикумы по методическим материалам с сайта профиля;
 - ◊ декомпозировать задачи заключительного этапа прошлых лет на отдельные элементы и проработать их с участниками;
 - ◊ провести анализ требуемых профессиональных компетенций и спланировать занятия для развития наиболее значимых из них;
 - ◊ направить участников на практикумы и мероприятия от организаторов, которые анонсируются в официальных сообществах НТО, например, в телеграм-канале для наставников: https://t.me/kruzhok_association.
- **Командная работа.** Одной из ключевых задач наставника на втором этапе является помочь в формировании команды или в поиске подходящей. Наставник может помочь участникам определить их сильные стороны, выбрать роль в команде и сориентироваться в процессе командообразования, включая участие в бирже команд в рамках конкретного профиля.

Если участники не прошли отборочный этап

Случается, что несмотря на усилия и серьезную подготовку, участники не проходят во второй или заключительный этап Олимпиады. В такой ситуации особенно важна поддержка наставника.

- **Поддержка и признание усилий.** Наставнику важно подчеркнуть ценность пройденного пути: полученные знания, навыки, преодоленные трудности и личностный рост. Это помогает участникам сохранить мотивацию и не воспринимать результат как окончательное поражение.
- **Рефлексия.** Полезно организовать встречу для обсуждения впечатления от участия, трудности, с которыми столкнулись школьники и то, что они узнали о себе и команде. Наставник может направить разговор в конструктивное русло: какие выводы можно сделать? Что сработало хорошо? Что можно улучшить?
- **Анализ ошибок и пробелов.** Наставник вместе с участниками анализирует, какие темы вызвали наибольшие затруднения, чего не хватило в подготовке — теоретических знаний, практических навыков, командного взаимодействия. Это позволяет выстроить более эффективную стратегию на будущее.
- **Планирование дальнейшего пути.** Участникам можно предложить:
 - ◊ продолжить углубленное изучение профиля или смежных направлений;
 - ◊ заняться проектной деятельностью, которая укрепит знания и навыки;
 - ◊ сформировать план по подготовке к следующему циклу НТО, начиная с работы над типовыми заданиями и курсами.
- **Создание устойчивой мотивации.** Важно показать школьникам, что участие в НТО — это не просто соревнование, а часть большого образовательного маршрута. Даже неудачный результат может стать толчком к профессиональному росту, если воспринимать его как точку развития, а не как конец пути.

Таким образом, наставник помогает участникам не только готовиться к этапам НТО, но и справляться с неудачами, выстраивать долгосрочную стратегию и сохранять интерес к инженерному и технологическому творчеству.

3.2. Инженерный тур

3.2.1. Командные задачи

На втором этапе участники смогут погрузиться в тематику задачи заключительного этапа: получение магнитных квантовых точек и изучение их физико-химических свойств. Им предстоит узнать принципы создания гидрофобной оболочки наночастиц и синтетические подходы к получению магнитных квантовых точек.

На примере задач планируется разобрать следующие аспекты решения комплексной инженерной задачи:

- Работа с научной литературой (научными статьями и базами данных).
- Приобретение навыков выполнения расчетов для синтетической части задачи.
- Рассмотрение методик синтеза магнитных наночастиц.
- Изучение способов получения квантовых точек.
- Знакомство с методиками получения магнитных квантовых точек.
- Работа с данными физико-химического анализа наночастиц.

Дополнительные образовательные материалы по теме заданий доступны по ссылке: <https://disk.yandex.ru/d/sRx-GzGu6IBzkQ>.

Командные задачи второго этапа инженерного тура открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/69922/enter/>.

Задача 3.2.1.1. Свойства магнитных наночастиц (2 балла)

Темы: магнитные наночастицы, свойства магнитных наночастиц.

Условие

Из перечисленных ниже утверждений выберите те, которые характерны для магнитных наночастиц:

- А. В отличие от крупных магнитных частиц, которые могут сохранять магнетизм, магнитные наночастицы часто демонстрируют суперпарамагнитные свойства. Это означает, что они не имеют остаточного магнетизма при отсутствии внешнего магнитного поля.
- Б. Размер магнитных наночастиц обычно составляет от 500 до 1 000 нм. Наночастицы имеют большой поверхностный объем по сравнению с их объемом, что влияет на физико-химические свойства.
- С. Форма наночастиц (сферическая, кубическая, цилиндрическая и т. д.) не влияет на их магнитные свойства и поведение в растворе.
- Д. МНЧ могут быть функционализированы различными молекулами (например, биомолекулами или полимерами) для улучшения их биосовместимости и селективности.

- E. Некоторые магнитные наночастицы могут быть связаны с флуоресцентными молекулами или квантовыми точками, что позволяет использовать их в оптической визуализации и биомедицинских приложениях.
- F. Магнитные наночастицы могут эффективно поглощать магнитное поле и преобразовывать его в холод, что используется в некоторых областях медицины, таких как гипотермия для лечения рака.

Ответ: A, B, D, E.

Задача 3.2.1.2. Синтез модифицированных магнитных наночастиц: сульфат железа (II) (3 балла)

Темы: магнитные наночастицы, синтез магнитных наночастиц.

Условие

Опираясь на методику синтеза модифицированных магнитных наночастиц (дополнительные материалы), установите массу загрузки кристаллогидрата $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$. Ответ приведите в миллиграммах с точностью до целых.

$$M(\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) = 278,01 \text{ г/моль.}$$

Решение

Согласно методике, количество вещества сульфата железа (II) составляет 2 ммоль. В свою очередь, количество вещества кристаллогидрата также составит 2 ммоль. Тогда:

$$\begin{aligned} m(\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) &= n(\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) = \\ &= 2 \cdot 10^{-3} \cdot 278,01 = 556 \text{ мг.} \end{aligned}$$

Ответ: 556 мг.

Задача 3.2.1.3. Синтез модифицированных магнитных наночастиц: нитрат железа (III) (3 балла)

Темы: магнитные наночастицы, синтез магнитных наночастиц.

Условие

Опираясь на методику синтеза модифицированных магнитных наночастиц (дополнительные материалы), установите массу загрузки кристаллогидрата $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$. Ответ приведите в миллиграммах с точностью до целых.

$$M(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}) = 404,00 \text{ г/моль.}$$

Решение

Согласно методике, количество вещества нитрата железа (III) составляет 2 ммоль. В свою очередь количество вещества кристаллогидрата также составит

2 ммоль. Тогда:

$$m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}) = n(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}) = \\ = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 404,00 = 808 \text{ мг.}$$

Ответ: 808 мг.

Задача 3.2.1.4. Синтез модифицированных магнитных наночастиц: аминокислота (15 баллов)

Темы: магнитные наночастицы, синтез магнитных наночастиц.

Условие

Опираясь на методику синтеза модифицированных магнитных наночастиц, установите массу навески аминокислоты, которую использовали для модификации поверхности магнитных наночастиц, если известно, что при сгорании 2,04 г этой аминокислоты образуется 1,08 мл воды и 2 688 мл газа (н. у.), при пропускании которого через известковую воду образуется 11 г осадка. Ответ приведите в граммах с точностью до сотых.

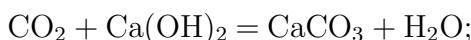
$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18,00 \text{ г/моль},$$

$$d(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ г/мл},$$

$$M(\text{ос}) = 100 \text{ г/моль.}$$

Решение

В ходе горения аминокислоты происходит образование воды и смеси углекислого газа с азотом. Установим количество углекислого газа:



$$n(\text{CO}_2) = n(\text{CaCO}_3) = m(\text{CaCO}_3)/M(\text{CaCO}_3) = \frac{11}{100} = 0,11 \text{ моль.}$$

Тогда можно посчитать его объем:

$$V(\text{CO}_2) = n(\text{CO}_2) \cdot V_m = 0,11 \cdot 22,4 = 2,464 \text{ л} = 2464 \text{ мл.}$$

Следовательно, теперь можно установить объем и количество вещества азота:

$$V(\text{N}_2) = V - V(\text{CO}_2) = 2688 - 2464 = 224 \text{ мл} = 0,224 \text{ л};$$

$$n(\text{N}_2) = V(\text{N}_2)/V_m = 0,224/22,4 = 0,01 \text{ моль.}$$

Затем определим количество вещества воды:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = V(\text{H}_2\text{O}) \cdot d(\text{H}_2\text{O})/M(\text{H}_2\text{O}) = 1,08 \cdot \frac{1}{18} = 0,06 \text{ моль.}$$

Тогда:

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 0,11 \text{ моль};$$

$$n(\text{H}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 0,06 = 0,12 \text{ моль};$$

$$n(\text{N}) = 2 \cdot n(\text{N}_2) = 2 \cdot 0,01 = 0,02 \text{ моль};$$

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{N}) = 11 : 12 : 2.$$

Такое соотношение характерно для триптофана (см. дополнительные материалы).

Теперь можно установить его массу, необходимую для модификации магнитных наночастиц:

$$m(\text{Trp}) = n(\text{Trp}) \cdot M(\text{Trp}) = 8 \cdot 10^{-3} \cdot 204,23 = 1,63 \text{ г.}$$

Ответ: 1,63 г.

Задача 3.2.1.5. Термогравиметрический анализ модифицированных магнитных наночастиц (15 баллов)

Темы: магнитные наночастицы, физико-химические методы анализа магнитных наночастиц.

Условие

Ознакомьтесь с основами термогравиметрического анализа и экспериментальными данными (см. дополнительные материалы). Для проведения анализа использовали по 30 мг модифицированных и немодифицированных магнитных наночастиц. Установите массу аминокислоты, входящей в состав модифицированных магнитных наночастиц в исследуемом образце. Ответ дайте в миллиграммах с точностью до целых.

Решение

Для начала оценим, сколько неидентифицированных примесей (следы воды и других растворителей, оставшихся после синтеза исходных магнитных наночастиц) содержится в исходных наночастицах.

Согласно графику, при максимальном нагреве осталось 95%, то есть потеря составила 5%. Затем рассмотрим потери в массе у наночастиц, модифицированных аминокислотой. Масса остатка перестает меняться при 450 °C, а от исходной массы осталось 65%, учитывая, что внешние примеси 5%, то потери аминокислоты составляют 30%. Тогда рассчитаем массу аминокислоты:

$$m(\text{АК}) = 0,3 \cdot 30 = 9 \text{ мг.}$$

Ответ: 9 мг.

Задача 3.2.1.6. Квантовые точки (2 балла)

Темы: квантовые точки, свойства квантовых точек.

Условие

Какие из следующих свойств квантовых точек являются ключевыми и связанными с их уникальными характеристиками?

- A. Флуоресценция.
- Б. Квантовый эффект.
- С. Высокая химическая стабильность.
- Д. Низкая теплопроводность.
- Е. Широкий спектр возбуждения.
- Ф. Селективная токсичность.
- Г. Изменение цвета в зависимости от размера.
- Н. Способность к фотокатализу.

Ответ: A, Б, С, Е, Г.

Задача 3.2.1.7. Синтез квантовых точек (3 балла)

Темы: квантовые точки, синтез квантовых точек.

Условие

Опираясь на методику синтеза квантовых точек (см. дополнительные материалы), установите массу загрузки борогидрида натрия, если известно, что исходная концентрация ионов кадмия в реакционной смеси составляет 2 ммоль/л. Ответ приведите в миллиграммах с точностью до целых.

$$M(NaBH_4) = 37,83 \text{ г/моль.}$$

Решение

Согласно методике, объем реакционной смеси составляет $100 + 100 \text{ мл} = 200 \text{ мл}$, тогда количество вещества хлорида кадмия составит:

$$n(CdCl_2) = C \cdot V = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2 = 0,0004 \text{ моль.}$$

Из методики известно, что борогидрида взяли в 10 раз больше:

$$m(NaBH_4) = 10 \cdot n(CdCl_2) \cdot M(NaBH_4) = 10 \cdot 0,0004 \cdot 37,83 = 151 \text{ мг.}$$

Ответ: 151 мг.

Задача 3.2.1.8. Изменение оптических свойств квантовых точек (15 баллов)

Темы: квантовые точки, синтез квантовых точек.

Условие

Ознакомьтесь с данными о роли борогидрида натрия в синтезе квантовых точек на основе кадмия и влиянии размера частиц на их оптические свойства (см. дополнительные материалы). Опираясь на полученные в ходе эксперимента данные (см. дополнительные материалы), установите загрузку борогидрида натрия, необходимого для смещения максимума эмиссии такого же количества квантовых точек в более синюю область светового спектра.

$$M(NaBH_4) = 37,83 \text{ г/моль.}$$

Решение

Борогидрид натрия выступает в роли восстановителя ионов кадмия. Чем больше его количество, тем меньше будут получаться частицы, и, как следствие, максимум их эмиссии будет смещаться ближе к синей области светового спектра. Тогда из экспериментальных данных можно установить, что необходимый избыток борогидрида натрия — 15.

Теперь рассчитаем массу его загрузки. Используем данные из предыдущей задачи:

$$m(NaBH_4) = 15 \cdot n(CdCl_2) \cdot M(NaBH_4) = 15 \cdot 0,0004 \cdot 37,83 = 227 \text{ мг.}$$

Ответ: 227 мг.

Задача 3.2.1.9. Определение размера квантовых точек (10 баллов)

Темы: квантовые точки, физико-химические методы анализа квантовых точек.

Условие

Ознакомьтесь с методикой определения размера частиц и экспериментальными данными (см. дополнительные материалы). Установите размер полученных квантовых точек. Ответ приведите в нанометрах с точностью до десятых.

Решение

Из графика в экспериментальных данных видно, что максимум поглощения приходится на 575 нм, тогда подставим это значение в формулу для вычисления:

$$D = (9,8127 \cdot 10^{-7}) \cdot \lambda^3 - (1,7147 \cdot 10^{-3}) \cdot \lambda^2 + 1,0064 \cdot \lambda - 194,84 = 3,5 \text{ нм.}$$

Ответ: 3,5 нм.

Задача 3.2.1.10. Магнитные квантовые точки (2 балла)

Темы: магнитные квантовые точки, свойства магнитных квантовых точек.

Условие

Магнитные квантовые точки (МКТ) являются перспективными материалами для использования в области биомедицины и нанотехнологий. Рассмотрите следующие утверждения о магнитных квантовых точках и выберите правильные:

- A. МКТ обладают уникальными магнитными свойствами, которые могут быть использованы для управления их положением в биологических системах.
- B. Оптические свойства МКТ могут быть настроены путем изменения их размера, что приводит к изменению длины волны эмиссии и эффекта квантовой точности.
- C. МКТ могут быть синтезированы с использованием различных методов, включая гидротермальный синтез и метод термического разложения, что позволяет контролировать размер и морфологию частиц.
- D. Использование МКТ в медицине ограничено из-за их токсичности и низкой стабильности в физиологических условиях.

Ответ: A, B, C.

Задача 3.2.1.11. Синтез магнитных квантовых точек (15 баллов)

Темы: магнитные квантовые точки, синтез магнитных квантовых точек.

Условие

Опираясь на методику синтеза магнитных квантовых точек (см. дополнительные материалы) и на расчеты, проведенные ранее, определите массовую долю меркапто-пропионовой кислоты, в ее конъюгате с квантовыми точками CdTe. Ответ приведите в процентах с точностью до целых. Расчеты проводите с точностью до двух значащих цифр после запятой.

$$M(\text{MPA}) = 106,14 \text{ г/моль.}$$

Решение

Ранее нами было рассчитано, что содержание АК в МНЧ-АК составляет 9 мг, по схеме реакции видно, что при конъюгации взаимодействии МРА и АК происходит 1 : 1. Тогда рассчитаем количество вещества АК (в нашем случае это триптофан):

$$n(\text{Trp}) = m(\text{Trp})/M(\text{Trp}) = 9 \cdot 10^{-3} / 204,23 = 0,000\,044 \text{ моль.}$$

Тогда согласно стехиометрии:

$$n(\text{MPA}) = n(\text{Trp}) = 0,000\,044 \text{ моль.}$$

Осталось рассчитать массу МРА на поверхности КТ, однако важно учесть, что ее молекулярная масса будет отличаться от молекулярной массы свободной кислоты ровно на массу одного протона:

$$m(\text{MPA}) = n(\text{MPA}) \cdot M(\text{MPA}) = 0,000\,044 \cdot 105,14 = 0,0046 \text{ г} = 4,6 \text{ мг,}$$

$$\omega = m(\text{MPA})/m(\text{KT}) \cdot 100\% = 4,6/20 \cdot 100\% = 23\%.$$

Ответ: 23%.

Задача 3.2.1.12. Концентрация магнитных квантовых точек (15 баллов)

Темы: магнитные квантовые точки, синтез магнитных квантовых точек, физико-химические методы анализа магнитных квантовых точек.

Условие

Ознакомьтесь с методикой синтеза магнитных квантовых точек и экспериментальными данными флуоресцентного метода анализа концентрации магнитных квантовых точек (см. дополнительные материалы). По предложенным данным постройте градуировочный график и установите выход реакции получения магнитных квантовых точек. Расчеты проводите с точностью до двух значащих цифр после запятой. Ответ приведите в процентах с точностью до целых.

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль.}$$

Решение

По экспериментальным данным можно построить график и получить линию тренда, которая характеризуется следующим уравнением

$$y = 25,5x + 23,1.$$

Зная величину флуоресценции исследуемого образца, можно установить его титр — 2,9 мг/мл.

