



НТО

МАТЕРИАЛЫ ЗАДАНИЙ

Всероссийской междисциплинарной олимпиады школьников

«Национальная технологическая олимпиада»

по профилю

«Наносистемы и наноинженерия»

2023/24 учебный год

<http://ntcontest.ru>

УДК 373.5.016:62-022.53
ББК 74.263.0
Н25

Авторы:

Е.А. Ештукова-Щеглова, О.Ю. Заборская, Н.С. Каберник, Е.Е. Катунина,
Е.Е. Клейман, Т.Е. Комарова, Н.Ю. Кузнецов, Т.А. Маннанов, К.А. Перевощикова,
А.В. Рогачев, О.А. Рубан, О.Е. Самсонова, Д.О. Яшина

Н25 Всероссийская междисциплинарная олимпиада школьников 8-11 класса
«Национальная технологическая олимпиада». Учебно-методическое пособие
Том 15 **Наносистемы и наноинженерия**
—М.: ООО «ВАШ ФОРМАТ», 2024. — 170 с.

ISBN 978-5-00147-605-4

Данное пособие разработано коллективом авторов на основе опыта проведения всероссийской междисциплинарной олимпиады школьников 8-11 класса «Национальная технологическая олимпиада» в 2023/24 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 2023/24 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:

04.00.00 Химия

06.00.00 Биологические науки

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 природообустройство

22.00.00 Технологии материалов

28.00.00 Нанотехнологии и наноматериалы

ISBN 978-5-00147-605-4

УДК 373.5.016:62-022.53

ББК 74.263.0



9 785001 476054 >

Оглавление

1 Введение	5
2 Наносистемы и наноинженерия	17
I Работа наставника НТО на первом отборочном этапе	20
II Первый отборочный этап	21
II.1 Предметный тур. Химия	21
II.1.1 Первая волна. Задачи 8–9 класса	21
II.1.2 Первая волна. Задачи 10–11 класса	30
II.1.3 Вторая волна. Задачи 8–9 класса	40
II.1.4 Вторая волна. Задачи 10–11 класса	49
II.1.5 Третья волна. Задачи 8–9 класса	59
II.1.6 Третья волна. Задачи 10–11 класса	68
II.2 Предметный тур. Физика	80
II.2.1 Первая волна. Задачи 8–9 класса	80
II.2.2 Первая волна. Задачи 10–11 класса	85
II.2.3 Вторая волна. Задачи 8–9 класса	90
II.2.4 Вторая волна. Задачи 10–11 класса	95
II.2.5 Третья волна. Задачи 8–9 класса	100
II.2.6 Третья волна. Задачи 10–11 класса	106
II.3 Инженерный тур	112
III Работа наставника НТО на втором отборочном этапе	119
IV Второй отборочный этап	120
IV.1 Синтез магнитных наночастиц	120

IV.2	Функционализация магнитных наночастиц	127
V	Работа наставника НТО при подготовке к заключительному этапу	131
VI	Заключительный этап	132
VI.1	Предметный тур	132
VI.1.1	Химия. 8–9 классы	132
VI.1.2	Химия. 10–11 классы	138
VI.1.3	Физика. 8–9 классы	146
VI.1.4	Физика. 10–11 классы	149
VI.2	Инженерный тур	153
VI.2.1	Общая информация	153
VI.2.2	Легенда задачи	153
VI.2.3	Требования к команде и компетенциям участников	153
VI.2.4	Оборудование и программное обеспечение	154
VI.2.5	Описание задачи	155
VI.2.6	Система оценивания	161
VI.2.7	Решение задачи	163
VI.2.8	Материалы для подготовки	164
VII	Критерии определения победителей и призеров	166
VIII	Работа наставника после НТО	168

Введение

Национальная технологическая олимпиада

Всероссийская междисциплинарная олимпиада школьников «Национальная технологическая олимпиада» (далее — 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».

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.

Всероссийская междисциплинарная олимпиада школьников 8–11 класса «Национальная технологическая олимпиада» — это командная инженерная Олимпиада, позволяющая школьникам работать в 41-м инженерном направлении. 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 девятом сезоне (2023–24 гг.) самых масштабных в России командных инженерных соревнованиях подали более 141 тысячи школьников и студентов из всех регионов страны и семи зарубежных государств: Азербайджана, Белоруссии, Казахстана, Киргизии, Молдовы, Узбекистана и Черногории. Общий охват олимпиады с 2015 года превысил 660 000 участников. <https://journal.kruzhok.org/tpost/pggs3bp7y1-tehnologicheskaya-podgotovka-inzhenernih>



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

- 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 и ведущими экспертами, а также найти единомышленников.

Ценности НТО

Национальная технологическая олимпиада — командные инженерные соревнования для школьников и студентов. Особое пространство Олимпиады создают общие ценности и смыслы, которые предлагается разделять всем: участникам, организаторам, наставникам, экспертам.

Основа всей олимпиады — это современное технологическое образование как новый уклад жизни в современном мире. Этот уклад подразумевает доступность качественного образования для каждого заинтересованного человека, возможность постепенно и непрерывно учиться и развиваться, совместно создавать среду, в которой гуманитарное знание и новые технологии взаимно дополняют друг друга. Это идеал будущего общества. Участники Олимпиады уже сейчас попадают в такое будущее.

Как организаторы мы надеемся, что принципы, заложенные в основу НТО, станут общими принципами для всех, кто имеет отношение к Олимпиаде.

Решать прикладные задачи, нацеленные на умножение общественного блага

В соревнованиях и подготовке к ним мы адаптируем реальные задачи современной науки и производства к знаниям и навыкам, которые могут освоить школьники и студенты. Задачи имеют прикладное значение для людей и не оторваны от реальности. Мы стремимся к тому, чтобы участники понимали, для чего нужно решать такие задачи, кому в мире станет лучше, если они будут решаться системно и профессионально. Ценность Олимпиады заключается в том, что здесь можно попробовать себя в этом, и найти единомышленников для решения подобных задач в будущем.

Создавать, а не только потреблять

Создание новых решений мы ставим выше стремления потреблять уже созданное. Создание ценности для других ставим выше поиска личной выгоды. Это не значит, что нужно забыть о себе и самоотверженно посвятить всю свою жизнь делу технологического прогресса. Но творчество всегда приносит большую радость, чем потребление. Это относится и ко всей олимпиаде.

Олимпиада — это общее дело организаторов, партнеров и участников. Способность принимать проблемы олимпиады как свои и пытаться решить их ценнее для творческого человека, чем желание найти недостатки в работе других.

Работать в команде

Способность работать в команде — это не только эффективная стратегия действия в современном мире. Работа в команде не отрицает наличия свободной воли каждого конкретного участника, его значимости и права на собственное мнение. Но в сообществе мы стремимся достигнуть общей цели, опираясь на взаимное уважение всех участников, учитывая интересы и слабые и сильные стороны каждого.

Команды формируют целые сообщества, которые имеют сходные цели и ценности и могут очень многое, поскольку сильные горизонтальные связи помогают реализовывать самые дерзкие и амбициозные задачи. Это то, что нужно для технологического развития. Мы заняты построением такого сообщества и надеемся, что вы захотите стать его частью.

Осваивать и ответственно развивать новые технологии

Сообщество Национальной технологической олимпиады — часть Кружкового движения НТИ. Это прежде всего сообщество людей, увлеченных современными технологиями. Нас всех объединяет стремление разобраться в них, создать что-то новое и найти таких же увлеченных единомышленников.

Мы — часть сообщества технологических энтузиастов, и для нас границы возможностей технологий всегда подвижны. Именно поэтому просим не забывать об этике инженера и ученого, ответственности за свои изобретения перед людьми, которых это касается. Творя новое, не навреди!

Играть честно и пробовать себя

Мы признаем, что победа в соревнованиях важна и нужна. Но утверждаем, что для победы не все средства хороши и цель не является оправданием для грязной игры. Победа должна быть заслужена в рамках правил, единых для всех. Человек, который играет честно, не будет списывать, интриговать, подставлять других и заниматься прочей нездоровой конкуренцией.

Человек, который играет честно, — уважает себя, свою команду и соперников. Он принимает правила игры и в заданных рамках доказывает право на победу.

Мы бережем пространство Олимпиады как безопасное для всех участников. Это помогает искать себя, и при этом не бояться пробовать новые задачи, определять свой дальнейший путь, учиться на ошибках и каждый год становиться более сильным и подготовленным.

Быть человеком

Соревнования — это очень сложный и эмоционально насыщенный процесс. Что бы он приносил радость и пользу всем, мы призываем всех участников вести себя порядочно и думать не только о себе.

Вежливость, эмпатия и забота — вот что делает процесс комфортным и полезным для всех. Мы ценим уважение труда каждого человека и его позиции, бережное отношение к работе и жизни каждого. И просим отказаться от токсичной оценочной критики — она не решит ваши проблемы, а сделает хуже вам, другому и всей

Олимпиаде в целом.

Человек, который остается человеком, умеет признавать ошибки и отвечать за слова и дела перед другими. Здесь это ценят. Встав перед альтернативой между сиюминутной выгодой, капризом и общей целью соревнования — человек выберет последнее и поможет другим, организаторам и участникам, поддержать эту цель.

Важное замечание. Этот текст — живое выражение смыслов и ценностей Национальной технологической олимпиады. Он будет меняться вместе с развитием нашего сообщества. Авторы с благодарностью примут помощь от всех, кто чувствует сопричастность ценностям и готов включиться в их доработку.

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 направлениям:

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

В 2023/24 учебном году 28 профилей НТО включены в Перечень олимпиад школьников, 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, что 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 предлагают более 100 российских вузов.

НТО для старшеклассников проводится в три этапа:

- Первый отборочный этап — заочный индивидуальный. На данном этапе участникам предлагаются задачи по двум предметам, соответствующим тому или

иному профилю, а также задания, формирующие теоретические знания и представления по направлениям выбранных профилей.

- Второй отборочный этап — заочный командный. На данном этапе участникам предлагаются индивидуальные компетентностные и командные задачи, связанные с направлением выбранного профиля.
- Заключительный этап — очный командный. Этап представляет собой очные соревнования длительностью 5–6 дней, куда приезжают команды со всей страны, успешно справившиеся с двумя отборочными этапами, и решают комплексные прикладные инженерные задачи.

Профили НТО 2023/24 учебного года и соответствующий уровень РСОШ

Профили II уровня РСОШ

- Автоматизация бизнес-процессов
- Беспилотные авиационные системы
- Водные робототехнические системы
- Инженерные биологические системы
- Интеллектуальные робототехнические системы
- Нейротехнологии и когнитивные науки
- Технологии беспроводной связи

Профили III уровня РСОШ

- Автономные транспортные системы
- Анализ космических снимков и геопространственных данных
- Аэрокосмические системы
- Большие данные и машинное обучение
- Геномное редактирование
- Интеллектуальные энергетические системы
- Информационная безопасность
- Искусственный интеллект
- Летящая робототехника
- Наносистемы и наноинженерия
- Новые материалы
- Передовые производственные технологии
- Разработка компьютерных игр
- Спутниковые системы
- Технологии виртуальной реальности
- Технологии дополненной реальности
- Технологическое предпринимательство
- Умный город
- Фотоника
- Цифровые технологии в архитектуре
- Ядерные технологии

Профили без уровня РСОШ

- Научная медиакоммуникация
- Программная инженерия в финансовых технологиях
- Современная пищевая инженерия
- Технологическое мейкерство
- Урбанистика
- Цифровое производство в машиностроении
- Цифровой инжиниринг в строительстве
- Цифровые сенсорные системы

Новые профили без уровня РСОШ

- Инфохимия
- Квантовый инжиниринг
- Технологии компьютерного зрения и цифровые сервисы
- Цифровая гидрометеорология
- Цифровое месторождение

Обратите внимание, что в олимпиаде 2024/25 года список профилей, в т.ч. входящих в РСОШ, и уровни РСОШ — могут поменяться.

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

- учащихся технологических кружков, любители инженерных и робототехнических соревнований;
- олимпиадников, которым интересны межпредметные олимпиады;
- фанатов и адептов передовых технологий;
- школьников, участвующих в хакатонах, проектных конкурсах и школах;
- будущих предпринимателей, намеревающихся найти на Олимпиаде единомышленников для будущего стартапа;
- увлекающихся школьников, которые хотят видеть предмет шире учебника.

Познакомить школьников с НТО и ее направлениями, замотивировать принять участие в НТО можно с помощью специальных мероприятий: Урок НТО и Дни НТО. Как педагогу провести Урок НТО, или как в образовательном учреждении организовать День НТО можно познакомиться в методических рекомендациях на сайте НТО. Там же можно выбрать и скачать необходимые уроки и подборки материалов по направлениям <https://nti-lesson.ru/>.



Участвуя в НТО, школьники получают возможность работать с практикоориентированными задачами в области прорывных технологий, собирать команды единомышленников, включаться в профессиональное экспертное сообщество, а также заработать льготы для поступления в вузы.