Согласно методике, полученные наночастицы хранят в 15 мл воды, тогда рассчитаем их массу:

$$m(\text{MKT}) = T(\text{MKT}) \cdot V(\text{MKT}) = 2,9 \cdot 15 = 43,50 \text{ мг.}$$

Определим расчетную массу МКТ. Для этого сначала определим массу выделившейся в ходе реакции воды:

$$\begin{aligned} m(\text{H}_2\text{O}) &= n(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{MPA}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = \\ &= 0,000\,044 \cdot 18 = 0,000\,79 \text{ г} = 0,79 \text{ мг.} \end{aligned}$$

Согласно закону сохранения масс:

$$m(p) = m(\text{KT}) + m(\text{МНЧ-АК}) - m(\text{H}_2\text{O}) = 20 + 30 - 0,79 = 49,21 \text{ г.}$$

Осталось рассчитать выход:

$$\eta = m(\text{MKT})/m(p) \cdot 100\% = 43,50/49,21 \cdot 100\% = 88\%.$$

Ответ: 88%.

4. Заключительный этап

4.1. Работа наставника НТО при подготовке к этапу

На этапе подготовки к заключительному этапу НТО наставник решает две важные задачи: помочь участникам в подготовке к предстоящим соревнованиям и формирование устойчивой и слаженной команды. Заключительный этап требует высокой слаженности, уверенности и глубоких знаний, и наставник становится тем, кто объединяет усилия участников и направляет их в нужное русло.

Наставник помогает участникам:

- разобрать задания прошлых лет, используя официальные сборники, чтобы понять структуру финальных испытаний, типы задач и ожидаемый уровень сложности;
- изучить организационные особенности заключительного этапа, включая формат проведения, регламент, продолжительность и технические нюансы;
- спланировать подготовку — на основе даты начала финала составляется четкий график занятий, в котором распределены темы, практикумы и командные тренировки;
- обратиться (при необходимости) за консультацией к разработчикам заданий по профилю, уточнить, на какие аспекты подготовки следует обратить особое внимание, и получить дополнительные материалы.

Также рекомендуется участие в мероприятиях от организаторов, таких как:

- установочные вебинары и открытые разборы задач;
- хакатоны, практикумы и мастер-классы для финалистов;
- встречи в онлайн-формате, информация о которых публикуется в группе НТО во «ВКонтакте» и в телеграм-чатах профилей.

Наставнику необходимо уделить внимание работе на формированием устойчивой, продуктивной и мотивированной команды:

- **Сплочение команды.** Это особенно актуально, если участники живут в разных городах. Регулярные онлайн-встречи, совместная работа над задачами и неформальное общение помогают наладить доверие и улучшить командную динамику.
- **Анализ ролей.** Наставник вместе с командой определяет, кто за что отвечает, какие задачи входят в зону ответственности каждого участника. Также обсуждаются возможности взаимозаменяемости на случай непредвиденных ситуаций.
- **Оценка компетенций.** Важно определить, какими знаниями и навыками уже обладают участники, а какие необходимо развить. На основе этого формируется индивидуальный и командный план подготовки.
- **Участие в подготовительных мероприятиях от разработчиков профилей.**

Перед заключительным этапом проводятся установочные вебинары, разборы задач прошлых лет, практикумы, мастер-классы для финалистов. Информация о таких мероприятиях публикуется в группе НТО в VK и в чатах профилей в Telegram.

- **Практика в формате хакатонов.** Наставник может организовать дистанционные хакатоны или практикумы с использованием заданий прошлых лет и методических рекомендаций из официальных сборников.

Таким образом, наставник становится координатором и моральной опорой команды, помогая пройти заключительный этап НТО с максимальной уверенностью и результатом.

4.2. Предметный тур

4.2.1. Химия. 8–9 классы

Задача 4.2.1.1. Горючая смесь (25 баллов)

Тема: неорганическая химия.

Условие

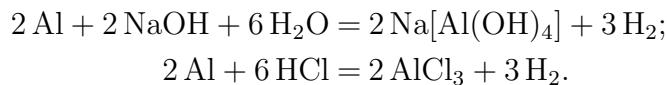
Смесь порошка **А** с металлическим блеском и черного порошка **Б** способна сгорать ослепительным пламенем даже без доступа воздуха. При обработке избытком раствора щелочи 10 г смеси выделяется 2,95 л газа (н. у.), при обработке той же массы смеси соляной кислотой выделяется тот же газ в том же количестве. При прокаливании 10 г смеси в токе угарного газа ее масса уменьшается на 2,1 г.

1. Определите **А** и **Б**, в каком соотношении (по массе) они находятся в смеси? Расчеты проводите с точностью до десятых. Молярные массы рассчитывайте с точностью до целых. В ответе приведите массовое содержание приведите в процентах с точностью до целых.
2. Как называется смесь, откуда происходит ее название? Вместо черного порошка **Б** можно использовать бурый **В**, состоящий из тех же элементов.
3. В каком соотношении (по массе) тогда надо взять **А** и **В**, чтобы реакция горения прошла полностью? Расчеты проводите с точностью до десятых. Молярные массы рассчитывайте с точностью до целых. В ответе приведите массовое содержание в процентах с точностью до целых.
4. Напишите уравнения всех реакций.

Решение

1. Из условия задачи можно предположить, что **А** — алюминий, а **Б** — Fe_3O_4 . Подтвердим данные расчетами.

С выделением газа из двух компонентов смеси с щелочью и кислотой взаимодействует только алюминий:



Рассчитаем массу алюминия:

$$m_{\text{Al}} = n_{\text{Al}} \cdot M_{\text{Al}} = \frac{2 \cdot n_{\text{H}_2} \cdot M_{\text{Al}}}{3} = \frac{2 \cdot V_{\text{H}_2} \cdot M_{\text{Al}}}{3 \cdot V_m} = \frac{2 \cdot 2,95 \cdot 27}{3 \cdot 22,4} = 2,4 \text{ г.}$$

Тогда масса **Б** — 7,6 г. Проверим, совпадет ли с заданным показатель потери массы:

$$\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4 \text{CO} = 3 \text{Fe} + 4 \text{CO}_2;$$

$$\Delta m = m_{\text{Fe}_3\text{O}_4} - m_{\text{Fe}} = m_{\text{Fe}_3\text{O}_4} - \frac{3 \cdot m_{\text{Fe}_3\text{O}_4} \cdot M_{\text{Fe}}}{M_{\text{Fe}_3\text{O}_4}} =$$

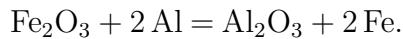
$$= 7,6 - \frac{3 \cdot 7,6 \cdot 56}{232} = 2,1 \text{ г.}$$

Осталось рассчитать массовое содержание:

$$\omega_A = \frac{m_A}{m} \cdot 100\% = \frac{2,4}{10} \cdot 100\% = 24\%,$$

$$\omega_B = \frac{m_B}{m} \cdot 100\% = \frac{7,6}{10} \cdot 100\% = 76\%.$$

2. Термитная смесь, происходит от греческого слова «термос» — тепло.
3. Вещество **B** — Fe_2O_3 :



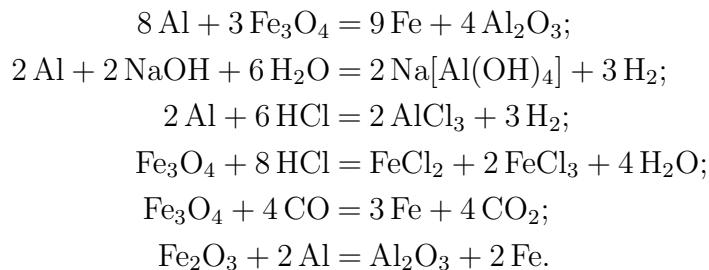
Исходя из уравнения реакции, для полного превращения на 1 моль вещества **B** необходимо 2 моль алюминия, тогда:

$$m_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = n \cdot M = 1 \cdot 160 = 160 \text{ г};$$

$$m_{\text{Al}} = n \cdot M = 2 \cdot 27 = 54 \text{ г.}$$

Масса всей смеси составляет 214 г, а содержание **A** и **B** — 25% и 75% соответственно.

4.



Критерии оценивания

1. 4 балла за ответ, только с расчетами.
2. 2 балла.
3. 4 балла.
4. 12 баллов за пункт (по 2 балла за каждую реакцию).

Задача 4.2.1.2. Геологический квиз (25 баллов)

Темы: неорганическая химия, аналитическая химия.

Условие

Приведена общая формула минерала — $M_5(X)_3Y$, который является прекурсором для получения белого фосфора, если его ввести в реакцию восстановления углеродом в присутствии оксида кремния. Известно, что при растворении минерала в серной кислоте (в присутствии воды) образуется **кислота 1**, гипс и газ, который также отдельно собирают. Этот газ является ключевым компонентом, используемым в получении **кислоты 2**, которую недопустимо хранить или перевозить в стеклянной таре.

1. Установите химическую формулу минерала и приведите его систематическое и тривиальное название.
2. Приведите уравнения всех перечисленных реакций.
3. Почему **кислоту 2** нельзя хранить или перевозить в стеклянной таре? Приведите уравнение реакции.
4. Сравните силу **кислоты 2** с аналогичными кислотами внутри одной группы Периодической системы химических элементов. Какая из этих кислот наиболее сильная и почему?
5. Предложите химический способ получения исследуемого минерала, исходя из водных растворов солей **металла M**.
6. Какое количество миллилитров 4 M водного раствора гидроксида натрия потребуется для полной нейтрализации кислоты 1, полученной в ходе растворения 5 г минерала в серной кислоте? Расчеты проводите с точностью до пятого знака после запятой.

Решение

1. Из условия задачи известно, что при растворении минерала в серной кислоте образуется гипс — $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Так, получается, что **M** — Ca. Еще одним продуктом растворения является газ, который является компонентом **кислоты 2**, которую нельзя хранить в стеклянной таре. Такой кислотой является плавиковая кислота, а значит, газ — HF.

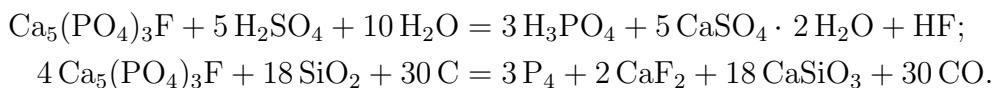
Также известно, что минерал — прекурсор в получении фосфора, значит, еще одним его компонентом является группа, в состав которой входит фосфор. Предположим, что кислота, образуемая при растворении минерала в серной кислоте, — H_3PO_4 .

Таким образом, предполагаемая формула минерала — $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$. Подтвердим эту теорию. Общий заряд молекулы должен быть равен 0:

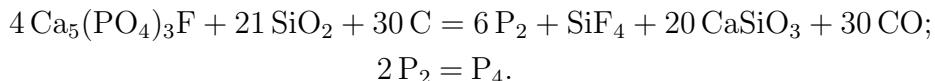
$$Z = 5 \cdot (2+) + 3 \cdot (3-) + 1 \cdot (-1) = 0.$$

При замене местами анионов равенства не получится. Тогда полученный минерал называется фосфат-фторид кальция или фтороапатит (фторапатит).

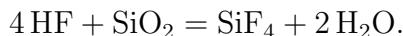
2. Составим уравнения:



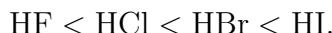
Или:



3. **Кислота 2** — это плавиковая кислота, способная разъедать стекло.

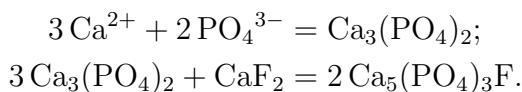


4. Сравнение будем проводить в ряду галогенов:

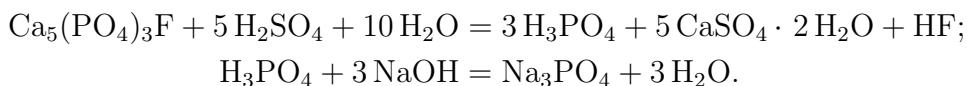


Сила кислоты зависит от степени ее диссоциации и от силы притяжения между атомами водорода и галогена. По мере увеличения радиуса атома сила притяжения уменьшается, и, как следствие, повышается степень диссоциации кислоты.

5. Минерал можно получить постадийно — сначала происходит образование ортофосфата кальция, а затем — введение фторида:



6. Составим уравнение реакции:



Рассчитаем количество вещества минерала:

$$n_{\text{мин}} = \frac{m}{M} = \frac{5}{504,3} = 0,00991 \text{ моль.}$$

Количество вещества кислоты составит 0,02973 моль, а количество вещества гидроксида натрия — 0,08919 моль. Тогда:

$$V = \frac{n}{C} = \frac{0,08919}{4} = 0,02230 \text{ л} = 22,3 \text{ мл.}$$

Критерии оценивания

1. 3 балла.
2. 5 баллов (по 2,5 балла за уравнение).
3. 2 балла.
4. 5 баллов.
5. 5 баллов.
6. 5 баллов.

Задача 4.2.1.3. Источник кислорода (25 баллов)

Темы: неорганическая химия, общая химия.

Условие

На Международной космической станции перхлорат лития используется для хранения кислорода. Вещества **А** и **В** также способны в ходе своего разложения выделять кислород. Известно, что вещество **А** может быть получено путем гидролиза гигроскопичного вещества, образующегося в ходе электролиза холодной серной кислоты.

В свою очередь вещество **В** является известным лабораторным окислителем, который способен давать разные продукты восстановления в зависимости от среды реакции.

Эффективность соединения для хранения кислорода определяется его отношением кислорода к объему (OV), который можно рассчитать как отношение высвобожденного кислорода к объему исходного соединения.

Плотность перхлората составляет $2,42 \text{ г/см}^3$, вещества **А** — $1,40 \text{ г/см}^3$, а вещества **В** — $2,70 \text{ г/см}^3$.

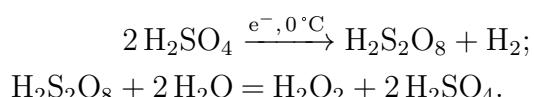
1. Определите формулы соединений **А** и **В**. Для получения вещества **А** приведите уравнения реакций. Для вещества **В** приведите возможные продукты его восстановления в зависимости от среды.
2. Приведите уравнения разложения всех веществ, упомянутых в условиях задачи, и рассчитайте для них OV (с точностью до целых) при температуре 25°C и стандартном давлении, а также оцените эффективность их использования. Концентрацию вещества **А** примите 100%.

Решение

1. Наиболее известные лабораторные способы получения кислорода — это катализитическое разложение перекиси водорода в присутствии оксида марганца (IV) и термическое разложение перманганата калия. (2 балла)

Известно, что один из первых промышленных способов получения перекиси водорода состоит в электролизе серной кислоты и последующем гидролизе продукта. Так, вещество **А** — H_2O_2 . (2 балла)

Приведем уравнения получения:



(4 балла, 2 балла за уравнение)

Перманганат калия активно используется в лабораторном практикуме в роли окислителя, а продукты его восстановления зависят от среды:

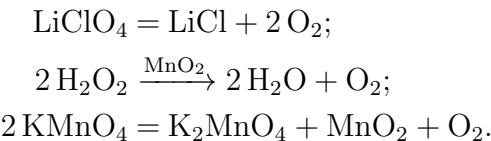
- кислая среда — Mn^{2+} ;
- основная среда — K_2MnO_4 ;
- нейтральная среда — MnO_2 .

(2 балла)

Так, вещество **В** — KMnO_4 . (2 балла)

12 баллов за пункт.

2. Приведем все уравнения реакций разложения:



(3 балла, по 1 баллу за уравнение)

Установим объем кислорода, который выделяется в ходе реакции разложения, однако, важно учесть, что наши условия не относятся к н. у. Поэтому нужно привести молярный объем к нашим условиям согласно закону Клайперона:

$$V = \frac{V_m \cdot T}{T_{\text{ct}}} = \frac{22,4 \cdot 298,15}{273,15} = 24,5 \text{ л/моль.}$$

Из 1 моль перхлората лития получается 2 моль кислорода. Тогда объем кислорода составит:

$$V_{\text{O}_2} = V \cdot n_{\text{O}_2} = 24,5 \cdot 2 = 49 \text{ л.}$$

Масса 1 моль перхлората лития составляет 106,4 г, тогда его объем:

$$V_A = \frac{m_A}{\rho} = \frac{106,4}{2,42} = 43,97 \text{ см}^3.$$

Осталось рассчитать OV:

$$OV = \frac{49\,000}{43,97} = 1\,114.$$

(4 балла)

Из 1 моль вещества **A** получается 0,5 моль кислорода. Тогда объем кислорода составит:

$$V_{\text{O}_2} = V \cdot n_{\text{O}_2} = 24,5 \cdot 0,5 = 12,25 \text{ л.}$$

Масса 1 моль вещества **A** составляет 34 г, тогда его объем:

$$V_A = \frac{m_A}{\rho} = \frac{34}{1,40} = 24,29 \text{ см}^3.$$

Осталось рассчитать OV:

$$OV = \frac{12\,250}{24,29} = 504.$$

(2 балла)

Из 1 моль вещества **B** получается 0,5 моль кислорода. Тогда объем кислорода составит:

$$V_{\text{O}_2} = V \cdot n_{\text{O}_2} = 24,5 \cdot 0,5 = 12,25 \text{ л.}$$

Масса 1 моль вещества **B** составляет 158 г, тогда его объем:

$$V_A = \frac{m_A}{\rho} = \frac{158}{2,70} = 58,52 \text{ см}^3.$$

Осталось рассчитать OV:

$$OV = \frac{12\,250}{58,52} = 209.$$

(2 балла)

Таким образом, наиболее эффективным является все же перхлорат лития.
(2 балла)

13 баллов за пункт.

Задача 4.2.1.4. Тяжелая вода (25 баллов)

Темы: неорганическая химия, аналитическая химия.

Условие

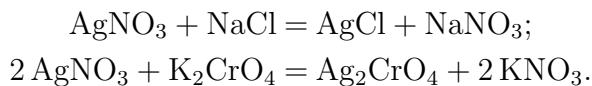
Химики в своих экспериментах часто используют тяжелую воду (D_2O). Большинство реагентов, в том числе тяжелую воду, продают не в единицах объема, а в единицах массы. К сожалению, недобросовестные производители с целью экономии могут в тяжелой воде растворять некоторое количество хлорида натрия, что позволяет увеличить ее массу и при этом использовать меньший объем. В лаборатории, с целью оценки чистоты купленной тяжелой воды, решили провести ее анализ с помощью аргентометрии по методу Мора, который заключается в титровании растворов хлорида натрия нитратом серебра в присутствии 5%-го раствора хромата калия (индикатор). В ходе такого титрования наблюдается выпадение осадка (эта реакция необратимая и происходит раньше, чем взаимодействие титранта с индикатором). Точка эквивалентности фиксируется при появлении темного-красного цвета раствора, что свидетельствует об образовании Ag_2CrO_4 .

При оценке чистоты тяжелой воды на первом этапе проводили подготовку к анализу — готовили 0,1 М раствор титранта и стандартизировали его, используя стандартный 1 М титр хлорида натрия, разбавленный в 10 раз. На титрование 20 мл раствора нитрата серебра (в присутствии 0,5 мл индикатора) в среднем понадобилось 24 мл стандартного раствора (по результатам трех экспериментов). Это позволило установить точную концентрацию раствора титранта. Затем проводили титрование тяжелой воды стандартизованным титрантом: отбирали по 20 мл исследуемой тяжелой воды, добавляли 0,5 мл индикатора и проводили процесс титрования. На титрование D_2O было израсходовано следующее количество титранта: 14 мл, 15 мл, 16 мл, 17 мл и 18 мл.

1. Приведите все уравнения реакций.
2. Определите истинную молярную концентрацию раствора титранта (с точностью до третьего знака после запятой).
3. Рассчитайте массовую долю хлорида натрия в исследуемой тяжелой воде массой 1 кг (ответ приведите в процентах с точностью до десятых). Оцените потери покупателей, если известно, что 1 кг тяжелой воды стоит 370 тыс. руб. Плотность тяжелой воды примите равной 1 г/см³.
4. Какая масса хромата калия в граммах потребовалась для проведения ВСЕХ экспериментов (включая стандартизацию титранта). Плотность раствора примите равной 1 г/см³.

Решение

1. Уравнения:



2. Из титра был приготовлен раствор хлорида натрия путем его разбавления в 10 раз. Тогда его концентрация составила 0,1 М. Концентрация раствора

нитрата серебра составила:

$$C_{\text{т}} = \frac{n_{\text{т}}}{V_{\text{т}}} = \frac{n_{\text{ct}}}{V_{\text{т}}} = \frac{C_{\text{ct}} \cdot V_{\text{ct}}}{V_{\text{т}}} = \frac{0,1 \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-3}} = 0,120 \text{ М.}$$

3. Сначала определим среднее значение объема затраченного титранта:

$$V_{\text{cp}} = \frac{14 + 15 + 16 + 17 + 18}{5} = 16 \text{ мл.}$$

Определим теперь количество вещества хлорида натрия в аликовоте:

$$n_a = C_{\text{т}} \cdot V_{\text{cp}} = 0,120 \cdot 16 \cdot 10^{-3} = 0,00192 \text{ моль.}$$

Определим количество вещества в 1 кг тяжелой воды:

$$m = n \cdot M = \frac{n_a \cdot 1000 \cdot M}{16} = \frac{0,00192 \cdot 1000 \cdot 58,4}{16} = 7,008 \text{ г.}$$

Тогда массовая доля хлорида натрия составляет:

$$\omega = \frac{m}{m_{\text{TB}}} \cdot 100\% = \frac{7,008}{1000} \cdot 100\% = 0,7\%.$$

Таким образом, 0,7% от стоимости тяжелой воды составляет хлорид натрия, а потери — 2 590 руб.

4. Сначала определим, сколько раствора индикатора потребовалось для анализа. Всего было восемь экспериментов по 0,5 мл — 4 мл или 4 г. Из 4 г 5% — это хромат калия. Тогда необходимая масса хромата калия составит 0,2 г.

Критерии оценивания

1. 2 балла.
2. 5 баллов.
3. 10 баллов (по 2 балла за каждое уравнение).
4. 8 баллов.

4.2.2. Химия. 10–11 классы

Задача 4.2.2.1. Опасный элемент (25 баллов)

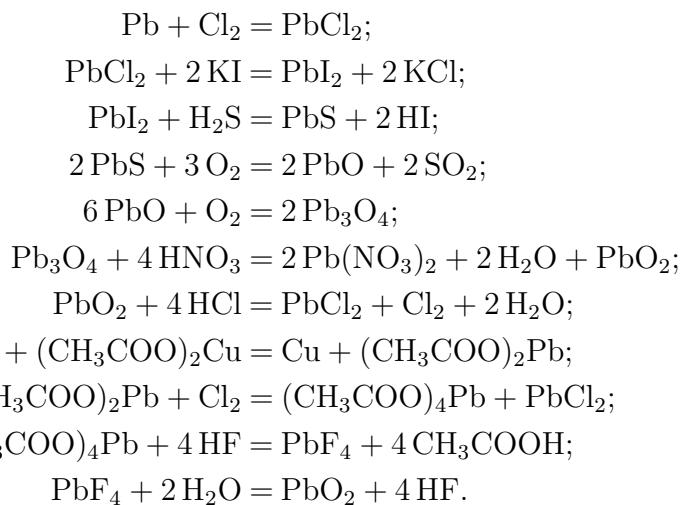
Тема: неорганическая химия.

Условие

Металл **Э** известен человечеству с древнейших времен. На схеме (рис. 4.2.1) зашифрованы превращения содержащих **Э** веществ.

(0,5 балла за каждую формулу, 0,5 балла за название, всего 9 баллов)

Уравнения реакций:



(1 балл за каждое уравнение)

(21 балл за пункт)

2. Традиционные названия:

- **В** — галенит;
 - **Г** — глет;
 - **Д** — сурик;
 - **Ж** — свинцовый сахар.

(2 балла, по 0,5 балла за название)

3. Ацетат свинца сладкий, им подслащали вино, а все растворимые соли свинца ядовиты. (1 балл)

4. Основное применение свинца — свинцово-кислотные аккумуляторы. Принцип работы аккумулятора основан на окислительно-восстановительной реакции между металлическим свинцом и PbO_2 . (1 балл)

Задача 4.2.2.2. Анестезия (30 баллов)

Тема: органическая химия.

Условие

На рис. 4.2.2 описан синтез вещества **H** — широко применяемого для анестезии лекарственного вещества.

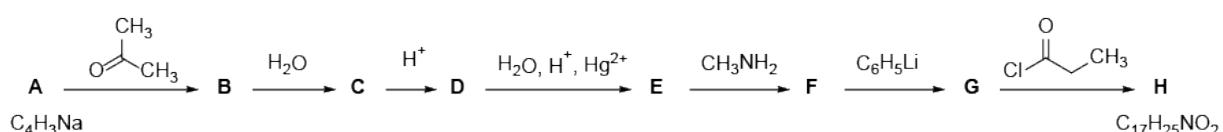


Рис. 4.2.2

- Установите структурные формулы веществ **A – H**. Напишите уравнения всех реакций, если известно, что вещество **F** содержит гетероцикл.
- В молекуле вещества **H** есть несколько хиральных центров. Известно, что образование нескольких стереоизомеров нежелательно при получении лекарственных веществ. Сколько существует стереоизомеров у вещества **H**? Предположите, почему при производстве оптически активных лекарственных веществ тщательно контролируют оптическую чистоту полученных соединений.
- Известно, что лекарственное вещество **H** обладает плохой растворимостью в воде. Опишите, почему это является критическим недостатком для лекарственного вещества. Укажите, каким образом можно добиться высокой растворимости вещества **H**.
- Во время операции средняя вводимая доза лекарственного препарата составляет 0,03 мг/кг/час в виде 2%-го раствора. Какую минимальную массу вещества **A** необходимо взять для синтеза такого количества **H**, которого хватит для обеспечения общей анестезии в течение 5 ч человека с массой тела, равной 60 кг? Считайте выход на каждой стадии равным 70%. Примите, что в ходе реакции образуется только один стереоизомер вещества **H**.

Решение

- Вещество **H** — промедол (тримеперидин).

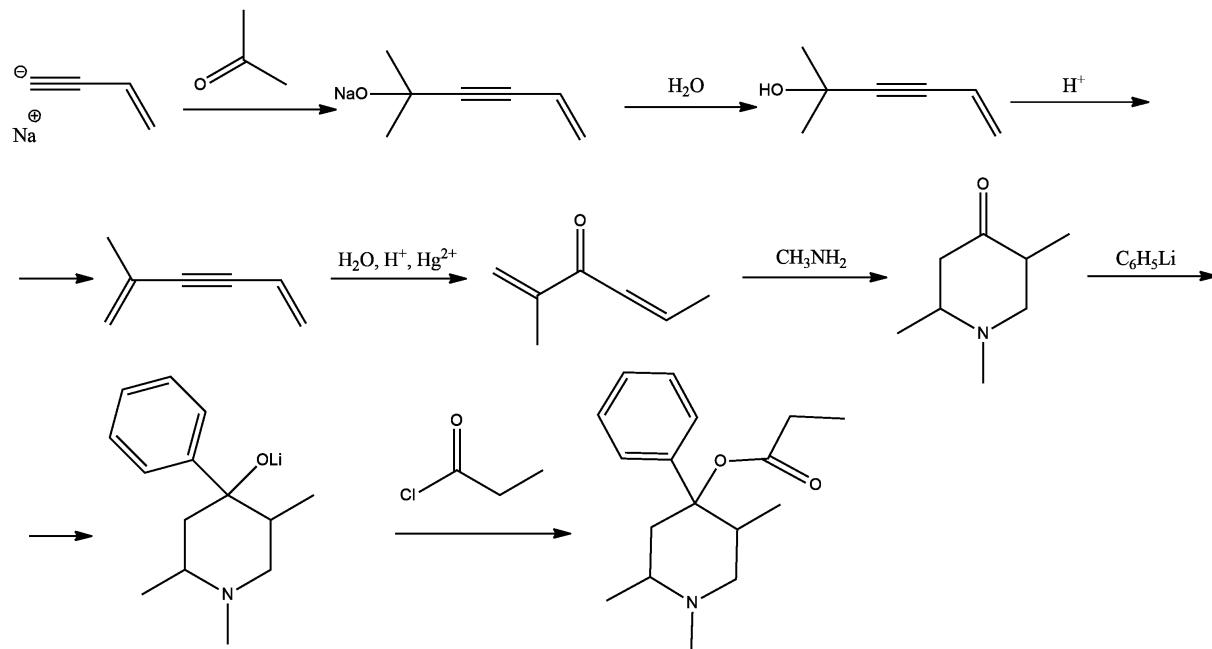


Рис. 4.2.3

Верные структурные формулы каждого вещества — по 1,5 балла, всего — 12 баллов.

- Число стереоизомеров = 2^n , где $n = 3$. Тогда для соединения **H** число стереоизомеров = $2^3 = 8$.

Стереоизомеры могут обладать разной биологической активностью. Один (или несколько) из них обладают необходимым действием на организм, остальные могут быть либо биологически неактивны, либо токсичны. В первом случае

без разделения стереоизомеров общая активность лекарственного препарата будет снижена, во втором случае лекарственный препарат нельзя выпускать и использовать.

Верный ответ на первый вопрос — 2 балла. Краткий ответ на второй вопрос — 2 балла, развернутый — 4 балла. Всего за пункт — **6 баллов**.

3. Низкая растворимость лекарственного вещества в воде обуславливает низкую биодоступность препарата, так как организм человека является водной средой. Это влечет за собой неактивность препарата, низкую всасываемость и плохое распределение по организму.

Высокой растворимости вещества **H** можно добиться переводом его в соль — гидрохлорид, гидросульфит и т. д. Наличие ионной связи (ионов, ионной кристаллической решетки) обеспечит хорошую растворимость в воде.

Верный ответ на первый вопрос — 3 балла, верный ответ на второй вопрос — 3 балла. Всего за пункт — **6 баллов**.

4. Суммарный выход по 7 стадиям:

$$\eta = (0,7)^7 = 0,082 = 8,2\%.$$

Суммарная необходимая масса **H**:

$$m = 0,03 \text{ мг} \cdot 60 \text{ кг} \cdot 5 \text{ часов} = 9 \text{ мг.}$$

Теоретическая масса **H** с учетом суммарного выхода всех стадий составляет:

$$m_{\text{теор}} = \frac{9}{0,082} = 109,8 \text{ мг.}$$

Количество вещества **H**:

$$n(\text{H}) = \frac{109,8}{275} = 0,4 \text{ ммоль.}$$

Соотношение веществ **A** и **H** равно единице, поэтому

$$n(\text{A}) = n(\text{H}) = 0,4 \text{ моль.}$$

Необходимая масса вещества **A** составляет:

$$m(\text{A}) = 0,4 \cdot 74 = 29,6 \text{ мг.}$$

(6 баллов)

Задача 4.2.2.3. Полиэтиленгликоль (20 баллов)

Темы: органическая химия, аналитическая химия.

Условие

Полиэтиленгликоль (ПЭГ) является важным полимером, который находит свое применение во всех отраслях химии. Его получают путем присоединения окиси этилена к этиленгликолю в присутствии щелочного катализатора.

Важной физико-химической характеристикой ПЭГ является гидроксильное число (мг КОН/г), которое показывает степень оксиалкилирования исходных гликолей, количество гидроксильных групп, а также молекулярную массу полиэфира, что позволяет оценить его реакционную способность.

Под гидроксильным числом понимают количество миллиграммов гидроксида калия, необходимое для нейтрализации карбоновой кислоты, выделяющейся при ацилировании 1 г навески анализируемого вещества соответствующим ангидридом карбоновой кислоты. В частности, используется метод Огга – Портера, который заключается в ацилировании гидроксильных групп уксусным ангидридом в среде пиридина, последующем гидролизе избытка ангидрида до кислоты и ее титровании спиртовым раствором гидроксида калия в присутствии индикатора.

Перед проведением анализа готовят ацилирующую смесь из свежеперегнанных уксусного ангидрида и пиридина в объемном соотношении 1 : 3. Для этого в колбу вносят 5 мл уксусного ангидрида и 15 мл пиридина и перемешивают. Затем в другую колбу добавляют навеску 1,00 г исследуемого ПЭГ и 1 мл ацилирующей смеси и нагревают в течение 40 мин, после в колбу добавляют 2 мл воды и нагревают еще 5 мин и охлаждают. В качестве титранта используют 0,1 М раствор гидроксида калия в этаноле, а в качестве индикатора — фенолфталеин, реагирующий на щелочную среду. Для определения гидроксильного числа также оттитровывают холостую пробу без добавления ПЭГ. В ходе анализа на титрование холостой пробы потребовалось 12 мл титранта, а для исследуемого образца 8 мл.

1. Приведите уравнение реакции получения ПЭГ.
2. Приведите уравнения всех реакций в ходе исследования.
3. Определите гидроксильное число исследуемого ПЭГ с точностью до сотых.
4. Выведите формулу определения молярной массы исследуемого ПЭГ и выполните расчет с использованием гидроксильного числа. Результаты приведите с точностью до целых.

Справочные данные: $M(\text{КОН}) = 56,1 \text{ г/моль.}$

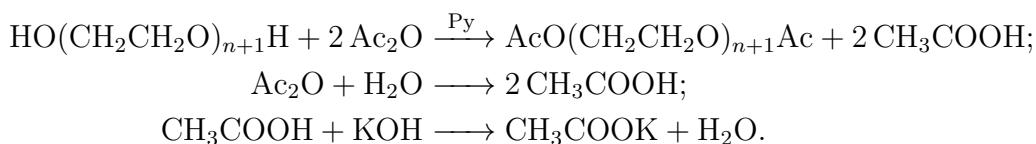
Решение

1. Уравнение реакции получения ПЭГ:



(2 балла)

2. Уравнения реакций, проведенных в ходе анализа:



(6 баллов, по 2 балла за уравнение)

3. Для начала определим объем титранта, который был затрачен на титрование уксусной кислоты, которая была получена в ходе реакции ацилирования:

$$V_a = V_x - V = 12 - 8 = 4 \text{ мл. (1 балл)}$$

Теперь можно определить количество вещества гидроксида калия, которое также потребовалось для титрования выделившейся в ходе ацилирования кислоты:

$$n_{\text{КОН}} = C \cdot V = 0,1 \cdot \frac{4}{1000} = 0,0004 \text{ моль. (1 балл)}$$

Исходя из единицы измерения гидроксильного числа (г. ч.) — мг КОН/г, можно определить формулу для его вычисления:

$$\begin{aligned} \text{г. ч.} &= \frac{m_{\text{КОН}}}{m_{\text{ПЭГ}}} = \frac{n_{\text{КОН}} \cdot M_{\text{КОН}}}{m_{\text{ПЭГ}}} = \frac{0,0004 \cdot 56,1}{1,00} = \\ &= 0,02244 \text{ г КОН/г} = 22,44 \text{ мг КОН/г. (4 балла)} \end{aligned}$$

(6 баллов за пункт)

4. Исходя из определения г. ч. можно установить следующую взаимосвязь: на 1 моль гидроксильных групп ПЭГ приходится 1 моль КОН, тогда

$$n_{\text{ОН}} = n_{\text{КОН}} = \frac{\text{г. ч.}}{M_{\text{КОН}} \cdot 1000}.$$

В свою очередь:

$$n_{\text{ПЭГ}} = \frac{n_{\text{ОН}}}{2}.$$

Следовательно:

$$\begin{aligned} M_{\text{ПЭГ}} &= \frac{m}{n_{\text{ПЭГ}}} = \frac{2 \cdot m}{n_{\text{ОН}}} = \frac{2 \cdot m \cdot M_{\text{КОН}} \cdot 1000}{\text{г. ч.}} = \\ &= \frac{2 \cdot 1,00 \cdot 56,1 \cdot 1000}{22,44} = 5000 \text{ г/моль.} \end{aligned}$$

(6 баллов)

Задача 4.2.2.4. УФ-спектрофотометрия (25 баллов)

Темы: неорганическая химия, общая химия.