У НТО есть площадки подготовки по всей стране, которые занимаются привлечением участников и проводят мероприятия по подготовке к соревнованиям. Они могут быть открыты:

- в организациях общего и дополнительного образования;
- на базе частных кружков в области программирования, робототехники и иных технологий;
- в вузах;
- технопарках

и других организациях.

Каждое образовательное учреждение, ученики которого участвуют в НТО или НТО Junior, может стать площадкой подготовки к олимпиаде, что дает возможность включиться в Кружковое движение НТИ.

На сайте НТО размещены инструкции о том, как организация может стать площадкой подготовки: <https://ntcontest.ru/mentors/stat-ploshadkoi/>. Условия регистрации и требования к работе площадок подготовки обновляются вместе с развитием олимпиады. Обновленная версия размещается на сайте перед началом нового цикла олимпиады.



Наставники НТО

В НТО большое внимание уделяется работе с наставниками. Наставник НТО оказывает всестороннюю поддержку участникам Олимпиады, помогая решать организационные вопросы и развивать как технические знания и компетенции, так и социальные навыки, связанные с работой в команде.

Наставником может стать любой человек, которому интересно сопровождать участников и помогать им формировать необходимые для решения технологических задач компетенции и готовиться к соревнованиям. Это может быть преподаватель школы или вуза, педагог дополнительного образования, руководитель кружка, эксперт в технологической области, представитель бизнеса и т. п. Если наставнику не хватает собственных знаний, он может привлекать коллег и внешних экспертов и

поддерживать усилия и мотивацию учеников, которые разбирают задачи самостоятельно. На данный момент сообщество наставников НТО включает в себя более 7 тысяч человек.

Главная задача наставника — выстроить комплексную структуру подготовки к Олимпиаде в течение всего учебного года. В области ответственности наставника находится поддержка мотивации участников и помощь в решении возникающих проблем. Не менее важно зафиксировать цели и ожидания от предстоящих соревнований, что поможет оценить прирост профессиональных компетенций, личных и командных навыков за время подготовки.

Примеры организационных задач, которые стоят перед наставником НТО:

- Информирование и работа с мотивацией. На этапе регистрации на Олимпиаду наставник привлекает участников, рассказывая, что такое НТО и какие преимущества она предлагает. Наставнику необходимо разобраться в устройстве НТО, этапах и расписании этапов, а также изучить профили, чтобы помочь каждому ученику выбрать наиболее перспективные и интересные для него направления.
- Формирование программы подготовки. Наставник составляет график подготовки к НТО и следит за его реализацией, руководя процессом подготовки учеников.
- Отслеживание сроков. Наставник следит за сроками проведения этапов НТО и напоминает участникам о необходимости своевременной загрузки решений на платформу.

Примеры задач наставника, связанных с непосредственной подготовкой к соревнованиям:

- Анализ компетенций участников. Наставник вместе с учениками оценивает компетенции, которые необходимы для успешного участия в НТО, выявляет нехватку знаний и навыков и отбирает материалы и задачи, которые ученикам нужно изучить и решить.
- Содержательная подготовка к первому и второму отборочному этапу. Наставник вместе с учениками изучает материалы для подготовки, рекомендованные разработчиками выбранных профилей, а также разбирает и решает задачи НТО прошлых сезонов. Рекомендуется использовать записи вебинаров, материалы и онлайн-курсы профилей.
- Содержательная подготовка к заключительному этапу. Наставник может использовать разборы задач заключительного этапа прошлых лет, а также следить за расписанием подготовительных очных и дистанционных мероприятий и рекомендовать ученикам их посещать.

Примеры задач наставника в области развития социальных навыков, связанных с развитием личной эффективности и взаимодействия с другими участниками:

- Формирование команд. Второй отборочный этап НТО проходит в командном формате. Наставник помогает ученикам сформировать эффективную команду с оптимальным распределением ролей. В ряде случаев он может содействовать в поиске недостающих участников команды, в том числе в других городах и стать наставником такой команды, коммуникация в которой осуществляется через web-сервисы.
- Отслеживание прогресса и анализ полученного опыта. Наставник проводит ре-

флексию прогресса отдельных участников и команды по результатам каждого этапа НТО и после завершения участия в соревнованиях. Это помогает участникам оценить свое движение по траектории соревнований, сильные и слабые стороны, сформулировать, каких компетенций не хватило для более высокого результата и как их можно улучшить в будущем.

- Поддержка и мотивирование участников. Наставник поддерживает интерес учеников к соревнованиям, а также помогает им сохранять высокую мотивацию, что особенно важно, если команда показала результаты хуже, чем ожидалось.
- Выстраивание индивидуальной образовательной траектории. Наставник может помочь ученикам осознанно создать собственную траекторию развития, в том числе вне НТО: подбор обучающих курсов и соревнований, выбор вуза и направления дальнейшего обучения.

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/promo>. Курс формирует общие представления о работе наставников в области подготовки участников к инженерным соревнованиям.



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



Наставникам для ведения занятий с учениками предлагаются образовательные программы, разработанные на основе восьмилетнего опыта организации подготовки к НТО. В настоящий момент такие программы представлены по 10-ти передовым технологическим направлениям:

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

и др.

<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.

Формируется сообщество наставников НТО. Ежегодно Кружковое движение НТИ проводит Всероссийский конкурс технологических кружков: <https://konkurs.kruzhok.org>, принять участие в котором может каждый наставник. По итогам конкурса кружки-участники размещаются на Всероссийской карте кружков: <https://map.kruzhok.org>.



В 2022 году был разработан Навигатор для наставников команд или отдельных участников НТО: <https://www.notion.so/bd1v/5a1866975c2744728c2bd8ba80d21ec2>.



Навигатор ориентирован на начинающих наставников и помогает погрузиться в работу с НТО. Опытным наставникам Навигатор может быть полезен как сборник важных рекомендаций и статей:

- Смогут ли мои ученики принять участие в НТО.
- Как наставнику зарегистрироваться в НТО.
- Как помочь участникам выбирать профили.
- Что можно успеть сделать, если я и мои ученики начнем участвовать с нового учебного года.
- Как убедить руководство включиться в НТО.
- Что важно знать, начиная подготовку школьников.
- Как организовать подготовку.
- Как проводить рефлексию.
- Как мотивировать участников.
- Как работать с командой участников НТО.

Организаторы Олимпиады также оказывают экспертно-методическую поддержку сообществу наставников. Были разработаны методические рекомендации для наставников: «Технологическая подготовка инженерных команд»: <https://journal.kruzhok.org/tpost/pggs3bp7y1-tehnologicheskaya-podgotovka-inzhenernih>. Рассмотрены особенности подготовки к 5-ти направлениям:

- Большие данные.
- Машинное обучение.

- Искусственный интеллект.
- Спутниковые системы.
- Летящая робототехника.



Для наставников НТО разработан и постоянно пополняется страница с материалами для профессионального развития: <http://clc.to/for-mentor>.



Наносистемы и наноинженерия

Профиль «Наносистемы и наноинженерия» основан на взаимодействии физики, химии и биологии в современном научном мире. Для успешного выполнения задач профиля требуются знания в нескольких научных областях, способность работать в команде и стремление создать рабочий прототип устройства собственными руками. Заключительное задание профиля предполагает выполнение значительного объема самостоятельной практической работы участниками в лаборатории. Основной упор профиля делается на современные наноматериалы и их практическое применение. Профиль соответствует сквозным технологиям НТИ: Новые материалы.

Профиль «Наносистемы и наноинженерия» включал два отборочных этапа и заключительный этап. Задания отборочных этапов разрабатывались с целью отбора участников, способных успешно выполнять задания заключительного этапа, и подготовки их к этой задаче. Для участников проводились вебинары и разбор заданий, доступные всем участникам профиля, а также была предоставлена подборка полезных материалов, доступных в открытом доступе.

Профиль «Наносистемы и наноинженерия» дает возможность участникам познакомиться с различными областями специализации, такими как материаловедение, инженерия наноматериалов, химическая технология и др. Некоторые участники, являющиеся первыми выпускниками профиля (принимавшие неоднократно участие в профиле), уже связали свою карьеру с нанотехнологиями или химией в целом, поступив на соответствующие направления в университетах.

Отборочный этап состоял из предметного и инженерного туров. В предметном туре участникам предлагались задачи по физике и химии продвинутого школьного уровня, которые позволяли оценить подготовленность учащихся к выполнению задач на следующих этапах. Этот этап служил для определения уровня подготовки участников, и знание этого уровня позволило подстроить второй отборочный этап под их способности.

Инженерный тур на первом этапе позволил участникам изучить основные концепции супергидрофобности и нанотехнологий, а также ознакомиться с методами гидрофобизации, включая анодирование металлов, и примерами решения задачи по гидрофобизации металла для защиты от коррозии. Инженерный тур позволил оценить уровень освоения материала по тематике финальной задачи и подготовленность участников.

На втором этапе отбора участники выполняли задачи в командах. Задания включали выбор ответа или краткий ответ с учетом погрешности округления и были ориентированы на принципы решения задач заключительного этапа, связанных с созданием наноперфорированной поверхности металла методом анодирования, образованием гидрофобного покрытия и анализом свойств полученного материала.

Участникам нужно было на основе предоставленных теоретических материалов по технологическим особенностям процессов анодирования алюминия предложить состав электролита и режимы анодирования. Также для углубленного понимания принципов создания наноматериалов участники решали задачи по получению наноматериала с заданными параметрами и оценке его характеристик, включая расче-

ты концентраций для гидрофобизации наноматериалов и анализ их гидрофобных свойств по физико-химическим параметрам.

Эти задачи выходили за пределы обычной школьной программы. В методических пособиях к задачам также содержалась дополнительная информация или ссылки на соответствующие источники. Это было сделано с целью ознакомить участников с реальными проблемами, связанными с применением нанотехнологий, производственных процессов, физики и электрохимии, и дать представление о процессе инженерной разработки в целом. Задачи требовали применения знаний, полученных в школе по химии и физике, и предоставленные методические пособия помогали участникам справиться с задачами непривычного для них формата. Кроме того, теоретические материалы, предоставленные для задач второго отборочного этапа, готовили участников к пониманию задач, которые им предстоит решать на заключительном этапе.

Задачи второго отборочного этапа предполагали как творческий поиск решения, так и развитие навыков решения расчетных задач. Творческий поиск решения позволял более глубоко изучить материал, поскольку участники внимательно работали с методическими рекомендациями и дополнительной литературой для проверки своих гипотез. Развитие навыков решения расчетных задач является важным условием для решения командных инженерных задач на финальном этапе и для общей инженерной подготовки.

Заключительный этап олимпиады состоял из двух разделов: индивидуальные теоретические задания (предметный тур) и командная комплексная инженерная задача (инженерный тур). В рамках предметного тура участники решали олимпиадные задачи по химии и физике. Комплексная инженерная задача заключалась в создании наноструктурированного материала из алюминия с последующей гидрофобизацией его поверхности.

Участники самостоятельно выбирали условия анодирования алюминиевой пластины для получения упорядоченной сети отверстий на основе предоставленных теоретических материалов. Затем они подбирали подходящее покрытие и способ нанесения гидрофобизатора, чтобы достичь максимального контактного угла смачивания поверхности водой.

При выполнении комплексной инженерной задачи команды участников сами разрабатывали один или несколько методов создания наноструктурированной поверхности алюминия и гидрофобизировали ее. Эта задача не предполагала стандартных инструкций по параметрам получения супергидрофобного материала или последовательности работы. Команды получили набор методик анодирования алюминия, обезжиривания и подготовки материала, а также гидрофобизации поверхности различными способами. Они должны были принять решение о методах и параметрах для гидрофобизации и анодирования исключительно на основе собственного понимания наноинженерии, опираясь на предварительные материалы, включая задачи предыдущих этапов и дополнительные теоретические материалы.

В рамках этого этапа соревнований были использованы типовые примеры всех расчетов, с которыми участники могли столкнуться при выполнении командной задачи, которые были представлены на втором отборочном этапе и вебнарах. Необходимые теоретические материалы были предоставлены в методических пособиях второго отборочного этапа и в материалах инженерного тура, а также в виде дополнительного теоретического блока, представленного вместе с материалами задачи на заключительном этапе.

Задача на заключительном этапе была разработана научной группой кафедры «Наноразмерных систем и поверхностных явлений» РТУ МИРЭА. Участники, участвующие в этом этапе, имели возможность ознакомиться с актуальными технологиями и реальными исследованиями, которые они смогут продолжить изучать в рамках высшего образования.

Работа наставника НТО на первом отборочном этапе

На первом отборочном этапе НТО участникам предлагаются задачи по предметам, соответствующим выбранным профилям. Для подготовки к первому отборочному этапу Олимпиады наставник может использовать следующие рекомендуемые форматы и мероприятия:

- Разбор задач первого отборочного этапа НТО прошлых лет.
- Мини-соревнования по решению задач предметных олимпиад муниципального уровня.
- Углубленные занятия по разделам предметов в соответствии с рекомендациями разработчиков профилей.

Для проверки, самостоятельного решения или проведения мини-соревнований могут использоваться предметные курсы НТО на платформе Stepik. Также возможно привлечение других преподавателей-предметников для проведения занятий в случае, если у наставника недостаточно компетенций в области предметных олимпиад.

Инженерный тур состоит из курса или теоретических материалов, погружающих участников в тематику профиля, и теоретических и практических заданий, как правило связанных с теорией.

Первый отборочный этап

Предметный тур. Химия

Первая волна. Задачи 8–9 класса

Задача П.1.1.1. Превращения фосфора (15 баллов)

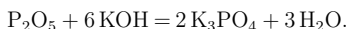
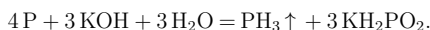
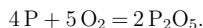
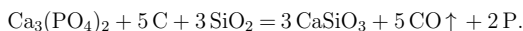
Темы: доля вещества в смеси, расчеты по уравнениям реакций с избытком реагентов.

Условие

Навеску ортофосфата кальция массой X г сплавляли с кварцевым песком и углем. Часть полученного белого фосфора (для расчетов принять формулу P) подвергли сгоранию. Полученная смесь фосфора и оксида фосфора (V) (для расчетов принять формулу P_2O_5) прореагировала с избытком концентрированного раствора гидроксида калия при нагревании. При этом выделился газ объемом 1,12 л (н. у.). Найдите массовую долю оксида фосфора (V) в смеси, полученной после сгорания, с точностью до десятых в процентах. При расчете атомные массы элементов округлите до целых.

Решение

Напишем все реакции, о которых идет речь в задаче:



При нормальных условиях $V_m = 22,4$ л/моль, тогда:

$$n_{\text{исх.}}(P) = 2n(Ca_3(PO_4)_2) = \frac{2X}{M(Ca_3(PO_4)_2)} = \frac{2X}{310}.$$

$$n_{\text{ост.}}(P) = 4n(PH_3) = 4 \cdot \frac{1,12}{V_m} = 4 \cdot \frac{1,12}{22,4}.$$

$$m_{\text{ост.}}(P) = 31n_{\text{ост.}}(P) = 31 \cdot 4 \cdot \frac{1,12}{22,4}.$$

$$m(P_2O_5) = 142 \cdot 0,5n_{\text{сгор.}}(P) = 71 \cdot (n_{\text{исх.}}(P) - n_{\text{ост.}}(P)) = 71 \cdot \left(\frac{2X}{310} - 4 \cdot \frac{1,12}{22,4} \right).$$

$$m_{\text{смеси}} = m(P_2O_5) + m_{\text{ост.}}(P).$$

$$\omega(\text{P}_2\text{O}_5) = 100\% \cdot \frac{m(\text{P}_2\text{O}_5)}{m_{\text{смеси}}}.$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений X .

Погрешность вычислений $\pm 0,1$.

Погрешность приведена для значения итогового ответа, который получается при подставлении X в формулу для автоматического расчета и округлении до десятых долей.

Формула для автоматического расчета

$$\omega = \left(\frac{71 \cdot (2 \cdot X/310 - 4 \cdot 1,12/22,4)}{71 \cdot (2 \cdot X/310 - 4 \cdot 1,12/22,4) + 31 \cdot 4 \cdot 1,12/22,4} \right) \cdot 100.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	62	899	93

Задача II.1.1.2. Плазмозамещающие растворы (15 баллов)

Темы: растворы, молярная концентрация.

Условие

В медицине в качестве плазмозамещающих средств при дегидратации различного генеза используют различные физиологические растворы. Для биологических жидкостей важным показателем является их осмотическое давление, которое определяется осмолярностью. **Осмолярность** — сумма молярных концентраций катионов, анионов и молекул неэлектролитов, т. е. всех кинетически активных частиц в 1 л раствора. Она выражается в миллиосмолях на литр (мосм/л).

Рассчитайте осмолярность раствора, приготовленного по схеме *раствора Три-солъ*: натрия хлорид — X г, калия хлорид — Y г, натрия гидрокарбонат — Z г, вода для инъекций — до общего объема 1 л. При расчете осмолярности ответ округлите до целых.

Решение

Для решения необходимо рассчитать количество каждой из солей, затем количество ионов, образующихся при диссоциации этих солей.

Найдем молярные массы солей $M(\text{NaCl}) = 58,5$ г/моль, $M(\text{KCl}) = 74,5$ г/моль, $M(\text{NaHCO}_3) = 84$ г/моль.

$$C_{\text{осм}} = \frac{n(\text{кинетически активных частиц})}{V(\text{мосмоль/л})}.$$

$n(\text{NaCl}) = X/58,5$; так как при растворении NaCl диссоциирует с образованием двух ионов, количество частиц возрастает в 2 раза.

$$n(\text{Na}^+ + \text{Cl}^-) = \frac{2X}{58,5}.$$

$$n(\text{KCl}) = \frac{Y}{74,5}; n(\text{K}^+ + \text{Cl}^-) = \frac{2Y}{74,5}.$$

$$n(\text{NaHCO}_3) = \frac{Z}{84}; n(\text{Na}^+ + \text{HCO}_3^-) = \frac{2Z}{84}.$$

$$C_{\text{осм}} = (2X/58,5 + 2Y/74,5 + 2Z/84) \cdot 1000 = \text{мосм/л}.$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений X, Y, Z .

Ответ округляем до целых. Точность ± 2 .

Формула для автоматического расчета

$$C_{\text{осм}} = (2 \cdot X/58,5 + 2 \cdot Y/74,5 + 2 \cdot Z/84) \cdot 1500 = \text{мосм/л}.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	4,8	5,3	0,05
Y	0,9	1,1	0,02
Z	3,8	4,3	0,05

Задача II.1.1.3. Аэропонная система (15 баллов)

Темы: ситифермерство, питательные растворы.

Условие

Ученые разработали питательный раствор для аэропонной системы. Для его приготовления используют 230 г навески сыпучего вещества, где компоненты А, В и С распределены в пропорции 5 : 2 : 3. Вычислите массу компонента В. Ответ дайте с точностью до сотых.

Решение

Вычислим долю каждого компонента:

$$230/(5 + 2 + 3) = 23 \text{ г} — \text{масса одной доли в пропорции.}$$

$$23 \cdot 2 = 46 \text{ г.}$$

Погрешность вычислений 0,01.

Формула для автоматического расчета

$$B = 2 \cdot 230 / (A + C).$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
A	5	5,5	0,1
B	2	2,7	0,01
C	3	5	0,1

Задача II.1.1.4. Зеленый осадок (15 баллов)

Темы: смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций.

Условие

При взаимодействии веществ А и В происходит выпадение изумрудно-зеленого осадка. Вещество А получили путем взаимодействия витерита и соляной кислоты, а вещество В термическим разложением перманганата калия.

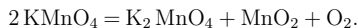
Установите массу изумрудно-зеленого осадка, если известно, что при получении веществ А и В совместно выделилось X л смеси газов (н. у.), пропустив которую через известковую воду выпало Y г осадка, а реакцию получения изумрудно-зеленого осадка проводили в избытке веществ А. Ответ приведите с точностью до десятых.

Решение

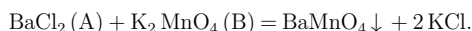
Составим уравнения реакций получения веществ А и В. Витерит — это минерал, основу которого составляет карбонат бария, поэтому реакция получения А выглядит следующим образом:



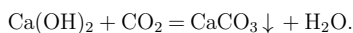
Реакция термического разложения перманганата калия выглядит следующим образом:



Теперь нужно понять, какие компоненты взаимодействуют между собой с получением изумрудно-зеленых кристаллов. Исходя из наших условий, можно установить, что кристаллы такого цвета — это кристаллы манганата бария, которые можно получить путем взаимодействия водорастворимых солей бария с манганом калия:



Затем установим массу выпавшего изумрудно-зеленого осадка. При пропускании углекислого газа через известковую воду происходит выпадение осадка карбоната кальция:



Тогда количество вещества выделившегося углекислого газа равно:

$$\vartheta_{\text{CO}_2} = \vartheta_{\text{CaCO}_3} = \frac{m_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{CaCO}_3}} = \frac{Y}{100}.$$

Из этого можно установить объем выделившегося кислорода при получении В:

$$V_{\text{O}_2} = V - V_{\text{CO}_2} = V - \vartheta_{\text{CO}_2} \cdot V_m = X - \vartheta_{\text{CO}_2} \cdot 22,4 = X - \frac{Y \cdot 22,4}{100}.$$

Тогда рассчитаем количество вещества В, вступившего в реакцию с А:

$$\vartheta_B = \vartheta_{\text{O}_2} = \frac{V_{\text{O}_2}}{V_m} = \frac{X - \frac{Y \cdot 22,4}{100}}{22,4}.$$

Осталось рассчитать массу изумрудно-зеленого осадка:

$$m_{\text{ос}} = \vartheta_{\text{ос}} \cdot M_{\text{ос}} = \vartheta_B \cdot M_{\text{ос}} = \frac{X - \frac{Y \cdot 22,4}{100}}{22,4} \cdot 256.$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений X и Y.

Погрешность 0,1.

Формула для автоматического расчета

$$\left(X - \frac{Y \cdot 22,4}{100} \right) \cdot 256/22,4.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	33,6	42	2,8
Y	100	145	5

Задача II.1.1.5. Кислотное число полимера (15 баллов)

Темы: массовая доля, смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций.

Условие

В рамках задачи вам предлагается ответить на три вопроса. Обратите внимание, что количественные данные в каждом вопросе независимы — если не получилось ответить на один из них, это не мешает ответить на другой.

Широкое применение во всех областях человеческой деятельности находят полимерные материалы. Из полиметилметакрилата, также известного как органическое стекло (оргстекло), изготавливают осветительную технику, детали наружной рекламы, витрины, оборудование ванных комнат, декоративные элементы, аквариумы и даже корпуса барабанов. Этот полимер используется для остекления самолетов и

катеров, а биосовместимость и пластичность обуславливают его ценность в производстве линз для офтальмологии.

Синтез мономера — метилметакрилата — зачастую основывается на метакриловой кислоте, и ее остаточное содержание в продукции строго контролируется с помощью титрования — этот метод основан на точном определении объема раствора щелочи известной концентрации, необходимого для нейтрализации раствора образца.

1. Рассчитайте массу навески гидроксида калия, которую необходимо количественно перенести в мерную колбу емкостью 250 мл и довести до метки дистиллированной водой для получения W % масс. раствора щелочи. Плотность раствора примите P г/л. Массу введите в г с точностью до сотых.

Решение

Масса раствора $m_{p-p} = \rho V$.

Масса щелочи $m_{\text{кон}} = m_{p-p} \omega = \rho V \omega = \rho \left(\frac{r}{l} \right) \cdot \frac{250}{1000} \cdot \omega \frac{(\%)}{100}$ [г].

Погрешность вычислений 0,05.

Формула для автоматического расчета

$$0,0025 \cdot P \cdot W.$$

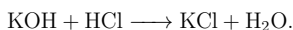
Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
W	0,3	2	0,1
P	1000	1030	1

2. Кристаллический гидроксид калия по свойствам не является веществом, пригодным для получения точного раствора, так как при хранении взаимодействует с углекислым газом и влагой воздуха с образованием карбонатов и гидрокарбонатов. Поэтому растворением щелочи получают раствор примерной концентрации, а его точную концентрацию устанавливают с помощью титрования точным раствором кислоты, приготовленным из стандарт-титра (ампулы, содержащей точно известное количество вещества).

Определите точную концентрацию раствора щелочи, если на титрование аликвоты 10,0 мл раствора в присутствии индикатора метилоранжа для изменения окраски с желтой на оранжевую затрачено V мл R моль/л соляной кислоты. В ответе укажите концентрацию щелочи (моль/л) с точностью до тысячных.

Решение



Количества веществ равны $n_{\text{кон}} = C_{\text{кон}} V_{\text{кон}} = n_{\text{нсл}} = C_{\text{нсл}} V_{\text{нсл}}$, откуда концентрация щелочи:

$$C_{\text{кон}} = \frac{C_{\text{нсл}} V_{\text{нсл}}}{V_{\text{кон}}} = \frac{C_{\text{нсл}} (\text{моль/л}) V_{\text{нсл}} (\text{мл})}{10 (\text{мл})} [\text{моль/л}].$$

Погрешность 0,05.

Формула для автоматического расчета

$$\frac{V \cdot R}{10}$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
V	5	15	0,1
R	0,8	1,3	0,004

3. Для количественной характеристики содержания кислоты применяют условный химический показатель — кислотное число. Кислотным числом (КЧ) называют массу (в мг) гидроксида калия, необходимую для нейтрализации свободных кислот, содержащихся в 1 г анализируемого вещества. Для определения кислотного числа в коническую колбу поместили навеску m г метилметакрилата, прилили 15 мл нейтрализованного этилового спирта и растворили навеску. После этого пробу оттитровали L моль/л спиртовым раствором гидроксида калия с раствором фенолфталеина до появления розовой окраски. Определите кислотное число (с точностью до сотых), если на титрование затрачено V мл щелочи.