Условие

Известно, что при сжигании 78 мг углеводорода **A** в атмосфере кислорода образуется 123,6 мл углекислого газа (объем измеряли при стандартном давлении и температуре 24 °C) и 54 мг воды. На одном из производств 1 т соединения **A** вводили во взаимодействие с нитрующей смесью, получая монозамещенный продукт **B**, на который затем действовали водородом в присутствии катализаторов, получая целевой продукт **C**. Общий объем реакционной смеси в реакторе составляет 2 000 л.

Ход реакции контролировали методом УФ-спектрофотометрии. Анализ кривой поглощения показал два максимума поглощения при 182 нм (характерно для вещества **A**) и при 230 нм (характерно для веществ **A** и **C**), что свидетельствует о неполноте прохождения первой реакции. По этой причине был проведен дополнительный количественный анализ.

Расчет проводили по закону Бугера – Ламберта – Бэра:

$$D = \varepsilon l C,$$

где

- D — показатель поглощения;
- ε — коэффициент молярной экстинкции, л/моль·см (определяется также, как и коэффициент k в уравнении прямой);
- l — длина светового пути, см (в исследовании использовалась стандартная кювета 1 см);
- C — концентрация вещества, М.

Как указано выше, вещество **A** поглощает свет при двух длинах волн, в том числе при 230 нм, как и вещество **C**. По этой причине без учета поглощения вещества **A** нельзя исследовать поглощение вещества **C** и, как следствие, их индивидуальных концентраций.

Так как исследовалась смесь светопоглощающих веществ, важно было учесть закон аддитивности:

$$D = l(\varepsilon_1 C_1 + \varepsilon_2 C_2).$$

Таким образом, были приготовлены и исследованы при двух длинах волн следующие калибровочные растворы вещества **A** в этаноле, см. таблицу 4.2.2.

Таблица 4.2.2

| C, M | D_A^{182} | D_A^{230} |
|--------|-------------|-------------|
| 0 | 0,2 | 0,1 |
| 0,2 | 0,4 | 0,2 |
| 0,4 | 0,6 | 0,3 |
| 0,6 | 0,8 | 0,4 |
| 0,8 | 1 | 0,5 |

В свою очередь также были приготовлены и исследованы при одной длине волны следующие калибровочные растворы вещества **C**, см. таблицу 4.2.3.

Таблица 4.2.3

| C, M | D_C^{230} |
|--------|-------------|
| 0 | 0 |
| 0,2 | 0,2 |

| C, M | D_C^{230} |
|--------|-------------|
| 0,4 | 0,4 |
| 0,6 | 0,6 |
| 0,8 | 0,8 |

Для получения исследуемого раствора из реактора отбирали 10 мл реакционной смеси и доводили до 100 мл этанолом. Показатели поглощения исследуемого образца составили 0,3 при 182 нм и 0,6 при 230 нм.

1. Определите вещества **A**, **B** и **C** и приведите их структурные формулы. Назовите эти вещества и напишите уравнения всех реакций, описанных выше.
2. Определите степень конверсии вещества **A** по массе. Ответ приведите в процентах с точностью до целых.
3. Определите выход продукта **C**. Ответ приведите в процентах с точностью до целых.

Решение

1. Определим количество вещества углекислого газа. Для этого нужно определить значение молярного объема при 24 °С. Воспользуемся уравнением Клапейрона:

$$\frac{P_{\text{ct}} V_m}{T_{\text{ct}}} = \frac{P_{\text{ct}} V_{24}}{T};$$

$$V_{24} = \frac{P_{\text{ct}} V_m T}{T_{\text{ct}} P_{\text{ct}}} = \frac{V_m T}{T_{\text{ct}}} = \frac{22,4 \cdot 273}{297} = 20,6.$$

Тогда:

$$n_{\text{CO}_2} = \frac{V}{V_{24}} = \frac{123,6 \cdot 10^{-3}}{20,6} = 0,006 \text{ моль. (3 балла)}$$

Теперь определим количество вещества воды:

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{54 \cdot 10^{-3}}{18 \cdot 1000} = 0,003 \text{ моль.}$$

Исходя из этого, получим количества вещества углерода и водорода:

$$n_C = n_{\text{CO}_2} = 0,006 \text{ моль;} \\ n_H = 2 \cdot n_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot 0,003 = 0,006 \text{ моль.}$$

Таким образом, брутто-формула вещества **A** — C_6H_6 . Это бензол.

(2,5 балла, 2 балла за расчет и 0,5 балла за название вещества)

В ходе нитрования бензола получается вещество **B** — нитробензол, а последующее восстановление дает вещество **C** — анилин.

(1 балл, по 0,5 балла за название вещества)

Приведем все уравнения реакций:

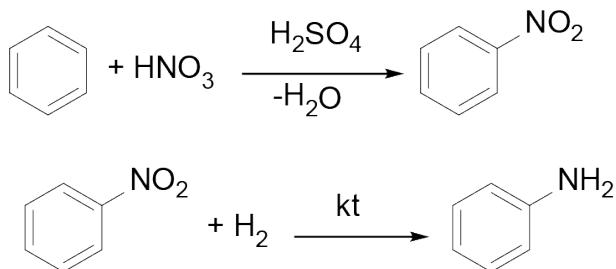


Рис. 4.2.4

(3 балла, по 1 баллу за реакцию)

(9,5 баллов за пункт).

2. По приведенным данным можно легко построить калибровочные графики и установить уравнения прямых (данные позволяют сделать это по клеточкам рабочего листа):

- для вещества **A** (при 182 нм) — $y = x + 0,2$;
- для вещества **A** (при 230 нм) — $y = 0,5x + 0,1$;
- для вещества **C** (при 230 нм) — $y = x$.

(3 балла, по 1 баллу за уравнение прямой)

Коэффициент перед x соответствует показателю молярной экстинкции, световой путь составляет 1 см, тогда:

$$D^{182} = \varepsilon_A^{182} \cdot C_A \cdot l + 0,2 = \varepsilon_A^{182} \cdot C_A + 0,2;$$

$$C_A = \frac{D^{182} - 0,2}{\varepsilon_A^{182}} = \frac{0,3 - 0,2}{1} = 0,1 \text{ М. (1 балл)}$$

В исследуемом образце объемом 100 мл, как и в 10 мл отобранный из реактора пробы, содержится:

$$n_A = C \cdot V = 0,1 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 0,01 \text{ моль. (0,5 балла)}$$

Следовательно, всего в реакторе содержится в 200 000 раз больше вещества **A** — 2 000 моль, что соответствует 156 кг ($M = 78 \text{ г/моль}$).

Рассчитаем конверсию:

$$\alpha = \frac{1\,000 - 156}{1\,000} \cdot 100\% = 84\%. (5 \text{ баллов})$$

(9,5 баллов за пункт)

3. Рассчитаем теперь выход продукта **C**:

$$D^{230} = \varepsilon_A^{230} \cdot C_A \cdot l + 0,1 + \varepsilon_C^{230} \cdot C_C \cdot l = 0,5C_A + 0,1 + C_C;$$

$$C_C = D^{230} - 0,5C_A - 0,1 = 0,6 - 0,5 \cdot 0,1 - 0,1 = 0,45 \text{ М. (1 балл)}$$

Тогда количество вещества в 10 мл исходной пробы составит:

$$n_C = C_C \cdot V = 0,45 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 0,045 \text{ моль.}$$

А в 2 000 л реактора — 9 000 моль. (2 балла)

Рассчитаем количество вещества А в 1 т:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1\,000\,000}{78} = 12\,820 \text{ моль.}$$

Это соответствует и анилину ($M = 93 \text{ г/моль}$), тогда его теоретическая масса составит — 1 192 260 г. (2 балла)

Выход реакции:

$$\vartheta = \frac{m_{\text{пп}}}{m_{\text{т}}} \cdot 100\% = \frac{n_C \cdot M}{m_{\text{т}}} \cdot 100\% = \frac{9\,000 \cdot 93}{1\,192\,260} \cdot 100\% = 70\%. \text{ (2 балла)}$$

(6 баллов за пункт)

4.2.3. Физика. 8–9 классы

Задача 4.2.3.1. Слоеный пирог (16 баллов)

Для нужд микроэлектроники был изготовлен элемент, представляющий собой куб со стороной $a = 2$ мкм из $n = 32$ тонко напыленных слоев металла и $m = 31$ слоя слабопроводящего полупроводника, параллельных одной из пар граней куба. Удельное сопротивление полупроводника $r = 210$ Ом·м, удельное сопротивление металла ничтожно мало по сравнению с этой величиной. Плотность полупроводника $\rho_1 = 2000$ кг/м³, плотность металла $\rho_2 = 8000$ кг/м³. Определите сопротивление такого элемента в направлении поперек слоев, если его средняя плотность составила $\rho = 4000$ кг/м³.

Решение

При измерении сопротивления слоистой структуры поперек слоев она включается в цепь как набор отдельных слоев, соединенных последовательно. Следовательно, ее общее сопротивление R может быть найдено по формуле

$$R = \sum_{i=1}^{n+m} R_i = \sum_{i=1}^{n+m} \frac{r_i d_i}{a^2},$$

где R_i — сопротивление i -го слоя, r_i — удельное сопротивление его материала, d_i — толщина этого слоя, а суммирование осуществляется по всем слоям структуры. Учитывая при этом, что сопротивление металлических слоев пренебрежимо мало по сравнению с сопротивлением полупроводниковых, можем суммировать только последние:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n \frac{r d_i}{a^2} = \frac{r}{a^2} \sum_{i=1}^n d_i.$$

В этом случае удельное сопротивление r и площадь одного слоя a^2 выносятся за знак суммы, а оставшееся внутри него выражение представляет собой не что иное, как суммарную толщину всех полупроводниковых слоев, независимо от числа слоев. Обозначим ее b :

$$R = \frac{rb}{a^2}.$$

Чтобы найти эту суммарную толщину, выразим массу элемента через его среднюю плотность и через плотности отдельных его составляющих:

$$\rho a^3 = \rho_1 a^2 b + \rho_2 a^2 (a - b).$$

Сокращая a^2 , получим линейное уравнение на b :

$$\rho a = \rho_1 b + \rho_2 (a - b) \Rightarrow b = \frac{\rho_2 - \rho}{\rho_2 - \rho_1} a,$$

откуда окончательно

$$R = \frac{r(\rho_2 - \rho)}{a(\rho_2 - \rho_1)} = 70 \text{ МОм.}$$

Ответ:

$$R = \frac{r(\rho_2 - \rho)}{a(\rho_2 - \rho_1)} = 70 \text{ МОм.}$$

Критерии оценивания

| | |
|--|------------------|
| Указано, что слои можно считать соединенными последовательно или записано демонстрирующее это выражение для сопротивлений или напряжений и токов | 3 балла |
| Показано, что сопротивление элемента определяется общей толщиной полупроводниковых слоев и не зависит от их числа и распределения | 3 балла |
| Верно записано соотношение для средней плотности или общей массы, позволяющее найти общую толщину полупроводниковых слоев | 4 балла |
| Получен правильный ответ | 6 баллов |
| Всего | 16 баллов |

Задача 4.2.3.2. Оболочка (16 баллов)

При проведении ядерного эксперимента радиоактивный образец был окружен оболочкой поглотителей продуктов распада, представляющей собой сферический слой, имеющей внутренний радиус R и внешний радиус $4R$, в центре которого находился экспериментальный образец. Начальная температура всей оболочки $t_0 = 25$ °C.

После инициации в образце цепной реакции слой материала, находившийся от центра установки на расстоянии меньше $3R$, быстро поглотил большую энергию излучения и практически мгновенно достиг температуры $t_1 = 340$ °C, а материал, находившийся от центра установки на большем расстоянии, практически не изменил своей температуры. Определите, какая температура t_2 установилась в поглощающей оболочке через 20 мин, если известно, что за это время температура всей оболочки выровнялась, а внешней среде было передано $\eta = 20\%$ изначально поглощенной теплоты. Объем шара радиуса R задается выражением $4\pi R^3/3$.

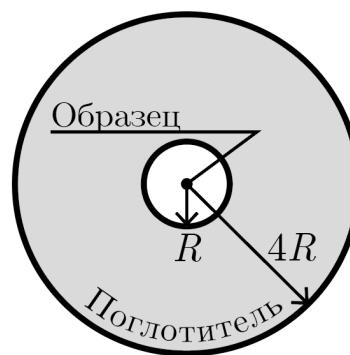


Рис. 4.2.5

Решение

Поглотитель представляет собой сферический слой, который можно представить как разность двух шаров, обладающих радиусами $4R$ и R .

Тогда общий объем V_0 поглотителя равен

$$V_0 = \frac{4\pi}{3}(4R)^3 - \frac{4\pi}{3}R^3 = 63\frac{4\pi}{3}R^3,$$

а объем V_1 нагревшейся части этого поглотителя

$$V_1 = \frac{4\pi}{3}(3R)^3 - \frac{4\pi}{3}R^3 = 26\frac{4\pi}{3}R^3.$$

Обозначив плотность поглотителя ρ , а его удельную теплоемкость c , легко найдем, что изначально веществом было поглощено количество теплоты

$$Q = c\rho V_1(t_1 - t_0) = 26\frac{4\pi}{3}c\rho R^3(t_1 - t_0).$$

По условиям задачи доля η этого тепла рассеивается во внешней среде, а остальная теплота перераспределяется равномерно по всему объему поглотителя:

$$Q(1 - \eta) = c\rho V_0 = 63\frac{4\pi}{3}c\rho R^3(t_2 - t_0).$$

Подставляя эти два выражения друг в друга, получим

$$(1 - \eta)26\frac{4\pi}{3}c\rho R^3(t_1 - t_0) = 63\frac{4\pi}{3}c\rho R^3(t_2 - t_0) \Rightarrow t_2 = t_0 + (1 - \eta)\frac{26}{63}(t_1 - t_0) = 129 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Ответ:

$$t_2 = t_0 + (1 - \eta)\frac{26}{63}(t_1 - t_0) = 129 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Критерии оценивания

| | |
|---|------------------|
| Верно найден общий объем поглотителя (в том числе через неизвестный коэффициент пропорциональности) | 3 балла |
| Верно найден объем нагревшейся части поглотителя (в том числе через неизвестный коэффициент пропорциональности) | 2 балла |
| Записано правильное уравнение теплового баланса с учетом тепловых потерь | 5 баллов |
| Получен правильный ответ | 6 баллов |
| Всего | 16 баллов |

Задача 4.2.3.3. Деление (22 балла)

Покоящееся ядро нестабильного элемента, находящееся вдали от других заряженных частиц, претерпевает деление, в результате которого образуются два крупных осколка и два нейтрона. Первый осколок имеет массу $m_1 = 55$ а. е. м. и получает $\eta_1 = 0,8\%$ энергии, выделившейся в результате деления ядра, второй — массу $m_2 = 198$ а. е. м. и получает $\eta_2 = 0,5\%$ энергии, выделившейся в результате деления. Остальная энергия деления поровну распределилась между нейтронами. Вся энергия осколков чисто кинетическая. Под каким углом друг к другу разлетаются два нейтрона, если крупные осколки разлетелись под прямым углом друг к другу? Масса нейтрона $m_0 = 1$ а. е. м.

Решение

Импульс \vec{p} частицы определяется выражением $\vec{p} = m\vec{v}$, где m — масса частицы, а \vec{v} — ее скорость. Кинетическая энергия K частицы определяется выражением $K = mv^2/2$. Подставляя эти два выражения друг в друга, получим $p = \sqrt{2mK}$. Обозначим E общую энергию, выделившуюся в результате распада. Тогда

$$p_1 = \sqrt{2m_1\eta_1 E}; \quad p_2 = \sqrt{2m_2\eta_2 E}.$$

Суммарный импульс p_3 этих двух осколков легко найти, сложив $\vec{p}_1 + \vec{p}_2$. Суммирование, разумеется, следует проводить геометрически, а значит, его модуль определяется по теореме Пифагора:

$$p_3 = \sqrt{p_1^2 + p_2^2} = \sqrt{2E(m_1\eta_1 + m_2\eta_2)}.$$

Импульс p_0 каждого из нейтронов легко выразить из той же логики, учитывая, что каждому из них достается половина остальной энергии:

$$p_0 = \sqrt{m_0 E(1 - \eta_1 - \eta_2)}.$$

Систему отсчета ядра можно считать инерциальной, поскольку по условиям ядро находится вдали от других заряженных частиц. Следовательно, геометрическая сумма импульсов всех четырех его осколков должна равняться нулю, а отдельно взятых двух нейтронов — составлять, соответственно, $-\vec{p}_3$. Из рис. 4.2.6 легко видеть, что модуль этой суммы равен

$$p_3 = 2p_0 \cos \frac{\phi}{2},$$

откуда получим

$$\cos \frac{\phi}{2} = \frac{p_3}{2p_0} = \frac{\sqrt{2E(m_1\eta_1 + m_2\eta_2)}}{2\sqrt{m_0 E(1 - \eta_1 - \eta_2)}} \Rightarrow \phi = 2 \arccos \sqrt{\frac{m_1\eta_1 + m_2\eta_2}{2m_0(1 - \eta_1 - \eta_2)}} \approx 63^\circ.$$

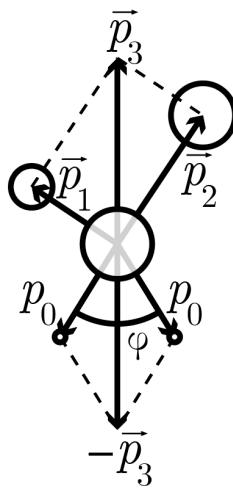


Рис. 4.2.6

Вообще говоря, шесть векторов на рис. 4.2.6 могут и не лежать в одной плоскости. Угол между импульсами нейтронов и тяжелых осколков установить невозможно, но внутри этих пар углы должны оставаться такими, какими они вычислены и изображены.