Решение

Количество вещества щелочи равно $n_{\text{кон}} = C_{\text{кон}}V_{\text{кон}}$, откуда масса щелочи:

$$m_{\text{кон}} = n_{\text{кон}}M_{\text{кон}} = 56 \cdot C_{\text{кон}}V_{\text{кон}},$$

откуда кислотное число

$$K = \frac{m_{\text{кон}} (\text{мг})}{m_{\text{пробы}} (\text{г})} = \frac{56 \cdot C_{\text{кон}} (\text{моль/л})V_{\text{кон}} (\text{мл})}{1000} \cdot \frac{1000}{m_{\text{пробы}} (\text{г})}.$$

Погрешность 0,05.

Формула для автоматического расчета

$$56 \cdot V \cdot L/m.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
m	8	12	0,004
L	0,05	0,15	0,002
V	3,5	6,5	0,1

Задача II.1.1.6. Это просто жесть (20 баллов)

Темы: смеси веществ, массовые доли, атомистика, расчеты по уравнениям реакций.

Условие

Своему успешному продвижению в мире **жесть** обязана созданию консервной банки. Объявленную награду 12000 франков за метод консервирования продуктов для французской армии получил француз Николя Аппер, коммерсант из Манчестера, а Питер Дюран в 1810 году впервые запатентовал идею использования жестяных банок для консервирования.

Жесть — холоднокатаная отожженная листовая сталь толщиной 0,10–0,36 мм с нанесенными защитными покрытиями из Sn или специальными покрытиями, например, Zn, Ni и др. Жесть консервная (пищевая) используется для производства тары под пищевые продукты и укупорочных изделий (крышки для закатывания, легковскрываемые крышки и пр.).

Рассчитайте состав (%) компонентов материала банки для консервов, если известно, что при обработке 100,00 г навески сплава из железа, кремния и никеля разбавленной азотной кислотой выделился газ. В данной порции содержится $3,56 \cdot 10^{24}$ электронов никеля.

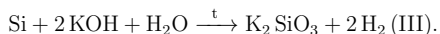
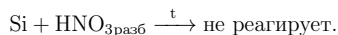
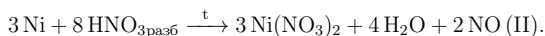
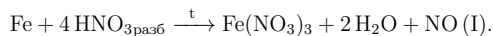
При обработке другой равной по массе порции сплава 25,00% (Q) раствором гидроксида калия массой 448,00 (W) г, выделился другой газ; при этом щелочь прореагировала полностью.

В ответе укажите **массовую долю железа в сплаве** (округлите до целого числа).

Справочные данные ($A_{r\text{Fe}} = 56$ г/моль; $A_{r\text{Ni}} = 59$ г/моль; $A_{r\text{Si}} = 28$ г/моль; число Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ шт.).

Решение

Реакция 1 разбавленная азотная кислота реагирует с металлами.



Расчеты по гидроксиду калия:

$$\omega = \frac{112}{448} \cdot 100\% = 25\%.$$

$$0,5n\text{KOH} = 0,5 \cdot n\text{H}_2 = n\text{Si} = 1 \text{ моль}.$$

$$n(\text{Si}) = \frac{n(\text{KOH})}{2} = \frac{W \cdot Q}{2 \cdot M(\text{KOH}) \cdot 100} \text{ моль}.$$

$$m(\text{Si}) = \frac{W \cdot Q \cdot M(\text{Si})}{200 \cdot M(\text{KOH})} = \frac{W \cdot Q \cdot 28}{200 \cdot 56}.$$

$$m(\text{Si}) = 0,0025 \cdot W \cdot Q \text{ г}.$$

$$n_e\text{Ni} = \frac{3,56 \cdot 10^{24}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 5,9136 \text{ моль}.$$

$$n\text{Ni} = \frac{5,9136}{28} = 0,2112 \text{ моль}.$$

$$m\text{Ni} = 0,2112 \cdot 59 = 12,4608 \text{ г}.$$

$$m\text{Fe} = 100 - 28 - 12,46 = 59,5392 \text{ г}.$$

Расчет массовой доли металлов в сплаве:

$$\omega_{\text{Э}} = \frac{n \cdot Ar_{\text{Э}}}{m_{\text{сплава}}} \cdot 100\%.$$

$$\omega_{\text{Fe}} = 59,54\%.$$

$$m\text{Si} = 28\%.$$

$$\omega_{\text{Ni}} = 12,46\%.$$

Ответ: $\omega_{\text{Fe}} = 60\%$. Проверка:

$$\omega_{\text{Fe}} = 100 - 0,0025 \cdot W \cdot Q - 12,4608 = 100 - 0,0025 \cdot 448 \cdot 25 - 12,4608 = 59,5392 \text{ г}.$$

Погрешность ± 2 .

Итоговый ответ зависит от исходных значений Q, Z и W.

Формула для автоматического расчета

$$\omega_{\text{Fe}} = 100 - 0,0025 \cdot W \cdot Q - 12,4608.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
W	448	450	0,1
Q	25	25,5	0,005

Задача II.1.1.7. Химию, как и любую науку, делают люди (10 баллов)

Темы: химики России.

Условие

Новое — «хорошо забытое» старое: научный приоритет разработки «сойлентов».

Советский ученый, о котором пойдет речь, был в детстве очень увлечен химией, стал врачом-лечебником, имел степень кандидата биологических наук. На основе его работ по биохимической токсикологии была предложена интересная классификация ядов и лекарств, основанная на принципе ферментного механизма их действия. Он заложил научные основы экспертизы и безопасности пищевых продуктов. Именно этот ученый изменил научные подходы в нутрициологии, предложив рассматривать вопросы питания не через призму физиологии, как было раньше, а с позиции биохимии, исследуя процессы, вызванные поступлением пищи в организм и ее превращением, на клеточном уровне.

Впервые под его руководством были составлены дифференцированные нормы питания для отдельных групп населения с учетом возраста (детское питание, диетическое питание), профессии (космонавты, спортсмены) и региона проживания. Считал, что «именно режим сбалансированного питания создаст условия для увеличения продолжительности жизни и трудоспособности каждого и, соответственно, повлияет на здоровье будущих поколений».

Назовите фамилию ученого-биохимика.

1. Алексей Алексеевич Покровский.
2. Федор Федорович Эрисман.
3. Виктор Александрович Тутельян.
4. Игорь Михайлович Скурихин.
5. Михаил Михайлович Шемякин.
6. Александр Яковлевич Данилевский.
7. Александр Михайлович Бутлеров.
8. Иван Петрович Павлов.
9. Юрий Анатольевич Овчинников.
10. Александр Абрамович Воскресенский.

Ответ: 1.

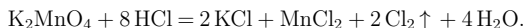
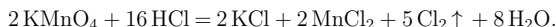
Первая волна. Задачи 10–11 класса

Задача II.1.2.1. Внимание, газы! (15 баллов)

Темы: вещества, расчеты по уравнениям реакций с избытком реагентов.

Условие

Твердый перманганат калия массой X г термически разложили, при этом выделилось 1,12 л газа (н. у.). К оставшемуся твердому остатку добавили избыток концентрированной соляной кислоты, в результате чего выделился другой газ. Найдите объем выделившегося газа в л с точностью до десятых (н. у.).

Решение

$$n(\text{O}_2) = \frac{1,12}{22,4}.$$

$$n_{\text{исх.}}(\text{KMnO}_4) = \frac{X}{158}.$$

$$n_{\text{разл.}}(\text{KMnO}_4) = 2n(\text{O}_2) = 2 \cdot \frac{1,12}{22,4}.$$

$$n_{\text{ост.}}(\text{KMnO}_4) = n_{\text{исх.}}(\text{KMnO}_4) - n_{\text{разл.}}(\text{KMnO}_4) = \frac{X}{158} - 2 \cdot \frac{1,12}{22,4}.$$

$$n(\text{K}_2\text{MnO}_4) = n(\text{MnO}_2) = n(\text{O}_2) = \frac{1,12}{22,4}.$$

$$\begin{aligned} n(\text{Cl}_2) &= n(\text{MnO}_2) + 2n(\text{K}_2\text{MnO}_4) + 2,5n_{\text{ост.}}(\text{KMnO}_4) = \\ &= \frac{1,12}{22,4} + 2 \cdot \frac{1,12}{22,4} + 2,5 \cdot \left(\frac{X}{158} - 2 \cdot \frac{1,12}{22,4} \right). \end{aligned}$$

$$V(\text{Cl}_2) = n(\text{Cl}_2) \cdot V_m = n(\text{Cl}_2) \cdot 22,4.$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений X .

Погрешность вычислений $\pm 0,1$.

Погрешность приведена для значения итогового ответа, который получается при подставлении X в формулу для автоматического расчета и округлении до десятых долей.

Формула для автоматического расчета

$$V(\text{Cl}_2) = 22,4 \cdot \left(\frac{1,12}{22,4} + 2 \cdot \frac{1,12}{22,4} + 2,5 \cdot \left(\frac{X}{158} - 2 \cdot \frac{1,12}{22,4} \right) \right).$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	40	391	39

Задача П.1.2.2. Цикл трикарбоновых кислот (20 баллов)

Темы: органическая химия, уравнения химических реакций, выход продукта реакции.

Условие

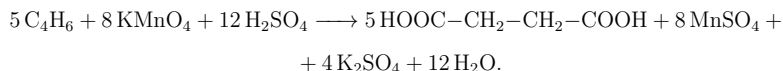
Углеводород, в котором количество атомов водорода в полтора раза больше атомов углерода, при окислении перманганатом калия в кислой среде образует кислоту, являющуюся участником цикла Кребса. Цикл Кребса (в биохимии используется и другое название — цикл трикарбоновых кислот (ЦТК)) — это цепочка химических реакций, происходящих в митохондриях каждой клетки организма.

Определите объем углекислого газа (н. у.), образующегося при сжигании X г данной кислоты, при условии, что реакция горения идет с выходом Y%. Объем газа определить в л, ответ округлите до сотых.

Решение

Исходя из соотношения атомов углерода и водорода, определяем структуру углеводорода: $n(\text{C}) : n(\text{H}) = 1 : 1,5 = 2 : 3$, молекулярная формула C_2H_3 — не существует, следовательно, формула элементарная. Удваивая ее, получаем C_4H_6 , что соответствует бутину, бутадиену и циклобутену.

При окислении перманганатом калия только последний углеводород (циклобутен) образует кислоту — участницу цикла Кребса — янтарную кислоту.



Согласно уравнению горения янтарной кислоты определяем объем углекислого газа:



$$n(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4) = \frac{m}{M} = \frac{X}{118}.$$

$$n(\text{CO}_2) = \frac{8}{2} n(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4) = 4 \cdot \frac{X}{118} \text{ моль.}$$

$$V(\text{CO}_2) = 4 \cdot 22,4 \cdot \frac{X}{118} = 89,6 \cdot \frac{X}{118} \text{ л.}$$

Объем углекислого газа, с учетом выхода продукта реакции:

$$V(\text{CO}_2) = \left(89,6 \cdot \frac{X}{118} \right) \cdot \frac{Y}{100} \text{ л.}$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений X, Y.

Погрешность вычислений. Ответ округляем до сотых. Точность $\pm 0,02$.

Формула для автоматического расчета

$$V(\text{CO}_2) = \left(89,6 \cdot \frac{X}{118} \right) \cdot \frac{Y}{100} \text{ л.}$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	5,9	35,4	5,9
Y	70	100	5

Задача II.1.2.3. Приготовление пищи (15 баллов)

Темы: получение энергии.

Условие

В походных условиях для приготовления пищи используется газовая горелка. Вычислите объем газа (н. у.), который необходим для разогрева 500 мл (X) супа, если известно, что 1 моль этого газа при сгорании выделяет 800 кДж (Y), а для нагревания л супа необходимо затратить 320 кДж. Ответ дайте в л с точностью до сотых.

Решение

Необходимо затратить $320 \text{ кДж} \cdot 0,5 = 160 \text{ кДж}$.

Тогда $V = 22,4 \text{ л} \cdot 160 \text{ кДж} / 800 \text{ кДж} = 4,48 \text{ л}$.

Итоговый ответ зависит от исходных значений X, Y.

Погрешность вычислений $\pm 0,1$.

Формула для автоматического расчета

$$V = 22,4 \cdot 320 \cdot 0,001 \cdot \frac{X}{Y}.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	500	1500	10
Y	800	1000	5

Задача II.1.2.4. Сгорели углеводороды (15 баллов)

Темы: смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций.

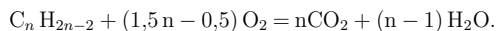
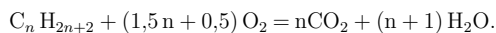
Условие

При сжигании смеси, содержащей X% алкана и остальное количество алкина по объему, выделилось Y л (н. у.) углекислого газа. Установите объем насыщенного

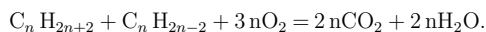
углеводорода в исходной смеси, если известно, что количество углеродов в обоих исходных газах равно Z . Ответ приведите с точностью до десятых.

Решение

Составим уравнения реакций:



Теперь составим результирующее уравнение:



Установим общий объем исходных газов:

$$V = \vartheta_r \cdot V_m = \frac{\vartheta_{CO_2}}{n} \cdot V_m = \frac{V_{CO_2}}{n \cdot V_m} \cdot V_m = \frac{V_{CO_2}}{n} = \frac{Y}{Z}.$$

Тогда объем насыщенного углеводорода:

$$V_n = \frac{X\% \cdot V}{100\%} = \frac{X\% \cdot \frac{Y}{Z}}{100\%}.$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений X и Y .

Погрешность вычислений 0,1.

Формула для автоматического расчета

$$\frac{X \cdot Y}{Z \cdot 100}$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	40	60	10
Y	112	224	22,4
Z	2	4	1

Задача II.1.2.5. Кислотное число полимера (15 баллов)

Темы: массовая доля, смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций.

Условие

В рамках задачи вам предлагается ответить на три вопроса. Обратите внимание, что количественные данные в каждом вопросе независимы — если не получилось ответить на один из них, это не мешает ответить на другой.

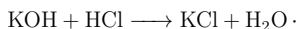
Широкое применение во всех областях человеческой деятельности находят полимерные материалы. Из полиметилметакрилата, также известного как органическое стекло (оргстекло), изготавливают осветительную технику, детали наружной рекламы, витрины, оборудование ванных комнат, декоративные элементы, аквариумы и даже корпуса барабанов. Этот полимер используется для остекления самолетов и катеров, а биосовместимость и пластичность обуславливают его ценность в производстве линз для офтальмологии.

Синтез мономера — метилметакрилата — зачастую основывается на метакриловой кислоте, и ее остаточное содержание в продукции строго контролируется с помощью титрования — этот метод основан на точном определении объема раствора щелочи точной концентрации, необходимого для нейтрализации раствора образца.

Кристаллический гидроксид калия по свойствам не является веществом, пригодным для получения точного раствора, так как при хранении взаимодействует с углекислым газом и влагой воздуха с образованием карбонатов и гидрокарбонатов. Поэтому растворением щелочи получают раствор примерной концентрации, а его точную концентрацию устанавливают с помощью титрования точным раствором кислоты, приготовленным из стандарт-титра (ампулы, содержащей точно известное количество вещества).

1. Определите точную концентрацию раствора щелочи, если на титрование аликвоты 10 мл раствора в присутствии индикатора метилоранжа для изменения окраски с желтой на оранжевую затрачено V мл R моль/л соляной кислоты. В ответе укажите концентрацию щелочи (моль/л) с точностью до тысячных.

Решение



Количества веществ равны

$$n_{\text{KOH}} = C_{\text{KOH}}V_{\text{KOH}} = n_{\text{HCl}} = C_{\text{HCl}}V_{\text{HCl}},$$

откуда концентрация щелочи

$$C_{\text{KOH}} = \frac{C_{\text{HCl}}V_{\text{HCl}}}{V_{\text{KOH}}} = \frac{C_{\text{HCl}} (\text{моль/л}) V_{\text{HCl}} (\text{мл})}{10 (\text{мл})} [\text{моль/л}].$$

Погрешность вычислений 0,05.

Формула для автоматического расчета

$$\frac{V \cdot R}{10}.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
V	5	15	0,1
R	0,8	1,3	0,004

2. Для количественной характеристики содержания кислоты применяют условный химический показатель — кислотное число. Кислотным числом (КЧ) называют массу (в мг) гидроксида калия, необходимую для нейтрализации свободных кислот, содержащихся в 1 г анализируемого вещества.

Для определения кислотного числа в коническую колбу поместили навеску m г метилметакрилата, прилили 15 мл нейтрализованного этилового спирта и растворили навеску. После этого пробу оттитровали L моль/л спиртовым раствором гидроксида калия с раствором фенолфталеина до появления розовой окраски. Определите кислотное число (с точностью до сотых), если на титрование затрачено V мл щелочи.

Решение

Количество вещества щелочи равно $n_{\text{КОН}} = C_{\text{КОН}}V_{\text{КОН}}$, откуда масса щелочи $m_{\text{КОН}} = n_{\text{КОН}}M_{\text{КОН}} = 56 \cdot C_{\text{КОН}}V_{\text{КОН}}$, откуда кислотное число

$$K = \frac{m_{\text{КОН}} (\text{мг})}{m_{\text{пробы}} (\text{г})} = \frac{56 \cdot C_{\text{КОН}} (\text{моль/л}) V_{\text{КОН}} (\text{мл})}{1000} \cdot \frac{1000}{m_{\text{пробы}} (\text{г})}.$$

Погрешность 0,05.

Формула для автоматического расчета

$$\frac{56 \cdot V \cdot L}{m}.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
m	8	12	0,004
L	0,05	0,15	0,002
V	3,5	6,5	0,1

3. Продажный метиловый эфир метакриловой кислоты, применяемый в промышленности пластмасс, должен содержать не более 0,2% масс. метакриловой кислоты. Определите содержание метакриловой кислоты (2-метил-2-пропеновой кислоты) в метакрилате, если известно, что его кислотное число составляет Z . Считайте, что вся кислотность мономера обусловлена содержанием метакриловой кислоты; в ответе приведите массовую долю (%) с точностью до сотых.

Решение

Масса щелочи (мг) в 1 г образца равна кислотному числу K , откуда количество вещества щелочи равно

$$n_{\text{КОН}} = \frac{m_{\text{КОН}}}{M_{\text{КОН}}} = \frac{K}{1000 \cdot M_{\text{КОН}}}.$$

Метакриловая кислота содержит одну карбоксильную группу, а значит является одноосновной, реагируя с щелочью в соотношении 1 : 1. Тогда

$$n_{\text{к-та}} = n_{\text{КОН}}, \quad m_{\text{к-та}} = M_{\text{к-та}} \cdot \frac{K}{1000 \cdot M_{\text{КОН}}},$$

откуда массовая доля составляет

$$\omega = \frac{m_{\text{к-га}}}{m_{\text{образца}}} = \frac{M_{\text{к-га}} \cdot m_{\text{КОН}}}{1 \cdot 1000 \cdot M_{\text{КОН}}} = \frac{86 \cdot K}{1 \cdot 1000 \cdot 56} \cdot 100\%.$$

Погрешность 0,05.

Формула для автоматического расчета

$$\frac{(Z/(1000 \cdot 56)) \cdot 86}{1} \cdot 100.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
Z	0,1	3	0,03

Задача II.1.2.6. Многофункциональное соединение (20 баллов)

Темы: смеси веществ, массовые доли, органическая химия, расчеты по уравнениям реакций.

Условие



Этилен является важнейшим компонентом мировой нефтехимической промышленности, служащим основным строительным блоком для производства различных химикатов и пластмасс. Важность этилена нельзя недооценивать, поскольку он играет решающую роль в стимулировании экономического роста и инноваций во всем мире. Этилен также рассматривается как многофункциональный фитогормон, который регулирует процессы роста и старения в зависимости от его концентрации, сроков применения и видов растений; данный процесс в пищевой промышленности называется **газация** и его используют поставщики сельхозпродукции.

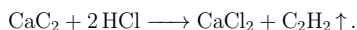
Для синтеза полиэтилена тоже используют этилен. Пищевой полиэтилен (Food Grade Polyethylene, FG polyethylene) — общее наименование для всех марок полиэтилена (ПЭНД, ВМПЭ, СВМПЭ и т. д.), применяемых в пищевой промышленности и/или контактирующих с питьевой водой. Важное требование — отсутствие влияния на состав и цвет продуктов при непосредственном контакте. Полиэтилен также

дополнительно обеспечивает эксплуатационные характеристики (стойкость к истиранию, прочность), что повышает его маркетинговую популярность.

К навеске технического карбида кальция, имеющего массу 500 (А) г и содержащего 18 (В) % инертных примесей, добавили навеску карбида алюминия, перемешали и растворили в соляной кислоте. При этом объем выделившегося газа составил 183,68 (Q) л. Полученную смесь газов некоторое время пропускали над никелевым катализатором при 750 °С. Затем добавляли водород до тех пор, пока смесь не стала однородной по алкену. Выход продукта составил 82,2%. Рассчитайте массу **хлора** в г, необходимого для присоединения к этилену (ответ округлите до целого числа).

Решение

Реакция 1.



Объем ацетилена определим по формуле: $V = 22,4 \text{ л/моль} \cdot n$. Необходим предварительный расчет количества чистого вещества карбида кальция $n_{\text{CaC}_2} = n_{\text{C}_2\text{H}_2}$.

Если в техническом карбиде кальция содержится 18% примесей, то массовая доля чистого вещества составляет 82%.

$$n_{\text{CaC}_2 \text{ чист.}} = \frac{m(\text{смеси}) \cdot \omega(\text{CaC}_2 \text{ чист.})}{M \cdot 100\%} = \frac{500 \cdot 0,82}{64} = 6,4 \text{ моль.}$$

Пусть $n_{\text{CaC}_2 \text{ чист.}} = x$ моль и $n_{\text{Al}_4\text{C}_3} = y$ моль.

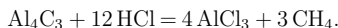
$$n_{\text{CaC}_2} = n_{\text{C}_2\text{H}_2} = 6,4 \text{ моль.}$$

$$V_{\text{C}_2\text{H}_2} = 22,4 \text{ л/моль} \cdot 6,4 \text{ моль} = 143,36 \text{ л.}$$

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{C}_2\text{H}_2} + V_{\text{CH}_4} = 143,36 + 40,32 = 183,68 \text{ л.}$$

$$V_{\text{CH}_4} = 40,32 \text{ л.}$$

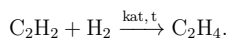
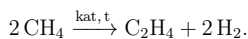
$$n_{\text{CH}_4} = 1,8 \text{ моль.}$$



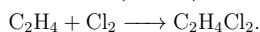
$$3n_{\text{CH}_4} = n_{\text{Al}_4\text{C}_3}.$$

Зная мольную долю выхода продукта реакции, определим практический выход этилена:

$$n_{\text{пр. C}_2\text{H}_4} = \eta \cdot n_{\text{теор. C}_2\text{H}_4}.$$



$$n_{\text{C}_2\text{H}_4 \text{ общ}} = \left(x + \frac{3y}{2} \right) \text{ моль.}$$



$$n_{\text{C}_2\text{H}_4} = n_{\text{Cl}_2} = n_{\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2}.$$

η -практический выход в долях.

$$m_{\text{Cl}_2} = \left(x + \frac{3y}{2} \right) \cdot \eta \cdot 71.$$

$$m_{\text{Cl}_2} = (6,4 + 0,9) \cdot 0,822 \cdot 71 = 426 \text{ г.}$$

Ответ: 426. Проверка:

$$m_{\text{Cl}_2} = \left(\frac{0,5 \cdot 500 \cdot (1 - 0,01 \cdot 18)}{64} + 0,02232 \cdot 183,68 \right) \cdot 0,71 \cdot 82,2 = 426,2082.$$

$$m_{\text{Cl}_2} = \left(\frac{0,5 \cdot 366 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16)}{64} + 0,02232 \cdot 157,92 \right) \cdot 0,71 \cdot 82,2 = 346,2136.$$

Погрешность ± 2 .

Итоговый ответ зависит от исходных значений Q, A и B.

Формула для автоматического расчета

$$m_{\text{Cl}_2} = \left(\frac{0,5 \cdot A \cdot (1 - 0,01B)}{64} + 0,02232 \cdot Q \right) \cdot 58,362.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
Q	157,92	183,68	0,5
A	366	500	0,5
B	16	20	0,05

Задача II.1.2.7. Химию, как и любую науку, делают люди (10 баллов)

Темы: химики России.

Условие

Этот ученый был автором теории цепных реакций, за что стал единственным лауреатом Нобелевской премии по химии в Советском Союзе. Он показал радикальный механизм цепного процесса, а также установил роль энергетических процессов в развитии цепных реакций при повышенных температурах.

1. Петр Леонидович Капица.
2. Николай Николаевич Семенов.
3. Александр Порфирьевич Бородин.
4. Сергей Васильевич Лебедев.
5. Александр Николаевич Несмеянов.
6. Николай Дмитриевич Зелинский.
7. Михаил Григорьевич Кучеров.
8. Александр Михайлович Бутлеров.
9. Александр Михайлович Зайцев.
10. Владимир Васильевич Марковников.

Ответ: 2.

Вторая волна. Задачи 8–9 класса

Задача II.1.3.1. Превращения металла (15 баллов)

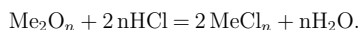
Темы: нахождение элемента по молярной массе, металлы и их соединения.