Ответ:

$$\phi = 2 \arccos \sqrt{\frac{m_1 \eta_1 + m_2 \eta_2}{m_0(1 - \eta_1 - \eta_2)}} \approx 63^\circ.$$

Критерии оценивания

| | |
|---|-----------------|
| Продемонстрировано понимание того, что импульс системы в рассматриваемом взаимодействии сохраняется | 3 балла |
| Изображен рисунок или словами описана процедура векторного сложения импульсов | 3 балла |
| Верно найдено выражение, связывающее импульс, массу и кинетическую энергию | 4 балла |
| Грамотно применена теорема Пифагора к сложению импульсов тяжелых осколков | 3 балла |
| Записано верное соотношение между импульсом одного нейтрона, суммарным импульсом двух и искомым углом | 3 балла |
| Получен правильный ответ | 6 баллов |
| Всего | 22 балла |

Задача 4.2.3.4. Поворот (26 баллов)

В ядерной лаборатории тестируются два различных устройства, предназначенных для управления пучком α -частиц. Оба устройства представляют собой кубические камеры одинаковых размеров со стороной l , в которые пучок α -частиц, испущенных радионуклидом, попадает через окошко в центре одной из граней параллельно оси симметрии камеры и должен выйти через противоположную стенку. Внутри камеры создано однородное поле, отклоняющее частицу, при этом интенсивность поля достаточна, чтобы ограничение на максимальный угол отклонения пучка частиц ϕ было обусловлено только геометрией камеры (см. рис. 4.2.7).

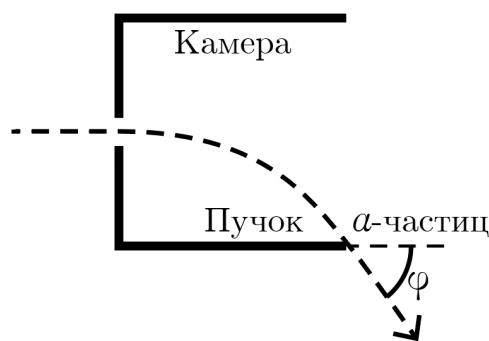


Рис. 4.2.7

Первое использует для поворота частицы электрическое поле, которое оказывает на частицу постоянную по величине и направлению силу, перпендикулярную вектору начальной скорости частицы. Второе — магнитное поле, оказывающее на частицу

постоянную по величине силу, всегда направленную перпендикулярно вектору мгновенной скорости частицы. На какую величину отличаются максимальные углы ϕ , на которые способны отклонить пучок в плоскости рис. 4.2.7 эти два устройства, если силы, создаваемые ими, существуют только в пределах кубической камеры?

Решение

Обозначим максимальные углы отклонения пучка ϕ_E и ϕ_M для электрической и магнитной камер соответственно. При движении в электрической камере под воздействием постоянной по модулю и направлению силы \vec{F} закон движения частицы удобно записать в проекции на две оси: $0x$, сонаправленную с вектором ее начальной скорости и $0y$, сонаправленную с вектором \vec{F} и создаваемым ей ускорением \vec{a} . Движение в первой проекции является равномерным, во второй — равноускоренным. При максимальном отклонении частица проходит у самого ребра кубической камеры, через точку с координатами $(l; l/2)$. Тогда для момента вылета частицы из камеры получим

$$\begin{cases} vt = l, \\ \frac{at^2}{2} = \frac{l}{2}. \end{cases}$$

Решая эту систему, получим $t = v/a$. Тогда вертикальная компонента скорости $v_y = at$, набранная частицей, равна $v_y = at = v$ ее изначальной горизонтальной компоненте скорости, а значит, угол ϕ_E максимального отклонения частицы составляет 45° .

При движении в магнитной камере под действием силы, постоянно направленной перпендикулярно к вектору мгновенной скорости, созданное этой силой ускорение является чисто центростремительным, а значит, частица движется по дуге окружности. Найти радиус этой окружности можно при помощи геометрии.

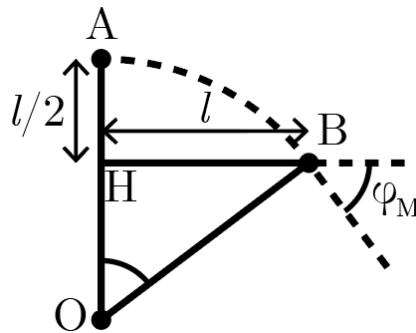


Рис. 4.2.8

Обозначим точку попадания частицы в камеру А, точку выхода частицы В, а центр кривизны ее траектории О. Также обозначим Н угол в сечении камеры плоскостью рис. 4.2.8, лежащий на отрезке ОА. Отрезки ОА и ОВ равны как радиусы, обозначим их длины R . Тогда из геометрии камеры и теоремы Пифагора легко получить

$$(R - l/2)^2 + l^2 = R^2 \Rightarrow \frac{5}{4}l^2 - Rl = 0 \Rightarrow R = \frac{5l}{4},$$

откуда угол

$$\angle AOB = \arcsin \frac{4}{5},$$

но так как $\angle OHB$ прямой, $\angle AOB = 90^\circ - \angle HBO = \varphi_M$ (так как касательная к окружности перпендикулярна ее радиусу).

Тогда окончательно

$$\phi_M - \phi_E = \arcsin \frac{4}{5} - 45^\circ \approx 8,1^\circ.$$

Ответ:

$$\phi_M - \phi_E = \arcsin \frac{4}{5} - 45^\circ \approx 8,1^\circ.$$

Критерии оценивания

| | |
|--|------------------|
| Продемонстрировано понимание того, что траектория α -частицы в электрической камере представляет собой дугу параболы | 2 балла |
| Верно записаны законы движения частицы в этом случае | 3 балла |
| Верно найдена вертикальная проекция скорости частицы на выходе из камеры | 2 балла |
| Верно найден максимальный угол отклонения частицы в электрической камере | 4 балла |
| Продемонстрировано понимание того, что траектория α -частицы в магнитной камере представляет собой дугу окружности | 3 балла |
| Верно сделан чертеж, позволяющий найти угол отклонения в этом случае и/или записаны эквивалентные этому чертежу геометрические соотношения между отрезками | 3 балла |
| Верно найден максимальный угол отклонения частицы в магнитной камере | 5 баллов |
| Получен правильный ответ | 4 балла |
| Всего | 26 баллов |

Задача 4.2.3.5. Фонарик (20 баллов)

Для медицинских нужд изготавливается микроскопический осветительный прибор, работающий внутри биологических тканей, окружающая среда в которых может иметь достаточно высокий показатель преломления. Его испытания проводятся в специальном растворе с показателем преломления $n_0 = 1,5$. Прибор представляет собой крошечный светодиод, напаянный на плоскую плату и окруженный «капелькой» из оптической смолы с низким показателем преломления $n < n_0$. Капелька имеет форму сегмента сферы, сходящегося с плоскостью платы под углом $\alpha = 15^\circ$, как изображено на рис. 4.2.9. Определите значение n , если известно, что устроенный таким образом фонарик внутри раствора дает конус света, угол между крайними лучами которого $\phi = 120^\circ$.

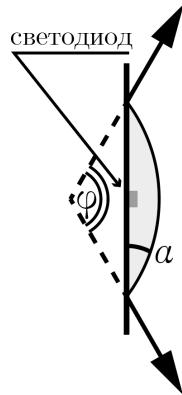


Рис. 4.2.9

Решение

Чем ближе к полюсу капельки падает луч, тем меньше будет угол его падения, а значит, по закону Снеллиуса, меньше будет и угол преломления. Поэтому угол ϕ раствора светового конуса будет определяться преломлением крайних лучей, изображенных на рис. 4.2.10. До преломления эти лучи распространяются практически параллельно плате, поэтому их угол падения β на границу капельки и крови равен $\beta = 90^\circ - \alpha$. Изобразим ход этих лучей на чертеже вблизи. На чертеже О — центр кривизны капельки, А — точка преломления луча, В — вершина светового конуса, С — светодиод.

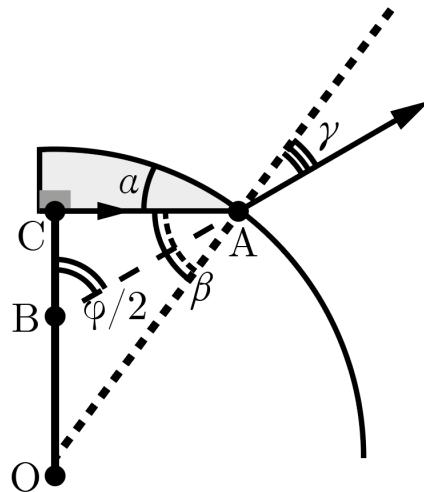


Рис. 4.2.10

Тогда, в соответствии с законом Снеллиуса, угол преломления γ этих лучей связан с углом падения выражением

$$n_0 \sin \gamma = n \sin \beta = n \cos \alpha \Rightarrow n = \frac{\sin \gamma}{\cos \alpha} n_0.$$

В треугольнике ABC угол при вершине А равен $\beta - \gamma$. Тогда из суммы углов этого треугольника легко получить

$$\beta - \gamma + 90^\circ + \phi/2 = 180^\circ \Rightarrow \gamma = \beta + \phi/2 - 90^\circ = \phi/2 - \alpha.$$

Подставляя этот результат в закон Снеллиуса, получим

$$n = \frac{\sin(\phi/2 - \alpha)}{\cos \alpha} n_0 \approx 1,1.$$

Ответ:

$$n = \frac{\sin(\phi/2 - \alpha)}{\cos \alpha} n_0 \approx 1,1.$$

| | |
|---|------------------|
| Изображен ход крайнего луча с отметкой углов его падения и преломления | 3 балла |
| Верно записан закон Снеллиуса | 4 балла |
| Верно найдено соотношение между углом α и углом падения луча | 2 балла |
| Верно найдено соотношение между углами α , ϕ и углом преломления луча | 5 баллов |
| Получен правильный ответ | 6 баллов |
| Всего | 20 баллов |

4.2.4. Физика. 10–11 классы

Задача 4.2.4.1. Диполь (15 баллов)

Электрический диполь, представляющий собой пару равных по модулю разноименных зарядов, которые соединены жесткой связью на некотором расстоянии l друг от друга, влетает со скоростью $v = 200$ м/с в скрещенные под прямым углом друг к другу электрическое и магнитное поля. При этом скорость диполя сонаправлена с силовыми линиями электрического поля, а вектор \vec{l} , соединяющий два заряда диполя, перпендикулярен линиям индукции магнитного (см. рис. 4.2.11).

Под каким углом к силовым линиям электрического поля должен быть ориентирован диполь, чтобы его движение оставалось чисто поступательным? Напряженность электрического поля $E = 400$ В/м, индукция магнитного $B = 0,5$ Тл.

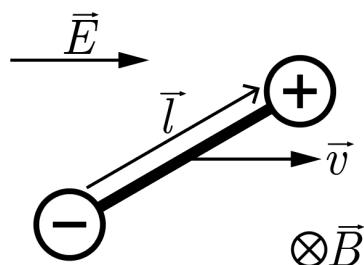


Рис. 4.2.11

Решение

В электрическом поле на положительный заряд действует сила Кулона $\vec{F}_E = \vec{E}q$, направленная вправо на рис. 4.2.11, а на отрицательный — строго противоположная

ей. В магнитном поле на положительный заряд действует сила $F_M = qvB$, направленная (по правилу левой руки) вверх на рис. 4.2.11, а на отрицательный — строго противоположная ей.

Поскольку обе эти силы возникают равными по модулю и противоположными по направлению парами, ускорение диполя в любом случае равно нулю, и он представляет собой инерциальную систему отсчета. Чтобы его движение было чисто поступательным, нулю также должна равняться сумма моментов этих сил относительно любой оси.

Проще всего записать соответствующие условия относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости рис. 4.2.11 через отрицательный заряд. В этом случае момент силы F_E равен

$$M_E = F_E l \sin \alpha,$$

где α — искомый угол между векторами \vec{l} и скорости диполя, а момент силы F_M аналогично равен

$$M_M = F_M l \cos \alpha.$$

Приравнивая эти два момента, получим

$$qEl \sin \alpha = qvBl \cos \alpha \Rightarrow \tan \alpha = \frac{vB}{E} \Rightarrow \alpha = \arctg \frac{vB}{E} \approx 14^\circ.$$

Ответ:

$$\alpha = \arctg \frac{vB}{E} \approx 14^\circ.$$

Критерии оценивания

| | |
|---|------------------|
| Верно записано выражение для силы Кулона, действующей на заряды и определено направление этой силы | 2 балла |
| Верно записано выражение для силы Лоренца, действующей на заряды и определено направление этой силы | 4 балла |
| Верно записано уравнение моментов | 5 баллов |
| Получен правильный ответ | 4 балла |
| Всего | 15 баллов |

Задача 4.2.4.2. Плазменный канал (17 баллов)

В лаборатории исследуется возможность передачи электрического разряда на большие расстояния по плазменному каналу в атмосфере. Для этого мощный пучок параллельных рентгеновских лучей «прожигает» по ходу своего следования воздух, в среднем отрывая от каждой молекулы газа по одному электрону, после чего высоковольтный источник создает в полученном таким образом канале однородное электрическое поле с напряженностью. Найдите удельное сопротивление полученного таким образом плазменного канала, если известно, что скорость \vec{v} дрейфа электронов в ионизированном воздухе прямо пропорциональна напряженности \vec{E} электрического поля $v = -\mu \vec{E}$ с коэффициентом $\mu = 0,15$ Кл·с/кг (называемым подвижностью),

а подвижность положительных ионов пренебрежимо мала. Концентрация молекул воздуха в условиях эксперимента $n = 2,6 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$.

Решение

Удельное сопротивление вещества ρ может быть найдено по формуле

$$\rho = \frac{RS}{l},$$

где R — электрическое сопротивление рассматриваемого объема вещества, S — площадь его поперечного сечения, l — длина. Дополняя эту формулу определением электрического сопротивления $R = U/I$, где U — напряжение на концах элемента, а I — сила тока в нем, получим

$$\rho = \frac{US}{Il}.$$

Сила тока I , равная отношению переносимого через поперечное сечение проводника заряда q ко времени t , может быть выражена через скорость движения заряженных частиц v , заряд e одной из них и их концентрацию n как

$$I = \frac{q}{t} = \frac{enV}{t} = \frac{enSl}{t} = enSv.$$

Здесь учитываем, что вклад ионов в общую проводимость плазменного канала пренебрежимо мал по сравнению со вкладом электронов, поскольку по условиям задачи пренебрежимо мала их подвижность и, следовательно, дрейфовая скорость. Тогда

$$\rho = \frac{U\mathcal{S}}{en\mathcal{S}vl} = \frac{E}{env} = \frac{1}{en\mu} \approx 1,6 \text{ мкОм}\cdot\text{м},$$

где E — напряженность электрического поля, связанная в однородном поле с напряжением соотношением $U = El$.

Ответ:

$$\rho = \frac{1}{en\mu} \approx 1,6 \text{ мкОм}\cdot\text{м}.$$

Критерии оценивания

| | |
|---|------------------|
| Верно записано выражение связи удельного сопротивления с обычным | 3 балла |
| Верно записан закон Ома | 3 балла |
| Верно записана связь силы тока со скоростью, зарядом и концентрацией зарядов в проводнике | 6 баллов |
| Получен правильный ответ | 5 баллов |
| Всего | 17 баллов |

Первые два пункта критериев также могут быть заменены записью закона Ома в дифференциальной форме, если он известен участникам.

Задача 4.2.4.3. Наноантенна (20 баллов)

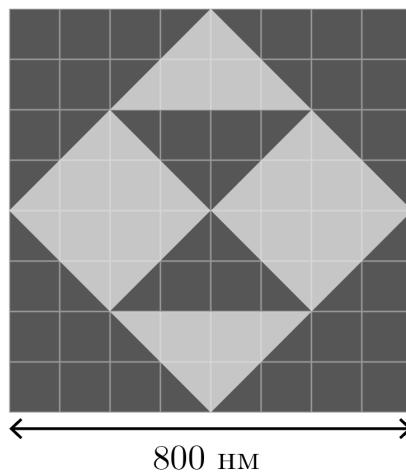


Рис. 4.2.12

Наноантенны представляют собой миниатюрные электронные устройства, структурированные в наномасштабе комбинации различных материалов. Зачастую они имеют причудливые формы, сконструированные для взаимодействия со строго определенными типами излучения.

В лаборатории была изготовлена антenna, форма которой изображена на рис. 4.2.12: более темные участки представляют собой диэлектрик с проницаемостью $\epsilon_1 = 6$, более светлые — диэлектрик с проницаемостью $\epsilon_2 = 2$. Клетчатый узор представляет собой исключительно масштабную линейку, каждая клетка которой имеет сторону $a = 100$ нм. Изображенная структура изготовлена в виде плоского элемента с толщиной $d = 20$ нм (в направлении, перпендикулярном плоскости рис. 4.2.12), зажатого между двумя такими же тонкими слоями металла. Оцените электроемкость полученного таким образом элемента. Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \Phi/\text{м}$.

Решение

Из условий легко видеть, что толщина d диэлектрического слоя между двумя металлическими много меньше всех продольных характерных размеров узора антенны, наименьший из которых составляет порядка $10d$.

В этом случае систему из двух тонких металлических слоев, между которыми зажат диэлектрический, можно рассматривать как плоский конденсатор. Причем каждую фигуру на изображенном рисунке антенны можно рассматривать как отдельный конденсатор, емкость которого задается формулой

$$C = \frac{S\epsilon\epsilon_0}{d},$$

где S — площадь этого участка, ϵ — диэлектрическая проницаемость образующего его диэлектрика.

Площадь каждого элемента узора легко найти «по клеточкам». На рис. 4.2.13 она подписана в единицах $a^2 = 10^{-14} \text{ м}^2$ (площадь одной клетки). Все эти независимые конденсаторы соединены параллельно, поэтому общая емкость антенны может

быть найдена как сумма их емкостей:

$$C = \frac{\varepsilon_0}{d} \sum_{i=1}^{10} S_i \varepsilon_i,$$

где i — номер участка на рис. 4.2.13 антенны, S_i — его площадь, а ε_i — его диэлектрическая проницаемость.

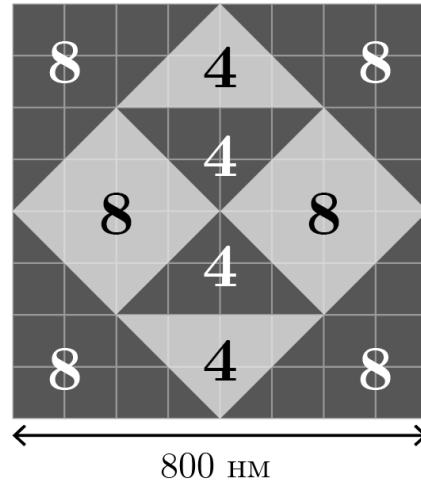


Рис. 4.2.13

Подставляя в это выражение площади, отмеченные на рис. 4.2.13, и проницаемости, данные в условиях, получим окончательно

$$C = \frac{a^2 \varepsilon_0}{d} (40\varepsilon_1 + 24\varepsilon_2) \approx 1,27 \cdot 10^{-15} \Phi.$$

Ответ:

$$C = \frac{a^2 \varepsilon_0}{d} (40\varepsilon_1 + 24\varepsilon_2) \approx 1,27 \cdot 10^{-15} \Phi.$$

Критерии оценивания

| | |
|---|------------------|
| Верно записано выражение для электроемкости плоского конденсатора | 4 балла |
| Обоснована его применимость в связи с соотношением геометрических размеров системы | 3 балла |
| Замечено, что емкости отдельных фигур антенны выступают как соединенные параллельно | 4 балла |
| Верно найдены площади всех необходимых участков антенны | 3 балла |
| Получен правильный ответ | 6 баллов |
| Всего | 20 баллов |

Задача 4.2.4.4. Благородные газы (26 баллов)

Радиоизотоп X делится с периодом полураспада $T_1 = 20$ сут., в результате чего образуется ядро аргона $^{40}_{18}\text{Ar}$ и стабильное металлическое ядро. Радиоизотоп Y с периодом полураспада $T_2 = 8$ сут. претерпевает α -распад, в ходе которого образуется еще один α -радиоактивный изотоп Z , период полураспада которого составляет несколько микросекунд. В результате распада изотопа Z также образуется стабильное металлическое ядро. Однаковые количества вещества изотопов X и Y помещают в камеру, из которой откачен газ. По прошествии $t = 40$ сут. оказывается, что в этой камере образовалась смесь благородных газов, при температуре $\theta = 25$ °C и давлении $p = 12$ кПа. Найдите плотность этой смеси. Универсальная газовая постоянная $R \approx 8,31$ Дж/(моль·К), абсолютный ноль температур $0\text{ K} = -273$ °C. α -частица представляет собой ядро ^4_2He .

Решение

В результате одного деления ядра изотопа X образуется один атом аргона, следовательно, количество вещества ν_{Ar} этого газа связано с числом N_1 произошедших делений соотношением

$$\nu_{Ar} = N_1/N_A,$$

где N_A — число Авогадро.

В результате одного α -распада ядра изотопа Y образуется один атом гелия, а также сильно нестабильный изотоп, который практически сразу (в течение микросекунд) претерпевает еще один α -распад, также с образованием одного атома гелия. Поэтому количество ν_{He} этого газа связано с числом N_2 произошедших первичных α -распадов соотношением

$$\nu_{He} = 2N_2/N_A.$$

Согласно закону радиоактивного распада, при распаде с периодом полураспада T число n нераспавшихся ядер по прошествии времени t задается выражением $n = n_0 2^{-t/T}$, где n_0 — изначальное число этих ядер. Следовательно, число N распадов, произошедших за это время, задается выражением

$$N = n_0 - n = n_0(1 - 2^{-t/T}).$$

Используя это выражение, легко выразим количества вещества обоих образовавшихся газов:

$$\nu_{Ar} = \frac{n_0}{N_A}(1 - 2^{-t/T_1}) = \frac{3n_0}{4N_A}; \quad \nu_{He} = 2 \frac{n_0}{N_A}(1 - 2^{-t/T_2}) = \frac{31n_0}{16N_A}.$$

Для смеси газов, образовавшихся в камере, справедлив закон Дальтона

$$p = p_{Ar} + p_{He},$$

где p_{Ar}, p_{He} — парциальные давления аргона и гелия соответственно. Каждый из этих газов подчиняется уравнению Менделеева — Клапейрона, принимающему вид

$$pV = (\nu_{Ar} + \nu_{He})R\theta,$$

где V — объем камеры. Выразим его через молярные массы газов и искомую плотность смеси:

$$V = \frac{\mu_{Ar}\nu_{Ar} + \mu_{He}\nu_{He}}{\rho} \Rightarrow \frac{p}{\rho}(\mu_{Ar}\nu_{Ar} + \mu_{He}\nu_{He}) = (\nu_{Ar} + \nu_{He})R\theta.$$

Выражая из этого уравнения ρ , получим

$$\rho = \frac{p(\mu_{Ar}\nu_{Ar} + \mu_{He}\nu_{He})}{(\nu_{Ar} + \nu_{He})R\theta} = \frac{p \left(\mu_{Ar} \left(\frac{3n_0}{4N_A} \right) + \mu_{He} \left(\frac{31n_0}{16N_A} \right) \right)}{\left(\frac{3n_0}{4N_A} + \frac{31n_0}{16N_A} \right) R\theta}.$$

Сокращая дробь на n_0/N_A и приводя все отношения к общему знаменателю, получим окончательно

$$\rho = \frac{p(12\mu_{Ar} + 31\mu_{He})}{43R\theta} \approx 68 \text{ г/м}^3.$$

Молярные массы аргона и гелия учащиеся должны понять из символов $^{40}_{18}\text{Ar}$, $^{4}_{2}\text{He}$, данных в условиях.

Ответ:

$$\rho = \frac{p(12\mu_{Ar} + 31\mu_{He})}{43R\theta} \approx 68 \text{ г/м}^3.$$

Критерии оценивания

| | |
|---|------------------|
| Верно записан хотя бы один закон радиоактивного распада | 3 балла |
| Замечено и обосновано, что количество ядер гелия вдвое превосходит число первичных α -распадов | 3 балла |
| Верно найдены количества образовавшихся газов или их отношение | 5 баллов |
| Верно записан закон Дальтона | 3 балла |
| Верно записано уравнение Менделеева – Клапейрона или основное уравнение МКТ в любой форме | 3 балла |
| Уравнение Менделеева – Клапейрона или основное уравнение МКТ преобразовано к (или сразу записано в) форме, содержащей исключенную плотность | 3 балла |
| Получен правильный ответ | 6 баллов |
| Всего | 26 баллов |

Задача 4.2.4.5. Радиационное трение (22 балла)

Согласно законам электродинамики, заряженные частицы, движущиеся с ускорением, испытывают взаимодействие со своими собственными электромагнитными полями, называемое радиационным трением. В общем случае описание этого взаимодействия весьма трудоемко, но для относительно медленных частиц сила радиационного трения может быть найдена по формуле $\vec{F} = \frac{q^2}{6\pi\varepsilon_0 c^3} \frac{\Delta\vec{a}}{\Delta t}$, где q — электрический заряд частицы, c — скорость света в вакууме, ε_0 — электрическая постоянная, $\Delta\vec{a}/\Delta t$ — мгновенная скорость изменения мгновенного ускорения \vec{a} -частицы.

В эксперименте, действуя на частицу с зарядом $q < 0$ и массой m внешним электромагнитным полем, требуется поддерживать ее равномерное движение по окружности радиуса R . При какой угловой скорости частицы сила, действующая на нее со стороны этого внешнего поля для обеспечения такого движения, должна быть направлена под углом 45° к скорости частицы?

Решение

В приведенном выражении для силы радиационного трения затруднения может вызвать только дробь $\Delta\vec{a}/\Delta t$. Эта величина — «мгновенная скорость» изменения ускорения — находится с мгновенным ускорением в том же соотношении, в котором само ускорение находится с мгновенной скоростью, а мгновенная скорость — с радиус-вектором.

При равномерном движении по окружности радиус-вектор \vec{r} , проведенный в точку из центра траектории, имеет постоянный модуль R и вращается вокруг своего начала с некоторой постоянной угловой скоростью ω . Из школьной кинематики известно, что вектор мгновенной скорости \vec{v} при таком движении имеет модуль $v = \omega R$ и также вращается с угловой скоростью ω , «опережая» радиус-вектор на 90° в направлении вращения, поскольку направлен по касательной к траектории. Аналогично вектор мгновенного (центростремительного) ускорения \vec{a} имеет модуль $a = \omega v = \omega^2 R$ и вращается с угловой скоростью ω , «опережая» вектор мгновенной скорости на 90° в направлении вращения, поскольку направлен к центру траектории.

Следовательно, используя те же математические инструменты, что доказывают предыдущие две связи, можно показать, что вектор $\Delta\vec{a}/\Delta t$ имеет модуль $\omega a = \omega^3 R$ и вращается с угловой скоростью ω , «опережая» вектор центростремительного ускорения на 90° в направлении вращения. Поскольку вне зависимости от знака заряда выражение q^2 в числителе формулы для радиационного трения больше нуля, как больше нуля и все входящие в выражение физические константы, вектор \vec{F} силы радиационного трения направлен так же, как и $\Delta\vec{a}/\Delta t$ — строго против вектора мгновенной скорости, по касательной к траектории (см. рис. 4.2.14).

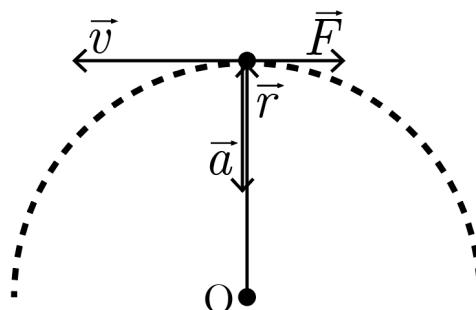


Рис. 4.2.14

Чтобы ответить на вопрос задачи, заметим, что для поддержания равномерного движения заряженной частицы по окружности внешняя сила $\vec{F}_{\text{вн}}$ должна

- создавать центростремительное ускорение,
- компенсировать радиационное трение.

Составляющая $F_{\text{вн}\parallel}$ этой силы, параллельная скорости, должна быть равна по модулю силе радиационного трения:

$$F_{\text{вн}\parallel} = \frac{q^2}{6\pi\epsilon_0 c^3} \omega^3 R,$$

в то время как составляющая $F_{\text{вн}\perp}$ этой силы, перпендикулярная скорости, должна создавать центростремительное ускорение и, следовательно, равна

$$F_{\text{вн}\perp} = m\omega^2 R.$$

Поскольку по условиям сила $\vec{F}_{\text{вн}}$ направлена к скорости под углом 45° , составляющие $F_{\text{вн}\parallel}$ и $F_{\text{вн}\perp}$ этой силы равны:

$$\frac{q^2}{6\pi\epsilon_0 c^3} \omega^3 r = m\omega^2 r \Rightarrow \omega = \frac{6\pi\epsilon_0 m c^3}{q^2}.$$

Ответ:

$$\omega = \frac{6\pi\epsilon_0 m c^3}{q^2}.$$

| | |
|--|-----------------|
| Продемонстрировано понимание того, что вектор $\Delta\vec{a}/\Delta t$ относится к центростремительному ускорению так же, как оно само относится к мгновенной скорости, а та — к радиус-вектору | 4 балла |
| Верно найдено выражение для модуля этого вектора через любой набор более стандартных величин кинематики: линейную и/или угловую скорость или центростремительное ускорение, радиус | 3 балла |
| Верно найдено направление этого вектора | 3 балла |
| Продемонстрировано понимание того, что знак заряда в условиях не играет роли для ответа | 2 балла |
| Продемонстрировано понимание того, что направление внешней силы под углом 45° к скорости означает равенство сил, необходимых для преодоления радиационного трения и для создания центростремительного ускорения | 4 балла |
| Верно найден ответ на вопрос задачи | 6 баллов |
| Всего | 22 балла |

Задача, разумеется, также имеет решение через производные. В этом случае запись верного определения вектора $\dot{\vec{a}}$ как производную ускорения по времени является частным случаем выполнения первого критерия, а правильное вычисление этой производной по координатам — второго.

4.3. Инженерный тур

4.3.1. Общая информация

Участникам предлагается создать прототип наночастиц, сочетающих в себе свойства магнитных наночастиц (МНЧ) и квантовых точек (КТ). Полученные в ходе работы результаты могут быть в дальнейшем использованы для получения самовизуализированных наночастиц, потенциально способных к направленной доставке лекарственных средств в необходимые ткани организма.

4.3.2. Легенда задачи

МНЧ имеют высокий потенциал в медицине как средства для диагностики, визуализации и терапии различных заболеваний. В настоящее время МНЧ проходят клинические испытания для лечения рака простаты, остеосаркомы и отека роговицы. Одним из способов применения МНЧ в указанных целях является метод магнитной гипертермии.

В свою очередь, КТ могут быть использованы для визуализации различных биологических структур и процессов, в частности, для флуоресцентной визуализации раковых структур.

Магнитные квантовые точки (МКТ) объединяют в себе все уникальные свойства исходных наночастиц и обладают большим потенциалом для применения в терапии.

4.3.3. Требования к команде и компетенциям участников

Количество участников в команде: 2–3 человека.

Компетенции, которыми должны обладать члены команды:

1. **Химик-синтетик.** Важно соблюдать технику безопасности в лаборатории, читать и понимать инструкцию, решать расчетные химические задачи, уметь планировать эксперимент и время, которое на него нужно потратить. Полезно иметь базовые навыки работы в лаборатории.
2. **Физик-исследователь.** Должен осуществлять оценку качества продукта, составлять план доработки прототипа, уметь работать с приборами для физико-химических методов анализа и в целом иметь полную картину происходящего. Кроме того, опционально руководить процессом разработки, координировать продуктивную коммуникацию внутри команды.

4.3.4. Оборудование и программное обеспечение

Таблица 4.3.1

| Наименование | Описание |
|---|--|
| Магнитная мешалка с нагревом до 300 °C | Для проведения синтеза |
| Термометр электронный | Для контроля температуры |
| Технические карманные весы | Для взвешивания веществ |
| Набор автоматических пипеток номиналом 10–100 мкл или 20–200 мкл и 100–1000 мкл | Для отбора жидких веществ/растворов конкретного объема |
| Полуаналитические весы (до 3-го знака после запятой) | Для взвешивания веществ |
| Аналитические весы (до 4-го знака после запятой) | Для взвешивания веществ |
| Сушильный шкаф с нагревом до 150 °C | Для сушки посуды, сушки частиц |
| Ультразвуковая ванна | Для диспергирования частиц, проведения синтеза |
| Центрифуга (для пробирок до 2 мл) | Для осаждения крупных частиц |
| Центрифуга (для пробирок до 50 мл) | Для осаждения крупных частиц |
| Анализатор размера частиц | Для анализа размера частиц |
| Спектрофлуориметр | Для анализа флуоресцентных свойств КТ и МКТ |
| Ультрафиолетовая лампа | Для анализа флуоресцентных свойств КТ и МКТ |
| Магнит | Для осаждения МНЧ |
| Набор химической посуды для каждой команды | Магнитный мешальник (якорь) — 2 шт. Стеклянная палочка — 2 шт. Мерный цилиндр объемом 50 и 25 мл — по 1 шт. Градуированная пипетка 5 мл — 1 шт. Груша — 1 шт. Стакан 10 мл — 5 шт. Стакан 25 мл — 3 шт. Стакан 50 мл — 2 шт. Стакан 100 мл — 2 шт. Часовое стекло (двух разных диаметров) — 3 шт. Промывалка с дистиллированной водой — 1 шт. Пипетка Пастера пластиковая — неограниченно. Банка для хранения растворов/образцов: 30 мл — 5 шт, 50 мл — 5 шт. Пробирки типа Эппендорф 2 мл — неограниченно. Криопробирка 5 мл — 10 шт. Центрифужная пробирка 15 мл — 6 шт; Виала стекло 12 мл с завинчивающейся крышкой — 8 шт. Шпатель для взвешивания: металлический — 1 шт и пластиковый — 1 шт. Носики для автоматических пипеток (1 000 мкл, 200 мкл) — неограниченно. Пластиковый пинцет — 1 шт. Чашка Петри — 1 набор. Воронка маленькая — 2 шт. Штатив для пробирок (10 гнезд) — 1 шт. Подставка для горячей посуды — 1 шт. |

| | |
|-------------------------------------|--|
| | <p>Средства индивидуальной защиты. Фильтровальная бумага — неограниченно. Бумага для записей — неограниченно. Маркер для подписи посуды — 1 шт. Вата — неограниченно. Ножницы — 5 шт. на все команды. Парафильм (парафиновая лента для укупоривания тары). Бумажные полотенца/салфетки. Средства для мытья посуды. Индикаторная бумага.</p> |
| Набор реактивов для каждой команды | <p>Гептагидрат сульфата железа (II), $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ — 50 г. Гексагидрат хлорида железа (III), $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ — 50 г. Хлорид кадмия, $\text{CdCl}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$ — 1 г. Хлорид цинка, ZnCl_2 — 1 г. $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (25% масс.) — общее пользование. H_2SO_4 (30% масс.) — 100 мл. Изопропиловый спирт — 500 мл. Дистиллированная вода — неограниченно. Селен — 1 г. Ацетат кадмия (II), $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ — 1 г. Ацетат цинка (II), $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ — 1 г. Олеиновая кислота — 20 мл. Октадецен — 15 мл. Хлорид аммония, NH_4Cl — 0,5 г. Додецилсульфат натрия (SDS) — 1,5 г. 3-Аминопропилтриэтоксисилан (APTES) — 9 мл. Тетраэтоксисилан (TEOS) — 9 мл. L-Цистеин (Cys) — 1,5 г. Диметилформамид (ДМФА) — 15 мл. 1,3-Дициклогексилкарбодиимид (ДЦК) — 0,1 г. 4-Диметиламинопиридин (DMAP) — 0,1 г. Тиомочевина — 1 г. Ацетон (для мытья посуды) — общее пользование</p> |
| Набор средств индивидуальной защиты | <p>Халат. Защитные очки. Нитриловые перчатки</p> |

4.3.5. Описание задачи

Заключительный этап НТО 2025 года по профилю Наносистемы и наноинженерия посвящен разработке и синтезу наноразмерных конструкций для медицины.