Условие

Навеска оксида неизвестного металла массой X г прореагировала с избытком раствора соляной кислоты. Полученный раствор упарили и получили сухой хлорид неизвестного металла массой 29,3 г. Определите металл, в поле для ответа введите его молярную массу с точностью до целых. Полученная масса металла имеет погрешность ± 1 г/моль.

Решение

Задача решается перебором. Любой оксид можно представить в виде Me_2O_n .



Примем молярную массу неизвестного металла за M , тогда:

$$M(\text{Me}_2\text{O}_n) = 2M + 16n; \quad M(\text{MeCl}_n) = M + 35,5n.$$

Составим систему уравнений с учетом коэффициентов в уравнении реакции:

$$\frac{2X}{2M + 16n} = \frac{29,3}{M + 35,5n}.$$

Таким образом при $n = 2$, $M = \frac{71X - 16 \cdot 29,3}{29,3 - X}$.

n	1	2
M	56	112
Me	Fe	Cd
Оксид	Me_2O	$\text{Me}_2\text{O}_2 \equiv \text{MeO}$

У железа нет оксида Fe_2O , следовательно, по условию задачи подходит Cd.

Ответ: 112.

Погрешность вычислений ± 1 .

Формула для автоматического расчета

$$M = \frac{71 \cdot X - 16 \cdot 29,3}{29,3 - X}.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	20,43	20,52	0,01

Задача II.1.3.2. Осмолярность (15 баллов)

Темы: растворы, молярная концентрация.

Условие

В медицине в качестве плазмозаменяющих средств при дегидратации различного генеза используют различные физиологические растворы. Для биологических жидкостей важным показателем является их осмотическое давление, которое определяется осмолярностью. **Осмолярность** — сумма молярных концентраций катионов, анионов и молекул неэлектролитов, т. е. всех кинетически активных частиц в 1 л раствора. Она выражается в миллиосмолях на литр (мосм/л).

Рассчитайте осмолярность раствора, приготовленного по схеме *раствора Рингера*: натрия хлорид — X г, калия хлорид — Y мг, кальция хлорид — Z мг, вода для инъекций — до общего объема 1 л. Ответ округлите до целых.

Решение

Для решения необходимо рассчитать количество каждой из солей, затем количество ионов, образующихся при диссоциации этих солей.

Найдем молярные массы солей $M(\text{NaCl}) = 58,5$ г/моль, $M(\text{KCl}) = 74,5$ г/моль, $M(\text{CaCl}_2) = 111$ г/моль.

$$C_{\text{осм}} = \frac{n(\text{кинетически активных частиц})}{V(\text{мосмоль/л})}.$$

$n(\text{NaCl}) = X/58,5$, так как при растворении NaCl диссоциирует с образованием двух ионов, количество частиц возрастает в 2 раза.

$$n(\text{Na}^+ + \text{Cl}^-) = \frac{2X}{58,5}.$$

$$n(\text{KCl}) = \frac{Y}{74,5}; n(\text{K}^+ + \text{Cl}^-) = \frac{2Y}{74,5}.$$

$$n(\text{CaCl}_2) = \frac{Z}{111}; n(\text{Ca}^{2+} + 2\text{Cl}^-) = \frac{3Z}{111}.$$

$$C_{\text{осм}} = \left(\frac{2X}{58,5}\right) \cdot 1000 + \frac{2Y}{74,5} + \frac{3Z}{111} = \text{мосм/л}.$$

Y, Z — подставляются в мг.

Итоговый ответ зависит от исходных значений X, Y, Z.

Ответ округлите до целых. Точность ± 1 .

Формула для автоматического расчета

$$C_{\text{осм}} = \left(\frac{2X}{58,5} \right) \cdot 1000 + \frac{2Y}{74,5} + \frac{3Z}{111} = \text{мосм/л.}$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	8,4	8,8	0,05
Y	280 мг = 0,280 г	320 мг = 0,320 г	0,005
Z	230 мг = 0,230 г	270 мг = 0,270 г	0,005

Задача П.1.3.3. Фотосинтез микроводорослей (15 баллов)

Темы: биотехнологии и массообмен.

Условие

Культура микроводорослей способна выделять кислород, при этом извлекая из атмосферы CO_2 . Средний объем поглощаемого культурой газа (CO_2) составляет 5 л в сутки на 16 л биомассы. Известно, что полигон, на котором выращиваются микроводоросли, накрыт непроницаемым куполом, и в нем расположено X емкостей по Y л культуры. Рассчитайте объем CO_2 , поглощаемого за сутки при коэффициенте поглощения 0,95. Ответ дайте в л с точностью до тысячных.

Решение

$$12 \cdot 6 = 72 \text{ л;}$$

$$\frac{72}{16} = 4,5;$$

$$4,5 \cdot 5 = 22,5;$$

$$22,5 \cdot 0,95 = 21,375 \text{ л;}$$

$$\frac{12 \cdot 6}{16 \cdot 5 \cdot 0,95}.$$

Погрешность вычислений 0,025.

Формула для автоматического расчета

$$m = \frac{X \cdot Y}{16 \cdot 5 \cdot 0,95}.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X количество емкостей	12	50	1
Y объем емкости	6	300	0,5

Задача II.1.3.4. Зеленый осадок (15 баллов)

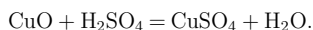
Темы: смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций.

Условие

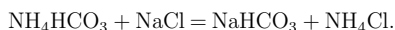
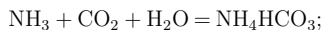
При взаимодействии веществ А и В (В было взято в избытке) происходит выпадение темно-зеленого осадка. Вещество А получили путем растворения оксида меди в серной кислоте, а вещество В — пропуская углекислый газ через холодный насыщенный аммиаком раствор хлорида натрия. Установите массу темно-зеленого осадка, если известно, что для получения веществ В использовали X л аммиака (н. у.), а количество полученного вещества В в Y раз больше необходимого для получения осадка. Ответ приведите с точностью до десятых.

Решение

Составим уравнения реакций получения веществ А и В. Для вещества А:



Условия для получения вещества В — это способ промышленного получения гидрокарбоната натрия:



Таким образом, вещество А — это сульфат меди (II), а вещество В — гидрокарбонат натрия. Тогда темно-зеленый осадок — дигидрокарбонат меди (II):



Затем установим массу выпавшего осадка. Сначала рассчитаем сколько вещества В было получено:

$$v_{\text{B}} = v_{\text{NH}_3} = \frac{V_{\text{NH}_3}}{V_m} = \frac{X}{22,4}.$$

Тогда количество вещества В вступившее в реакцию равно:

$$v_{\text{B}}^p = \frac{v_{\text{B}}}{Y} = \frac{X}{Y \cdot 22,4}.$$

Осталось рассчитать массу темно-зеленого осадка:

$$m_{\text{ос}} = v_{\text{ос}} \cdot M_{\text{ос}} = \frac{v_{\text{B}}^p \cdot M_{\text{ос}}}{4} = \frac{X \cdot 221}{4 \cdot Y \cdot 22,4}.$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений X и Y .

Погрешность 0,1.

Формула для автоматического расчета

$$\frac{X \cdot 221}{4 \cdot Y \cdot 22,4}$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	22,4	112	11,2
Y	2	10	2

Задача П.1.3.5. Кислотное число полимера (15 баллов)

Темы: массовая доля, смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций.

Условие

В рамках задачи вам предлагается ответить на три вопроса. Обратите внимание, что количественные данные в каждом вопросе независимы — если не получилось ответить на один из них, это не мешает ответить на другой.

Значительную долю полимерных материалов получают в ходе реакции поликонденсации, в ходе которой при взаимодействии молекул мономеров помимо полимера образуется низкомолекулярный побочный продукт (чаще всего — вода). Например, полиэфиры получают поликонденсацией многоатомных спиртов и многоосновных кислот или их ангидридов. К полиэфирам относится полиэтилентерефталат, из которого производят нити и волокна для задач машиностроения, химической и пищевой промышленности, транспортных и конвейерных технологий, а также, конечно, бутылки. Другой пример полиэфира — алкидные смолы, на основе которых производят более 30% мирового объема лакокрасочных материалов.

Кислотные свойства реакционной массы при поликонденсации используют для контроля процесса и количественно определяют с помощью титрования — этот метод основан на точном определении объема раствора щелочи известной концентрации, необходимого для нейтрализации раствора образца.

1. Рассчитайте массу навески гидроксида калия, которую необходимо количественно перенести в мерную колбу емкостью 500 мл и довести до метки дистиллированной водой для получения $W\%$ масс. раствора щелочи. Плотность раствора примите P г/л. Массу введите в г с точностью до сотых.

Решение

Масса раствора $m_{p-p} = \rho V$.

Масса щелочи $m_{\text{KOH}} = m_{p-p} \omega = \rho V \omega = \rho \left(\frac{r}{d}\right) \cdot \frac{500}{1000} \cdot \omega \left(\frac{\%}{100}\right) [\text{г}]$.

Погрешность вычислений 0,05.

Формула для автоматического расчета

$$0,005 \cdot P \cdot W.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
W	0,3	2	0,1
P	1000	1030	1

2. Кристаллический гидроксид калия по свойствам не является веществом, пригодным для получения точного раствора, так как при хранении взаимодействует с углекислым газом и влагой воздуха с образованием карбонатов и гидрокарбонатов. Поэтому растворением щелочи получают раствор примерной концентрации, а его точную концентрацию устанавливают с помощью титрования точным раствором кислоты, приготовленным из стандарт-титра (ампулы, содержащей точно известное количество вещества).

Определите точную концентрацию раствора щелочи, если на титрование аликвоты 25 мл раствора в присутствии индикатора метилоранжа для изменения окраски с желтой на оранжевую затрачено V мл R моль/л соляной кислоты. В ответе укажите концентрацию щелочи (моль/л) с точностью до тысячных.

Решение

Количества веществ равны $n_{\text{KOH}} = C_{\text{KOH}}V_{\text{KOH}} = n_{\text{HCl}} = C_{\text{HCl}}V_{\text{HCl}}$, откуда концентрация щелочи:

$$C_{\text{KOH}} = \frac{C_{\text{HCl}}V_{\text{HCl}}}{V_{\text{KOH}}} = \frac{C_{\text{HCl}}(\text{моль/л})V_{\text{HCl}}(\text{мл})}{10(\text{мл})} [\text{моль/л}].$$

Погрешность 0,05.

Формула для автоматического расчета

$$\frac{V \cdot R}{25}.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
V	5	15	0,1
R	1,5	2,5	0,004

3. Полиэфирную смолу получили следующим образом: в двугорлую круглодонную колбу, снабженную термометром и механической мешалкой, поместили этиленгликоль и фталевый ангидрид (мольное отношение 1 : 1). Содержимое перемешали, колбу со смесью мономеров установили на песчаную баню. Смесь нагрели до температуры 130 °С, которую поддерживали в течение 1,5 ч. По

мере нагревания исходная смесь превратилась в однородный, клейкий некристаллизующийся сироп. Затем реакционную смесь выдерживали при температуре 180 °С еще 3 ч. Сиропообразная масса при этом постепенно превратилась в вязкую смолу, которая затвердевает при охлаждении.

Для количественной характеристики степени протекания реакции применяют условный химический показатель – кислотное число. Кислотным числом (КЧ) называют массу (в мг) гидроксида калия, необходимую для нейтрализации свободных кислот, содержащихся в 1 г анализируемого вещества.

Для определения кислотного числа в коническую колбу поместили навеску m г полиэфирной смолы, прилили 25 мл нейтрализованного смеси этилового спирта и бензола для растворения. После этого пробу оттитровали L моль/л спиртовым раствором гидроксида калия с раствором фенолфталеина до появления розовой окраски. Определите кислотное число (с точностью до сотых), если на титрование затрачено V мл щелочи.

Решение

Количество вещества щелочи равно $n_{\text{кон}} = C_{\text{кон}}V_{\text{кон}}$, откуда масса щелочи:

$$m_{\text{кон}} = n_{\text{кон}}M_{\text{кон}} = 56 \cdot C_{\text{кон}}V_{\text{кон}},$$

откуда кислотное число

$$K = \frac{m_{\text{кон}} (\text{мг})}{m_{\text{пробы}} (\text{г})} = \frac{56 \cdot C_{\text{кон}} (\text{моль/л}) V_{\text{кон}} (\text{мл})}{1000} \cdot \frac{1000}{m_{\text{пробы}} (\text{г})}.$$

Погрешность 0,5.

Формула для автоматического расчета

$$56 \cdot V \cdot L / m.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
m	0,3	0,5	0,003
L	0,07	0,12	0,002
V	3,5	6,5	0,1

Задача II.1.3.6. Это просто жестъ (20 баллов)

Темы: смеси веществ, массовые доли, атомистика, расчеты по уравнениям реакций.

Условие



Своему успешному продвижению в мире **жесть** обязана созданию консервной банки. Объявленную награду 12000 франков за метод консервирования продуктов для французской армии получил француз Николя Аппер, коммерсант из Манчестера, а Питер Дюран в 1810 году впервые запатентовал идею использования жестяных банок для консервирования.

Жесть — холоднокатаная отожженная листовая сталь толщиной 0,10–0,36 мм с нанесенными защитными покрытиями из Sn или специальными покрытиями, например, Zn, Ni и др. Жесть консервная (пищевая) используется для производства тары под пищевые продукты и укупорочных изделий (крышки для закатывания, легковскрываемые крышки и пр.).

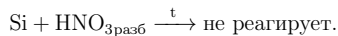
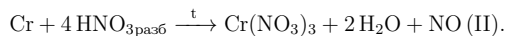
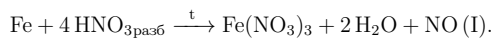
В состав сплава для изготовления тары, используемой в пищевой промышленности, входят Cr, Fe, Si и другие компоненты (с общей массовой долей 1,2%). Рассчитайте состав (%) сплава тары, если известно, что при обработке 200 г навески разбавленной азотной кислотой выделился газ, плохо растворимый в воде. Этот газ полностью прореагировал с (Q) г едкого натра с образованием другого газа, объем которого в 4 раза меньше. В данной порции содержится (Z) · 10²⁵ электронов хрома.

В ответе укажите **массовую долю железа в сплаве** (округлите до целого числа).

Справочные данные ($A_{r_{Fe}} = 56$ г/моль; $A_{r_{Cr}} = 52$ г/моль; $A_{r_{Si}} = 28$ г/моль; число Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ шт.).

Решение

Реакция 1 разбавленная азотная кислота реагирует с металлами.



$$n_{e\text{Cr}} = \frac{1,0 \cdot 10^{25}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 16,6152 \text{ моль.}$$

$$n_{\text{Cr}} = \frac{16,6152}{24} = 0,6922 \text{ моль.}$$

$$m_{\text{Cr}} = 35,9944 \text{ г.}$$

$$\omega_{\text{Cr}} = 17,9972\%.$$

NO — газ плохо растворимый в воде, но реагирующий со щелочью при комнатной температуре.



$$4n_{\text{NO}} = n_{\text{N}_2\text{O}} = 4 \text{ моль.}$$

$$n_{\text{NO}_{\text{общее}}} = n_{\text{NO}_I} + n_{\text{NO}_{II}} = n_{\text{NO}_I} + n_{\text{Cr}_{II}}.$$

$$n_{\text{NaOH}} = \frac{69,42}{40} = 1,7355 \text{ моль.}$$

$$n_{\text{Cr}} = n_{\text{NO}_{II}} = 0,6922 \text{ моль.}$$

$$n_{\text{NO}_I} = 3,471 - 0,6922 = 2,7786 \text{ моль.}$$

$$n_{\text{NO}_I} = n_{\text{Fe}} = 2,7786 \text{ моль.}$$

$$m_{\text{Fe}} = 2,7786 \cdot 56 = 155,6016 \text{ г.}$$

Расчет массовой доли металлов в сплаве:

$$\omega_{\text{Fe}} = \frac{n \cdot Ar_{\text{э}}}{m_{\text{сплава}}} \cdot 100\%.$$

$$\omega_{\text{Fe}} = 77,8008\%.$$

Ответ: $\omega_{\text{Fe}} = 78\%$. Проверка:

$$\omega_{\text{Fe}} = 1,4 \cdot Q - 19,38 \cdot Z = 1,4 \cdot 69,42 - 19,38 \cdot 1 = 77,8008.$$

$$\omega_{\text{Fe}} = 1,4 \cdot Q - 19,38 \cdot Z = 1,4 \cdot 70,42 - 19,38 \cdot 1,011 = 78,9948.$$

Погрешность ± 1 .

Итоговый ответ зависит от исходных значений Q, Z.

Формула для автоматического расчета

$$\omega_{\text{Fe}} = 1,4 \cdot Q - 19,38 \cdot Z.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
Q	69,42	70,42	0,05
Z	1,001	1,011	0,005

Задача II.1.3.7. Химию, как и любую науку, делают люди (10 баллов)

Темы: химии России.

Условие

Этот русский ботаник и биохимик работал с пигментами растений и в ходе экспериментов изобрел полноценный метод разделения каротиноидов и хлорофилла с применением органических веществ, получивший название хроматография. О каком ученом идет речь?

1. Дмитрий Иванович Менделеев.
2. Герман Иванович Гесс.
3. Михаил Семенович Цвет.
4. Александр Порфирьевич Бородин.
5. Игорь Михайлович Скурихин.
6. Александр Яковлевич Данилевский.
7. Александр Михайлович Бутлеров.
8. Иван Петрович Павлов.
9. Юрий Анатольевич Овчинников.
10. Александр Абрамович Воскресенский.

Ответ: 3.

Вторая волна. Задачи 10–11 класса**Задача II.1.4.1. Превращения металла (15 баллов)**

Темы: нахождение элемента по молярной массе, металлы и их соединения.

Условие

К сухому хлориду неизвестного металла массой X г добавили избыток раствора сульфида натрия. Произошел совместный гидролиз, причем в осадок выпало 30,2 г гидроксида неизвестного металла. Определите молярную массу неизвестного металла. В поле для ответа введите его молярную массу с точностью до целых. При округлении используйте математическое округление.

Решение

Примем молярную массу неизвестного металла за M , тогда:

$$M(\text{MeCl}_n) = M + 35,5n.$$

$$M(\text{Me}(\text{OH})_n) = M + 17n.$$

$\text{MeCl}_n \Rightarrow \text{Me}(\text{OH})_n$, соотношение хлорида и гидроксида по молям в уравнении реакции 1 к 1, тогда:

$$\frac{X}{M + 35,5n} = \frac{30,2}{M + 17n}.$$

При $n = 3$:

$$M = \frac{106,5 \cdot 30,2 - 51 \cdot X}{X - 30,2}.$$

n	1	2	3
M	23,3	46,4	69,6
Ф-ла	MCl	MCl ₂	MCl ₃
Me	–	–	Ga

Таким образом, под условие задачи подходит галлий.

Ответ: 70.

Погрешность вычислений ± 1 .

Формула для автоматического расчета

$$M = \frac{106,5 \cdot 30,2 - 51X}{X - 30,2}.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	44,01	44,1	0,01

Задача II.1.4.2. Цикл Кребса (15 баллов)

Темы: органическая химия, уравнения химических реакций, выход продукта реакции.

Условие

Цикл Кребса или цикл трикарбоновых кислот ЦТК — центральная часть общего пути катаболизма, циклический биохимический процесс, ключевой этап дыхания всех клеток, использующих кислород, центр пересечения множества метаболических путей в организме, промежуточный этап между гликолизом и электрон-транспортной цепью. Кроме значительной энергетической роли циклу отводится также и существенная пластическая функция, то есть это важный источник молекул-предшественников, из которых в ходе других биохимических превращений синтезируются важные для жизнедеятельности клеток соединения.

Органическая кислота А является участником цикла Кребса. При действии на вещество А избытка щелочи образуется вещество В, имеющее состав: 26,97% углерода, 44,94% кислорода, 25,84% натрия. Определите объем водорода (н. у.), выделяющегося при взаимодействии X г этой кислоты с металлическим натрием, при условии, что реакция протекает с выходом Y%. Ответ округлите до сотых.

Решение

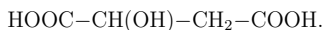
Массовая доля водорода в соединении составляет:

$$\omega(\text{H}) = 100 - 26,97 - 44,94 - 25,84 = 2,25.$$

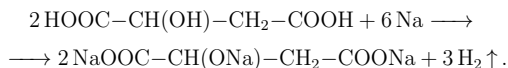
$$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) : n(\text{Na}) = \frac{26,97}{12} : \frac{2,25}{1} : \frac{44,94}{16} : \frac{25,84}{23} = \\ = 2,2475 : 2,25 : 2,8 : 1,123 = 2 : 2 : 2,5 : 1 = 4 : 4 : 5 : 2.$$

Молекулярная формула — $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_5\text{Na}_2$.

Кислота А является двухосновной, так как при действии щелочи на кислоту А в молекуле В появляется два атома натрия. В двух карбоксильных группах содержится четыре атома кислорода, следовательно, в данной кислоте присутствует еще кислородсодержащая группа —ОН. Это гидроксипентандиовая кислота, тривиальное название — яблочная кислота.



Взаимодействие яблочной кислоты с металлическим натрием можно описать схемой:



$$M(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5) = 134 \text{ г/моль.}$$

$$n(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5) = \frac{X}{134} \text{ моль.}$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{3}{2} n(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5) = 1,5 \cdot \frac{X}{134} \text{ моль.}$$

$$V(\text{H}_2) = \left(1,5 \cdot \frac{X}{134}\right) \cdot 22,4 = 0,25X \text{ л.}$$

С учетом выхода реакции

$$V(\text{H}_2) = (0,25X) \cdot \frac{Y}{100} \text{ л.}$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений X, Y.

Погрешность вычислений. Ответ округлить до сотых. Точность $\pm 0,05$.

Формула для автоматического расчета

$$V(\text{H}_2) = (0,25X) \cdot \frac{Y}{100} \text{ л.}$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	6,7	40,2	6,7
Y	70	100	5

Задача II.1.4.3. Ацетон (15 баллов)

Темы: взаимодействие веществ.

Условие

В результате физико-химических реакций при погружении в ацетон произошло набухание деталей из натурального и искусственного каучука. Рассчитайте количество ацетона в молях, при условии, что в набухании участвует весь объем ацетона. Известно, что каждая из деталей имеет вес x г в начале эксперимента. Степень набухания первой детали достигает $y\%$ по массе, а второго материала — до $z\%$ по массе. Молярная масса ацетона 58 г/моль. При расчетах примите, что x (г) — вес деталей в начале эксперимента, y (%) — степень набухания или количество растворителя в граммах, которое поглощает 1 г полимера в детали 1, z (%) — степень набухания или количество растворителя (s) в г, которое поглощает 1 г полимера в детали 2.

Ответ дайте с точностью до тысячных.

Решение

$$25 \cdot 10/100 = 2,5 \text{ г ацетона в детали 1 после набухания,}$$

$$25 \cdot 30/100 = 7,5 \text{ г ацетона в детали 2 после набухания.}$$

Молярная масса ацетона $58,08$ г/моль и поэтому количество вещества

$$(2,5 + 7,5)/58 = 0,172 \text{ моль.}$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений X, Y .

Погрешность вычислений $\pm 0,001$.

Формула для автоматического расчета

$$m = x \cdot \frac{y + z}{100 \cdot 58}.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
x	25	100	1
y	10	30	1
z	30	400	1

Задача II.1.4.4. Сжигание алкена (15 баллов)

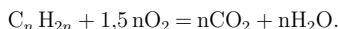
Темы: смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций.

Условие

При сжигании алкена с концевой двойной связью выделяется X л (н. у.) углекислого газа. Количество атомов углерода в молекуле алкена примите равным количеству молей выделившегося углекислого газа. Установите, какая масса этого алкена необходима, чтобы при его окислении перманганатом калия в жестких условиях выделилось Y л (н. у.) углекислого газа. Ответ приведите в г с точностью до десятых.

Решение

Установим формулу алкена:



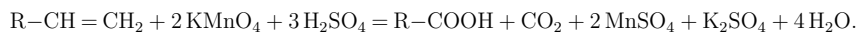
Для этого рассчитаем количество вещества углерода:

$$n = \nu_C = \nu_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}^{O_2}}{V_m} = \frac{X}{22,4}.$$

Исходя из этого можно будет молярную массу алкена вступившего в реакцию:

$$M_a = 12 \cdot n + n \cdot 2 \cdot 1 = 14 \cdot n = \frac{14 \cdot X}{22,4}.$$

Затем рассмотрим реакцию окисления:



Осталось рассчитать массу алкена:

$$m_a = \nu_a \cdot M_a = \nu_{CO_2}^{KMnO_4} \cdot M_a = \frac{V_{CO_2}^{KMnO_4} \cdot M_a}{V_m} = \frac{Y \cdot 14 \cdot X}{22,4 \cdot 22,4} = \frac{Y \cdot 14 \cdot X}{501,76}.$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений X и Y.

Погрешность вычислений 0,1.

Формула для автоматического расчета

$$\frac{X \cdot 14 \cdot Y}{501,76}.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	67,2	89,6	22,4
Y	11,2	112	11,2

Задача II.1.4.5. Кислотное число полимера (15 баллов)

Темы: массовая доля, смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций.

Условие

В рамках задачи вам предлагается ответить на три вопроса. Обратите внимание, что количественные данные в каждом вопросе независимы — если не получилось ответить на один из них, это не мешает ответить на другой.

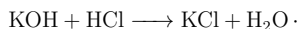
Значительную долю полимерных материалов получают в ходе реакции поликонденсации, в ходе которой при взаимодействии молекул мономеров помимо полимера образуется низкомолекулярный побочный продукт (чаще всего — вода). Например, полиэфиры получают поликонденсацией многоатомных спиртов и многоосновных кислот или их ангидридов. К полиэфирам относится полиэтилентерефталат, из которого производят нити и волокна для задач машиностроения, химической и пищевой промышленности, транспортных и конвейерных технологий, а также, конечно, бутылки. Другой пример полиэфира — алкидные смолы, на основе которых производят более 30% мирового объема лакокрасочных материалов.