МНЧ рассматриваются в качестве перспективных и удобных наноматериалов в медицине из-за их минимальной токсичности и превосходных физико-химических свойств, таких как суперпарамагнетизм, стабильность в водных растворах и биосовместимость.

КТ, благодаря ряду своих свойств, обусловленных их размером, применяются в качестве флуоресцентных меток для визуализации клеток и молекул.

Таким образом, предлагается создать прототип наночастиц, сочетающих в себе свойства МНЧ и КТ. Полученные в ходе работы результаты могут быть в дальнейшем использованы для получения самовизуализированных наночастиц, потенциально способных к направленной доставке лекарственных средств в необходимые ткани организма.

Описание задачи заключительного этапа включает:

- одну базовую методику получения МНЧ,
- три методики возможных модификаций поверхности МНЧ,
- шесть методик получения КТ,
- три методики конъюгации МНЧ и КТ между собой.

В течение всей работы участникам предстоит вести лабораторный журнал в онлайн-формате.

Основная схема решения комплексной инженерной задачи и этапы оценки

Таблица 4.3.2

| |  |  |  |
|--|---|--|---|
| Этап | Синтез и модификация поверхности МНЧ | Синтез КТ | Получение МКТ |
| Особенности этапа и вариативность | 1 метод получения и 3 метода модификации | 6 методов получения | 3 метода, 2 подхода к получению: физический и химический |
| Ключевые характеристики | Магнитные свойства | Флуоресцентные свойства | Магнитные свойства |
| | Размер МНЧ | | Флуоресцентные свойства |
| Подтверждение характеристик (как получить баллы) | Фиксация магнитных свойств экспертом | 1. Подготовка образца. 2. Сдача образца на анализ. 3. Фиксация результатов экспертом | Фиксация магнитных свойств экспертом (коллоидный раствор). |
| | 1. Подготовка образца. 2. Сдача образца на анализ. 3. Фиксация результатов экспертом. | | 1. Подготовка образца. 2. Сдача образца на анализ. 3. Фиксация результатов экспертом. |
| Максимальное количество баллов | 15 баллов (5 баллов за методику) | 60 баллов (10 баллов за методику) | 40 баллов (5 баллов за методику) |
| | 30 баллов (10 баллов за методику) | | 80 баллов (10 баллов за один конъюгат) |
| Сколько можно заработать | Учитывается один раз за одну методику | Учитывается один раз за одну методику | Учитывается один раз за одну методику |

| Этап | Синтез и модификация поверхности МНЧ | Синтез КТ | Получение МКТ |
|------|---|-----------|---|
| | Учитывается наилучший результат, полученный по одной методике | | Учитывается наилучший результат, полученный по одной методике |

Синтез магнитных наночастиц

К смеси 1,3 г $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ и 1,1 г $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ добавили 2 мл 30% раствора H_2SO_4 и 40 мл дистиллированной воды, довели до температуры 50 °C и перемешивали в течение 5 мин. Затем ввели 25%-й раствор аммиака, довели раствор до pH 10. Далее прекратили перемешивание и осадили частицы магнитом. Полученные частицы промыли несколько раз дистиллированной водой.

Стабилизация МНЧ

Получение модифицированных МНЧ

Метод 1. Тетраэтоксисилан (TEOS) [1]

2 г магнитных наночастиц диспергировали в 3 мл воды, pH дисперсии доводили до значения 11 добавлением 25%-го раствора гидроксида аммония, затем добавили 125 мкл раствора TEOS в 3 мл изопропилового спирта. Смесь перемешивали в течение 18 ч до полного гидролиза TEOS и присоединения к поверхности оксида железа. Полученные наночастицы промывали шесть раз водой методом магнитной сепарации/декантации и сушили при 50 °C в течение ночи.

Метод 2. (3-Аминопропил)триэтоксисилан (APTES) [2]

Магнитные наночастицы массой 0,7 г растворяли в 25 мл растворе изопропилового спирта с водой (объемное соотношение 1 : 1) и обрабатывали ультразвуком до получения однородной дисперсии. Добавили 2,8 мл APTES и обрабатывали ультразвуком 10 мин. Далее реакционную массу перемешивали в течение 2 ч при 40 °C. Полученные частицы осаждали магнитом, пять раз промывали изопропиловым спиртом и водой (объемное соотношение 1 : 1) и сушили при 50 °C в течение ночи.

Метод 3. L-Цистеин [2]

0,4 г $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ и 0,2 г $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ растворяли в 10 мл дистиллированной воды и интенсивно перемешивали при 70 °C. Через 30 мин быстро добавили раствор 0,5 г L-цистеина в 2 мл дистиллированной воды. Еще через 30 мин быстро добавили 1,7 мл NH_4OH (25% масс.) и перемешивали в течение 1,5 ч. Полученные наночастицы магнетита подвергали магнитной сепарации, трижды промывали дистиллированной водой и сушили при температуре 50 °C в течение ночи.

Синтез квантовых точек

Метод 1. Селенид кадмия [3, 4]

К 10 мг порошка селена добавляли 250 мкл олеиновой кислоты и 700 мкл октадецена и обрабатывали 5 мин ультразвуком (сuspензия 1). Затем к 10 мг $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cd}$ добавляли 350 мкл олеиновой кислоты и 2 мл октадецена и выдерживали при 230 °C до появления светло-желтого окрашивания (раствор 2). Сохраняя нагрев, к раствору 2 приливали супензию 1 и перемешивали до появления красного цвета. Полученный раствор переливали при перемешивании к 10 мл изопропилового спирта, диспергировали и центрифугировали при 8 000 об./мин 5 мин. Раствор с неосажденными наночастицами декантировали с помощью пипетки Пастера или пипет-дозатора и использовали далее.

Метод 2. Селенид цинка [3,4]

К 10 мг порошка селена добавляли 250 мкл олеиновой кислоты и 700 мкл октадецена и обрабатывали 5 мин ультразвуком (супензия 1). Затем к 10 мг $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn}$ добавляли 350 мкл олеиновой кислоты и 2 мл октадецена и выдерживали при 230 °C 5 мин (раствор 2). Сохраняя нагрев, к раствору 2 приливали супензию 1 и перемешивали до появления желтого цвета. Полученный раствор переливали при перемешивании к 10 мл изопропилового спирта, диспергировали и центрифугировали при 8 000 об./мин 5 мин. Раствор с неосажденными наночастицами декантировали с помощью пипетки Пастера или пипет-дозатора и использовали далее.

Метод 3. Сульфид кадмия [5]

10 мг CdCl_2 и 8 мг NH_4Cl растворяли 2 мл дистиллированной воды и перемешивали 10 мин (раствор 1). 10 мг тиомочевины растворяли в 1 мл дистиллированной воды (раствор 2). Раствор 1 и 2 объединяли, добавляли к ним раствор 120 мг SDS в 2 мл дистиллированной воды и перемешивали 10 мин при 70 °C. Затем полученный раствор при перемешивании приливали к 10 мл изопропилового спирта, диспергировали и центрифугировали при 8 000 об./мин 5 мин. Раствор с неосажденными наночастицами декантировали с помощью пипетки Пастера или пипет-дозатора и использовали далее.

Метод 4. Сульфид цинка [5]

10 мг ZnCl_2 и 12 мг NH_4Cl растворяли 2 мл дистиллированной воды и перемешивали 10 мин (раствор 1). 10 мг тиомочевины растворяли в 1 мл дистиллированной воды (раствор 2). Раствор 1 и 2 объединяли, добавляли к ним раствор 120 мг SDS в 2 мл дистиллированной воды и перемешивали 10 мин при 70 °C. Затем полученный раствор при перемешивании приливали к 10 мл изопропилового спирта, диспергировали и центрифугировали при 8 000 об./мин 5 мин. Раствор с неосажденными наночастицами декантировали с помощью пипетки Пастера или пипет-дозатора и использовали далее.

Метод 5. Сульфид кадмия и L-цистеин

10 мг CdCl₂ и 8 мг NH₄Cl растворяли в 1 мл дистиллированной воды и перемешивали 10 мин (раствор 1). 10 мг тиомочевины растворяли в 1 мл дистиллированной воды (раствор 2). Раствор 1 и 2 объединяли, добавляли к ним 8 мг L-цистеина, раствор 120 мг SDS в 2 мл дистиллированной воды и перемешивали 10 мин при 70 °C. Затем полученный раствор при перемешивании приливали к 10 мл изопропилового спирта, диспергировали и центрифугировали при 8 000 об./мин 1–2 мин. Раствор с неосажденными наночастицами декантировали с помощью пипетки Пастера или пипет-дозатора и использовали далее.

Метод 6. Сульфид цинка и L-цистеин

10 мг ZnCl₂ и 12 мг NH₄Cl растворяли 1 мл дистиллированной воды и перемешивали 10 мин (раствор 1). 10 мг тиомочевины растворяли в 1 мл дистиллированной воды (раствор 2). Раствор 1 и 2 объединяли, добавляли к ним 10 мг L-цистеина, раствор 120 мг SDS в 1 мл дистиллированной воды и перемешивали 10 мин при 70 °C. Затем полученный раствор при перемешивании приливали к 10 мл изопропилового спирта, диспергировали и центрифугировали при 8 000 об./мин 1–2 мин. Раствор с неосажденными наночастицами декантировали с помощью пипетки Пастера или пипет-дозатора и использовали далее.

Получение магнитных квантовых точек

Метод 1 [6]

К 30 мг модифицированных магнитных наночастиц добавили 100 мкл TEOS и 5 мл раствора квантовых точек в изопропиловом спирте и перемешивали 4 ч. Полученные конъюгаты удерживали магнитом и многократно промывали изопропиловым спиртом, который после промывания декантировали. После промывания магнитные квантовые точки разбавляли 5 мл изопропилового спирта.

Метод 2

5 мл раствора квантовых точек в изопропиловом спирте упаривали от растворителя на плитке, а затем добавили 2 мл ДМФА, 50 мг N,N-дициклогексилкарбодимида, 5 мг 4-диметиламинопиридина и перемешивали 10 мин. После добавили 30 мг модифицированных магнитных наночастиц и перемешивали 10 ч. После полученный раствор переливали к 5 мл изопропилового спирта. Полученные конъюгаты удерживали магнитом и многократно промывали изопропиловым спиртом, который после промывания декантировали. После промывания магнитные квантовые точки разбавляли 5 мл изопропилового спирта.

Метод 3

К 30 мг модифицированных магнитных наночастиц добавили 2 мл ДМФА, 9 мг N,N-дициклогексилкарбодимида и 3 мг 4-диметиламинопиридина. 5 мл раствора

квантовых точек в изопропиловом спирте упаривали от растворителя на плитке, а затем добавили 2 мл ДМФА и перелили к магнитным наночастицам и перемешивали 10 ч. После полученный раствор переливали к 5 мл изопропилового спирта. Полученные конъюгаты удерживали магнитом и многократно промывали изопропиловым спиртом, который после промывания декантировали. После промывания магнитные квантовые точки разбавляли 5 мл изопропилового спирта.

Подготовка образцов для анализа

Приготовление образцов для определения размеров модифицированных МНЧ

Необходимо приготовить 1 мл раствора, содержащего 0,1 ммоль стабилизированных МНЧ. Расчет концентрации проводить в пересчете на Fe_3O_4 . После добавления воды образцы необходимо в течение 20 мин обработать УЗ.

Растворы модифицированных МНЧ, полученные по методу № 1 (TEOS), готовить в изопропиловом спирте.

Растворы модифицированных МНЧ, полученные по методам №№ 2 и 3 (с APTES и цистеином), готовить в воде.

Все образцы должны быть профильтрованы через бумажный фильтр.

Приготовление образцов КТ для флуориметрического анализа

Для проведения анализа необходимо предоставить эксперту 5 мл раствора квантовых точек в изопропиловом спирте.

Приготовление образцов МКТ для оценки магнитных свойств и флуориметрического анализа

Полученный раствор МКТ диспергируют действием ультразвука в течении 10 мин. Затем необходимо отобрать 250 мкл образца и растворить в 4 мл изопропилового спирта.

Мытье посуды

Вся очистка посуды проводится в перчатках и халате, так как с рук магнетит смывается за три дня, а с одежды — никогда.

Посуда после немодифицированных магнитных наночастиц отмывается смачиванием водой и удалением частиц бумажными салфетками. Посуда после модифицированных МНЧ удаляется аналогично, смачивая посуду изопропиловым спиртом или ацетоном.

Посуду после флуоресцирующих соединений можно отмыть ацетоном или изопропиловым спиртом.

Все водные растворы с МНЧ сливаются в водный слив.

Все органические растворы (со спиртом, ацетоном и ДМФА) сливаются в органический слив.

Потери

После окончания рабочего дня команда должна навести порядок на своем рабочем месте, все образцы, расходные материалы, реактивы и индивидуальное оборудование должны оказаться в своих рабочих зонах. Исключением являются общие мешалки и сушильные шкафы, в которых могут остаться только **подписанные** образцы.

Все образцы, расходные материалы и реактивы, находящиеся по окончании рабочего дня за пределами рабочей зоны, будут безвозвратно ликвидированы.

4.3.6. Система оценивания

1. Оценка получения модифицированных МНЧ.

Магнитные наночастицы должны обладать магнитными свойствами. Оценка свойств проводится магнитом.

2. Оценка размеров модифицированных МНЧ.

Оценка размера модифицированных МНЧ проводится методом динамического светорассеяния подготовленных образцов (см. методики ниже) на лазерном анализаторе размеров частиц DelsaNano. Анализ образцов проводит оператор. Участники команды получают результаты анализа в трех повторах и проводят расчеты среднего размера частиц. Допустимая погрешность в расчетах 5%, в случае неверного расчета размеров частиц — снижение на 10 баллов.

Наиболее оптимальные размеры модифицированных МНЧ — 200–300 нм.

В таблице 4.3.3 представлена шкала баллов в зависимости от полученных размеров частиц (промежуточные значения рассчитываются интерполяцией).

Таблица 4.3.3

| Размер МНЧ | 2 нм | 50 нм | 100 нм | 200–300 нм | 500 нм | 700 нм | 900 нм |
|------------|------|-------|--------|------------|--------|--------|--------|
| Баллы | 0 | 2 | 5 | 10 | 5 | 2 | 0 |

3. Оценка флуоресцентных свойств КТ.

Оценка флуоресцентных свойств КТ проводится методом спектрофлуориметрии подготовленных образцов (см. методики ниже) на анализаторе жидкости «Флюорат-02-Панорама». Анализ образцов проводит оператор. Участники команды получают значения максимума интенсивности флуоресценции образцов. Наибольший балл можно получить за точное попадание в максимум флуоресценции.

Оператор может отказать участникам в анализе образцов, если они плохо приготовлены (сuspensionи нестабильны, много крупных частиц, цвет образца отличается от эталонного — много непрореагировавшего флуоресцирующего вещества).

В таблице 4.3.4 представлены шкалы баллов люминесценции КТ (промежуточные значения рассчитываются интерполяцией).

Таблица 4.3.4

| КТ | Максимум люминесценции, нм | | | | | | |
|-------------------------|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| CdSe (методика 1) | < 260 | 310–340 | 390–420 | 470–500 | 550–580 | 630–660 | > 710 |
| ZnSe (методика 2) | < 110 | 160–190 | 240–270 | 320–350 | 400–430 | 480–510 | > 560 |
| CdS (методика 3) | < 120 | 170–200 | 250–280 | 330–360 | 410–440 | 490–520 | > 570 |
| ZnS (методика 4) | < 110 | 160–190 | 240–270 | 320–350 | 400–430 | 480–510 | > 560 |
| CdS-Cys (методика 5) | < 120 | 170–200 | 250–280 | 330–360 | 410–440 | 490–520 | > 570 |
| ZnS-Cys (методика 6) | < 100 | 150–180 | 230–260 | 310–340 | 390–420 | 470–500 | > 550 |
| Баллы | 0 | 2 | 5 | 10 | 5 | 2 | 0 |

4. Оценка магнитных свойств МКТ.

МКТ должны обладать магнитными свойствами. Оценка свойств проводится магнитом при действии на коллоидный раствор. Исследование проводит оператор. Баллы засчитываются только при положительном исследовании флуоресцентных свойств.

5. Оценка флуоресцентных свойств МКТ.

Оценка флуоресцентных свойств КТ проводится методом спектрофлуориметрии подготовленных образцов (см. методики ниже) на анализаторе жидкости «Флюорат-02-Панорама». Анализ образцов проводит оператор. Участники команды получают значения максимума интенсивности флуоресценции образцов. Наибольший балл можно получить за точное попадание в максимум флуоресценции.

Оператор может отказать участникам в анализе образцов, если они плохо приготовлены (сuspensionи нестабильны, много крупных частиц, цвет образца отличается от эталонного — много непрореагировавшего флуоресцирующего вещества).

Таблица 4.3.5. Методика 1

| МКТ | Максимум люминесценции, нм | | | | | | |
|---------------|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| МНЧ-TEOS-CdSe | < 270 | 320–350 | 400–430 | 480–510 | 560–590 | 640–670 | > 720 |
| МНЧ-TEOS-ZnSe | < 260 | 310–340 | 390–420 | 470–500 | 550–580 | 630–660 | > 710 |

| МКТ | Максимум люминесценции, нм | | | | | | |
|------------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| МНЧ-TEOS-CdS | < 260 | 310–360 | 410–460 | 510–560 | 610–660 | 710–760 | > 810 |
| МНЧ-TEOS-ZnS | < 260 | 310–360 | 410–460 | 510–560 | 610–660 | 710–760 | > 810 |
| МНЧ-TEOS-CdS-Cys | < 190 | 240–270 | 320–350 | 400–430 | 480–510 | 560–590 | > 640 |
| МНЧ-TEOS-ZnS-Cys | < 240 | 290–320 | 370–400 | 450–480 | 530–560 | 610–640 | > 690 |
| Баллы | 0 | 2 | 5 | 10 | 5 | 2 | 0 |

Таблица 4.3.6. Методика 2

| МКТ | Максимум люминесценции, нм | | | | | | |
|-------------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| МНЧ-APTES-CdSe | < 250 | 300–330 | 380–410 | 460–490 | 540–570 | 620–650 | > 700 |
| МНЧ-APTES-ZnSe | < 290 | 340–370 | 420–450 | 500–530 | 580–610 | 660–690 | > 740 |
| МНЧ-APTES-CdS | < 290 | 340–370 | 420–450 | 500–530 | 580–610 | 660–690 | > 740 |
| МНЧ-APTES-ZnS | < 190 | 240–270 | 320–350 | 400–430 | 480–510 | 560–590 | > 640 |
| МНЧ-APTES-CdS-Cys | < 200 | 250–280 | 330–360 | 410–440 | 490–520 | 570–600 | > 650 |
| МНЧ-APTES-ZnS-Cys | < 200 | 250–280 | 330–360 | 410–440 | 490–520 | 570–600 | > 650 |
| Баллы | 0 | 2 | 5 | 10 | 5 | 2 | 0 |

Таблица 4.3.7. Методика 3

| МКТ | Максимум люминесценции, нм | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| МНЧ-Cys-CdSe | < 260 | 310–340 | 390–420 | 470–500 | 550–580 | 630–660 | > 710 |
| МНЧ-Cys-ZnSe | < 260 | 310–340 | 390–420 | 470–500 | 550–580 | 630–660 | > 710 |
| МНЧ-Cys-CdS | < 190 | 240–280 | 330–370 | 420–460 | 510–550 | 600–650 | > 700 |
| МНЧ-Cys-ZnS | < 180 | 230–270 | 320–360 | 410–450 | 500–540 | 590–640 | > 690 |
| МНЧ-Cys-CdS-Cys | < 100 | 150–190 | 240–280 | 330–370 | 420–460 | 510–550 | > 600 |
| МНЧ-Cys-ZnS-Cys | < 170 | 220–260 | 310–350 | 400–440 | 490–530 | 580–620 | > 670 |

| МКТ | Максимум люминесценции, нм | | | | | | |
|-----|----------------------------|---|---|---|----|---|---|
| | Баллы | 0 | 2 | 5 | 10 | 5 | 2 |

Оценка выполнения командной задачи будет складываться из пяти основных компонентов:

1. Оценка магнитных свойств модифицированных МНЧ. Работает принцип «наличие/отсутствие» результата. Максимальное количество баллов — 15. *Оценка проводится действием магнита.*
2. Оценка размера модифицированных МНЧ. При получении МНЧ с заданными размерами для каждого типа модификации устанавливаются максимально допустимые и оптимальные возможные значения размеров. Между максимальным и минимальным количеством баллов предусмотрены промежуточные варианты в зависимости от среднего размера полученных МНЧ, расчет баллов проводится линейной интерполяцией. Максимальное количество баллов — 30.
3. Оценка флуоресцентных свойств КТ. Оценка проводится спектрофлуориметрически. Регистрируют спектры флуоресценции КТ при заданных длинах волн возбуждения. При попадании максимума флуоресценции в заданный диапазон выставляется наибольший балл, предусмотрены промежуточные варианты в зависимости от полученного максимума флуоресценции, расчет баллов проводится линейной интерполяцией. Максимальное количество баллов — 60.
4. Оценка магнитных свойств полученных МКТ (коллоидного раствора). Работает принцип «наличие/отсутствие» результата. Максимальное количество баллов — 40. *Оценка проводится действием магнита под УФ-лампой.*
5. Оценка флуоресцентных свойств МКТ. Оценка проводится спектрофлуориметрически. Регистрируют спектры флуоресценции КТ при заданных длинах волн возбуждения. При попадании максимума флуоресценции в заданный диапазон выставляется наибольший балл, предусмотрены промежуточные варианты в зависимости от полученного максимума флуоресценции, расчет баллов проводится линейной интерполяцией. Максимальное количество баллов — 80.

Штрафные санкции

При оценивании работы команды есть критерий «Соблюдение техники безопасности». За него можно будет получить полное, отведенное на этот критерий, количество баллов, если не нарушать ТБ. За каждое нарушение баллы снимаются, вплоть до получения нуля баллов по этому критерию. Уйти в отрицательные значения и затронуть баллы за другие части задачи нельзя.

При первом нарушении ТБ команда получает предупреждение, повторное нарушение приводит к обнулению баллов по конкретному пункту ТБ (см. таблицу 4.3.8). Если нарушение повторяется по одному и тому же поводу три раза, то команда теряет все 15 баллов за ТБ. Повторное систематическое нарушение может привести к дисквалификации команды.

Таблица 4.3.8

| Требование безопасности | Потеря баллов |
|--|---------------|
| Работу с реактивами необходимо проводить в защитных очках и лабораторных перчатках (любое взаимодействие с емкостями и манипуляции с ними). | 3 |
| Некорректное взаимодействие с реактивами (пробовать на вкус, неправильнонюхать, использовать легковоспламеняющиеся жидкости вблизи горячих поверхностей и т. д.). | 3 |
| При работе с горячими поверхностями (плитка, муфельная печь) запрещено использовать латексные или нитриловые лабораторные перчатки, требуется использование защитных очков и жаростойких перчаток. | 3 |
| Некорректное использование приборов, которое может привести к их поломке или нанесению потенциального вреда человеку. | 3 |
| Для утилизации реактивов используется только специальная емкость для слива органических веществ, недопустимо выливать реактивы в раковину. Сухие излишки от взвешивания и рассыпанные вещества переносятся в сухой слив. | 3 |

Таким образом, балл за командную практическую задачу будет рассчитываться по следующей схеме:

Итоговый балл = баллы за ТБ (от 0 до 15)

+ баллы за получение и модификацию МНЧ (от 0 до 15)
+ баллы за размер полученных модифицированных МНЧ (от 0 до 30)
+ баллы за получение и флуоресценции КТ (от 0 до 60)
+ баллы за магнитные свойства МКТ (от 0 до 40)
+ баллы за флуоресценцию МКТ (от 0 до 80).

Максимальный возможный результат команды за инженерный тур составляет 240 баллов.

Для расчета итогового балла полученные баллы пропорционально будут переведены в 100-балльную шкалу.

Подведение итогов будет происходить в конце каждого рабочего дня. В любой день в течение времени команда может приходить и сдавать результаты работы на оценку эксперту на площадке. Команда может сдавать итоги работы несколько раз, засчитывается лучший результат. Допускается сдавать сразу несколько образцов по результатам работы по разным методикам.

Электронный журнал является официальным документом команды, в котором фиксируются все этапы работы, а также полученные результаты. Журнал ведется, в первую очередь, для команды, поскольку позволяет отслеживать изменения

экспериментальных данных, зависимость результатов от условий проведения реакций/подготовки образцов на анализ, сроки выполнения работы и прочее. В спорных ситуациях — если чего-то нет в лабораторном журнале, значит — не существует.

В шаблоне электронного журнала указаны все необходимые пункты, которые необходимо фиксировать при выполнении практической части. В электронном журнале обязательно фиксируется дата, время выполнения эксперимента и сдача полученных результатов эксперту.

Шаблон электронного журнала участникам предоставляется через ссылку в тексте комплексной инженерной задачи и в чате финалистов.

По окончании работы на площадке каждого дня участники должны загрузить актуальную версию электронного журнала через электронную форму (опрос).

Важно: электронный журнал — это единый документ для всех соревновательных дней. **Команда работает в одном и том же документе, не разделяя на отдельные файлы по каждому рабочему дню.**

4.3.7. Решение задачи

На первом этапе решения КИЗ необходимо провести синтез базовых МНЧ и стабилизировать их поверхность гидрофобной (TEOS) и гидрофильными оболочками (APTES и L-цистеин) по предложенным методикам. Важно, что перед каждой модификацией базовые МНЧ необходимо диспергировать действием ультразвука для достижения необходимого размера.

Полученные МНЧ должны показывать свои магнитные свойства, а именно, при поднесении к ним магнита взаимодействовать с ним. Возможно уменьшение загрузок с целью экономии реагентов.

Модификация поверхности недиспергированных МНЧ может привести к размерам, не укладывающимся в оптимальные (заданные) значения. Один из методов модификации поверхности МНЧ также содержит и отдельный метод их получения (модификация поверхности L-цистеином).

Вторым этапом работы является синтез КТ по предложенным методикам. Первый тип методик заключается в получении селенидов кадмия и цинка. Для получения наночастиц, обладающих нужным максимумом люминесценции, нужно проводить реакцию достаточно длительный период времени с целью образования крупных частиц.

Второй тип методик заключается в получении сульфидов кадмия и цинка, тогда как третий тип методик позволяет получить сульфидные КТ дополнительно модифицированные L-цистеином посредством дисульфидных связей.

Флуоресцентные свойства полученных КТ исследуются в диапазоне длин волн возбуждения 200–700 нм.

Третий этап работы — получение МКТ. Однако по предложенным методикам невозможно получить все 18 конъюгатов. МКТ можно получить двумя путями: физической и химической конъюгацией. Физический подход заключается во взаимодействии гидрофобных (модифицированных TEOS) МНЧ и селенидов/сульфидов кадмия и цинка. Так, КТ оказываются запертыми внутри оболочки из TEOS. КТ

модифицированные аминокислотой являются полярными и не могут нековалентно связаться с поверхностью МНЧ.

Для реализации химического подхода нужно использовать методики №№ 2 и 3. В первом случае МНЧ, модифицированные АРТЭС, ковалентно связываются с КТ, связанными с L-цистеином, а во втором — МНЧ, модифицированные L-цистеином, связываются с сульфидами. Таким образом, можно получить 8 образцов МКТ.

Полученные МКТ должны показывать свои магнитные и флуоресцентные свойства. Флуоресцентные свойства МКТ исследуют в диапазоне длин волн возбуждения 200–700 нм.

4.3.8. Материалы для подготовки

1. Chekina N. et al. Fluorescent magnetic nanoparticles for biomedical applications // Journal of Materials Chemistry. — 2011. — Т. 21. — №. 21. — С. 7630–7639.
2. Ebrahiminezhad A. et al. Preparation of novel magnetic fluorescent nanoparticles using amino acids // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. — 2013. — Т. 102. — С. 534–539.
3. Mazing D. S. et al. Preparation of cadmium selenide colloidal quantum dots in non-coordinating solvent octadecene // Journal of Physics: Conference Series. — IOP Publishing, 2015. — Т. 661. — №. 1. — С. 012033.
4. Landry M. L. et al. Simple syntheses of CdSe quantum dots // Journal of Chemical Education. — 2014. — Т. 91. — №. 2. — С. 274–279.
5. Tyagi C., Sharma A., Kurchania R. Synthesis of CdS quantum dots using wet chemical co-precipitation method // J. Non-Oxide Glasses. — 2014. — Т. 6. — №. 2. — С. 23–26.
6. Ren C. et al. Preparation and properties of a new multifunctional material composed of superparamagnetic core and rhodamine B doped silica shell // Nanotechnology. — 2007. — Т. 18. — №. 34. — С. 345604.
7. Набор материалов с инженерного тура отборочного этапа.

5. Критерии определения победителей и призеров

Первый отборочный этап

В первом отборочном этапе участники решали задачи предметного тура по двум предметам: химии и физике и инженерного тура. В каждом предмете максимально можно было набрать 100 баллов, в инженерном туре 100 баллов. Для того чтобы пройти во второй этап, участники должны были набрать в сумме по обоим предметам и инженерному туре не менее 50,0 баллов, независимо от уровня.

Второй отборочный этап

Количество баллов, набранных при решении всех задач второго отборочного этапа, суммируется. Победители второго отборочного этапа должны были набрать не менее 100,0 баллов, независимо от уровня.

Заключительный этап

Индивидуальный предметный тур

- химия — максимально возможный балл за все задачи — 100 баллов;
- физика — максимально возможный балл за все задачи — 100 баллов.

Командный инженерный тур

Команды заключительного этапа получали за командный инженерный тур от 0 до 240,00 баллов: команда, набравшая наибольшее число баллов среди других команд, становилась командой-победителем.

Все результаты команд нормировались по формуле:

$$\frac{100 \times x}{MAX},$$

где x — число баллов, набранных командой,

MAX — число баллов, максимально возможное за инженерный тур.

В заключительном этапе олимпиады индивидуальные баллы участника складываются из двух частей, каждая из которых имеет собственный вес: баллы за индивидуальное решение задач по предмету 1 (химия) с весом $K_1 = 0,2$, по предмету 2

(физика) с весом $K_2 = 0,2$, баллы за командное решение задач инженерного тура с весом $K_3 = 0,6$.

Итоговый балл определяется по формуле:

$$S = K_1 \cdot S_1 + K_2 \cdot S_2 + K_3 \cdot S_3,$$

где S_1 — балл первой части заключительного этапа по химии (предметный тур) ($S_{1 \text{ макс}} = 100$);

S_2 — балл первой части заключительного этапа по физике (предметный тур) ($S_{2 \text{ макс}} = 100$);

S_3 — итоговый балл инженерного командного тура ($S_{3 \text{ макс}} = 100$).

Итого максимально возможный индивидуальный балл участника заключительного этапа — 100 баллов.

Критерий определения победителей и призеров

Чтобы определить победителей и призеров (независимо от класса) на основе индивидуальных результатов участников, был сформирован общий рейтинг всех участников заключительного этапа. С начала рейтинга были выбраны 3 победителя и 7 призеров (первые 25% участников рейтинга становятся победителями или призерами, из них первые 8% становятся победителями, оставшиеся — призерами).

Критерий определения победителей и призеров (независимо от уровня)

| Категория | Количество баллов |
|------------|-------------------|
| Победители | 51,68 и выше |
| Призеры | От 39,63 до 47,35 |

6. Работа наставника после НТО

Участие школьника в Олимпиаде может завершиться после любого из этапов: первого или второго отборочных, либо после заключительного этапа. В каждом случае после завершения участия наставнику необходимо провести с учениками рефлексию — обсудить полученный опыт и проанализировать, что позволило достичь успеха, а что привело к неудаче. Подробные материалы о проведении рефлексии представлены в курсе «Наставник НТО»: <https://academy.sk.ru/events/310>.

Наставнику важно проинформировать руководство образовательного учреждения, если его учащиеся стали финалистами, призерами и победителями. Публичное признание высоких результатов дополнительно повышает мотивацию.

В процессе рефлексии с учениками, не ставшими призерами или победителями, рекомендуется уделить особое внимание особенностям командной работы: распределению ролей, планированию работы, возникающим проблемам. Для этого могут использоваться опросники для самооценки собственной работы и взаимной оценки участниками других членов команды (Р2Р). Они могут выявить внутренние проблемы команды, для решения которых в план подготовки можно добавить мероприятия, направленные на ее сплочение.

Стоит рассказать, что в истории НТО было много примеров, когда не победив в первый раз, на следующий год участники показывали впечатляющие результаты, одержав победу сразу в нескольких профилях. Конечно, важно отметить, что так происходит только при учете прошлых ошибок и подготовке к Олимпиаде в течение года.

Важным фактором успешного участия в следующих сезонах НТО может стать поддержка родителей учеников. Знакомство с ними помогает наставнику продемонстрировать важность компетенций, развиваемых в процессе участия в НТО, для будущего образования и карьеры школьников. Поддержка родителей помогает мотивировать участников и позволяет выделить необходимое время на занятия в кружке.

С участниками-выпускниками наставнику рекомендуется обсудить их дальнейшее профессиональное развитие и его связь с выбранными профилями НТО. Отдельно можно обратить внимание на льготы для победителей и призеров, предлагаемые в вузах с интересующими ученика направлениями. Кроме того, ряд вузов предлагает льготы для всех финалистов НТО, а также учитывает результаты Конкурса цифровых портфолио «Талант НТО».