Содержание кислоты в реакционной массе при поликонденсации используют для контроля процесса и количественно определяют с помощью титрования — этот метод основан на точном определении объема раствора щелочи известной концентрации, необходимого для нейтрализации раствора образца.

Кристаллический гидроксид калия по свойствам не является веществом, пригодным для получения точного раствора, так как при хранении взаимодействует с углекислым газом и влагой воздуха с образованием карбонатов и гидрокарбонатов. Поэтому растворением щелочи получают раствор примерной концентрации, а его точную концентрацию устанавливают с помощью титрования точным раствором кислоты, приготовленным из стандарт-титра (ампулы, содержащей точно известное количество вещества).

1. Определите точную концентрацию раствора щелочи, если на титрование аликвоты 25 мл раствора в присутствии индикатора метилоранжа для изменения окраски с желтой на оранжевую затрачено V мл R моль/л соляной кислоты. В ответе укажите концентрацию щелочи (моль/л) с точностью до тысячных.

Решение



Количества веществ равны

$$n_{\text{KOH}} = C_{\text{KOH}}V_{\text{KOH}} = n_{\text{HCl}} = C_{\text{HCl}}V_{\text{HCl}},$$

откуда концентрация щелочи

$$C_{\text{KOH}} = \frac{C_{\text{HCl}}V_{\text{HCl}}}{V_{\text{KOH}}} = \frac{C_{\text{HCl}} (\text{моль/л}) V_{\text{HCl}} (\text{мл})}{25 (\text{мл})} [\text{моль/л}].$$

Погрешность вычислений 0,05.

Формула для автоматического расчета

$$\frac{V \cdot R}{25}$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
V	5	15	0,1
R	1,5	2,5	0,004

2. Полиэфирную смолу получили следующим образом: в двугорлую круглодонную колбу, снабженную термометром и механической мешалкой, поместили этиленгликоль и фталевый ангидрид (мольное отношение 1 : 1). Содержимое перемешали, колбу со смесью мономеров установили на песчаную баню. Смесь нагрели до температуры 130 °С, которую поддерживали в течение 1,5 ч. По мере нагревания исходная смесь превратилась в однородный, клейкий некристаллизующийся сироп. Затем реакционную смесь выдерживали при температуре 180 °С еще 3 ч. Сиропообразная масса при этом постепенно превратилась в вязкую смолу, которая затвердевает при охлаждении.

Для контроля процесса применяют условный химический показатель – кислотное число. Кислотным числом (КЧ) называют массу (в мг) гидроксида калия, необходимую для нейтрализации свободных кислот, содержащихся в 1 г анализируемого вещества. Процесс поликонденсации продолжали до постоянства кислотного числа (кислотными свойствами обладают как фталевый ангидрид, так и полимер за счет концевых кислотных групп).

Для определения кислотного числа в коническую колбу поместили навеску m г полиэфирной смолы, прилили 25 мл нейтрализованного смеси этилового спирта и бензола для растворения. После этого пробу оттитровали L моль/л спиртовым раствором гидроксида калия с раствором фенолфталеина до появления розовой окраски. Определите кислотное число (с точностью до сотых), если на титрование затрачено V мл щелочи.

Решение

Количество вещества щелочи равно $n_{\text{кон}} = C_{\text{кон}}V_{\text{кон}}$, откуда масса щелочи $m_{\text{кон}} = n_{\text{кон}}M_{\text{кон}} = 56 \cdot C_{\text{кон}}V_{\text{кон}}$, откуда кислотное число

$$K = \frac{m_{\text{кон}} (\text{мг})}{m_{\text{пробы}} (\text{г})} = \frac{56 \cdot C_{\text{кон}} (\text{моль/л}) V_{\text{кон}} (\text{мл})}{1000} \cdot \frac{1000}{m_{\text{пробы}} (\text{г})}.$$

Погрешность 0,05.

Формула для автоматического расчета

$$\frac{56 \cdot V \cdot L}{m}.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
m	0,3	0,5	0,003
L	0,07	0,12	0,002
V	2,3	3,0	0,1

3. Определите среднюю молекулярную массу (г/моль) полиэфира, если известно, что его кислотное число составляет Z . Считайте, что исходный ангидрид в смеси не присутствует, а одна молекула полимера содержит одну кислотную карбоксильную группу; ответ приведите с точностью до целых.

Решение

Масса щелочи (мг) в 1 г образца равна кислотному числу K , откуда количество вещества щелочи равно

$$n_{\text{KOH}} = \frac{m_{\text{KOH}}}{M_{\text{KOH}}} = \frac{K}{1000 \cdot M_{\text{KOH}}}$$

Одна молекула полимера содержит одну карбоксильную группу, а значит является одноосновной, реагируя с щелочью в соотношении 1 : 1. Тогда

$$n_{\text{полимер}} = n_{\text{KOH}}, \frac{m_{\text{полимер}}}{M_{\text{полимер}}} = \frac{K}{1000 \cdot M_{\text{KOH}}},$$

откуда молярная масса составляет

$$M_{\text{полимер}} = \frac{m_{\text{полимер}} \cdot 1000 \cdot M_{\text{KOH}}}{K} = \frac{1 \cdot 1000 \cdot M_{\text{KOH}}}{K}.$$

Погрешность 0,05.

Формула для автоматического расчета

$$\frac{1}{Z/1000/56}$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
Z	20	30	0,1

Задача II.1.4.6. Этилен в народном хозяйстве (15 баллов)

Темы: органическая химия, расчеты по уравнениям, массовая доля.

Условие**Овощи и фрукты, выделяющие этилен**

Очень высокое выделение этилена		
 Яблоки		
Высокое выделение этилена		
 Авокадо	 Груши	 Абрикосы
Среднее выделение этилена		
 Помидоры	 Бананы	 Манго
 Персики	 Сливы	 Дыни

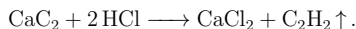
Этилен является важнейшим компонентом мировой нефтехимической промышленности, служащим основным строительным блоком для производства различных химикатов и пластмасс. Этилен также рассматривается как многофункциональный фитогормон, который регулирует процессы роста и старения в зависимости от его концентрации, сроков применения и видов растений; данный процесс в пищевой промышленности называется газация и его используют поставщики сельхозпродукции.

Этиленопродуценты — соединения, разрушение которых как раз и сопровождается выделением этилена, широко применяются в сельском хозяйстве и промышленности. Они используются для послеуборочного дозревания фруктов и овощей, с их помощью усиливается отделение латекса каучуконосных деревьев на плантациях, и др. Реакция на этилен и эффективность его воздействия индивидуальна для растений. Например, на дереве яблоки созревают постепенно. Если сорвать плоды, то исчезает ингибитор родительского дерева и прекращается подпитка влагой, а этилен образовывается в ускоренном режиме. Так яблоки созревают быстрее.

К навеске технического карбида кальция массой A г и содержащего $B\%$ инертных примесей добавили навеску карбида алюминия, перемешали и растворили в бромоводородной кислоте. При этом объем выделившегося газа составил Q л. Полученную смесь газов некоторое время пропускали над никелевым катализатором при 750°C . Затем добавляли водород до тех пор, пока смесь не стала однородной по алкену. Выход продукта составил 86% . Рассчитайте массу воды, необходимой для присоединения к этилену (ответ приведите в г и округлите до целого числа).

Решение

Реакция 1.



Объем ацетилена определим по формуле: $V = 22,4 \text{ л/моль} \cdot n$. Необходим предварительный расчет количества чистого вещества карбида кальция $n_{\text{CaC}_2} = n_{\text{C}_2\text{H}_2}$.

Если в техническом карбиде кальция содержится 18% примесей, то массовая доля чистого вещества составляет 82% .

$$n_{\text{CaC}_2 \text{ чист.}} = \frac{m(\text{смеси}) \cdot \omega(\text{CaC}_2 \text{ чист.})}{M \cdot 100\%}.$$

Пусть $n_{\text{CaC}_2 \text{ чист.}} = x$ моль и $n_{\text{Al}_4\text{C}_3} = y$ моль.

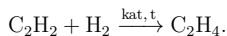
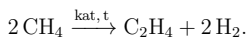
$$n_{\text{CaC}_2} = n_{\text{C}_2\text{H}_2}.$$

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{C}_2\text{H}_2} + V_{\text{CH}_4}.$$

$$3n_{\text{CH}_4} = n_{\text{Al}_4\text{C}_3}.$$

Зная мольную долю выхода продукта реакции, определим практический выход этилена:

$$n_{\text{пр. C}_2\text{H}_4} = \eta \cdot n_{\text{теор. C}_2\text{H}_4}.$$



$$n_{\text{C}_2\text{H}_4} = n_{\text{H}_2\text{O}} = n_{\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2}.$$

η -практический выход в долях.

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \left(x + \frac{3y}{2} \right) \cdot 0,86 \cdot 18.$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = (6,4 + 0,9) \cdot 0,86 \cdot 18 = 113,004 \text{ г.}$$

Ответ: 113,004. Проверка:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \left(\frac{0,5 \cdot 500 \cdot (1 - 0,01 \cdot 18)}{64} + 0,02232 \cdot 183,68 \right) \cdot 15,48 = 113,004.$$

Погрешность ± 2 .

Итоговый ответ зависит от исходных значений Q, A и B.

Формула для автоматического расчета

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \left(\frac{0,5 \cdot A \cdot (1 - 0,01B)}{64} + 0,02232 \cdot Q \right) \cdot 15,48.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
Q	157,92	183,68	0,5
A	366	500	0,5
B	16	20	0,05

Задача II.1.4.7. Химию, как и любую науку, делают люди (10 баллов)

Темы: химии России.

Условие

Более 100 лет прошло со дня смерти великого российского ученого, на могиле которого в г. Воронеже установлен памятник с надписью «Ему дано открыть ..., разделяющую молекулы, объединяющую людей». Метод, название которого в цитате скрыто, не привлек широкого внимания после публикации. Только более 20 лет спустя, уже после смерти ученого, качества его открытия были оценены по достоинству, а Нобелевскую премию за развитие и применение этой технологии получили более 10 исследователей. Сейчас указанный метод широко используется повсюду, по разным оценкам, в 60–80% всех химических исследований в мире: десятки вариантов, тысячи приборов — в производстве лекарств и пищевых продуктов, экологии, нефтедобыче, криминалистике и парфюмерии... Даже в быту, делая тест на беременность или экспресс-тест на COVID-19, мы используем его принципы. Назовите ученого.



1. Герман Иванович Гесс.
2. Алексей Евграфович Фаворский.
3. Михаил Семенович Цвет.
4. Александр Ерминингельдович Арбузов.
5. Сергей Васильевич Лебедев.
6. Александр Яковлевич Данилевский.
7. Юрий Анатольевич Овчинников.
8. Александр Абрамович Воскресенский.
9. Игорь Михайлович Скурихин.
10. Александр Михайлович Бутлеров.

Ответ: 3.

Третья волна. Задачи 8–9 класса

Задача II.1.5.1. Превращения металла (15 баллов)

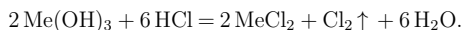
Темы: растворы, окислительно-восстановительные реакции.

Условие

Твердый гидроксид трехвалентного металла массой X г прореагировал с избытком концентрированного раствора соляной кислоты объемом 800 мл ($\rho = 1,19$ г/мл). При этом выделился газ объемом 21,28 л (н. у.) и образовался зеленый раствор соли двухвалентного металла. Найдите массовую долю соли в полученном растворе в процентах. При расчете молярную массу металла округлите до целых. Ответ округлите до десятых.

Решение

Поскольку из гидроксида трехвалентного металла образуется соль двухвалентного металла, можно сделать вывод, что протекает окислительно-восстановительная реакция. Тогда, если металл понижает степень окисления, то, наиболее вероятно, что хлорид-анионы из соляной кислоты окисляются до молекулярного хлора:



$$n(\text{Me}(\text{OH})_3) = 2n(\text{Cl}_2) = \frac{2 \cdot 21,28}{22,4}.$$

$$M(\text{Me}(\text{OH})_3) = \frac{X}{n(\text{Me}(\text{OH})_3)} = 110 \text{ г/моль}.$$

$M(\text{Me}) = 110 - 17 \cdot 3 = 59 \Rightarrow \text{Me} - \text{Ni}$, так как образуется раствор зеленого цвета.

$$m(\text{NiCl}_2) = M(\text{NiCl}_2) \cdot n(\text{NiCl}_2) = M(\text{NiCl}_2) \cdot n(\text{Ni}(\text{OH})_3) = 130 \cdot 2n(\text{Cl}_2) = \frac{260 \cdot 21,28}{22,4}.$$

$$m_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) = 800 \text{ мл} \cdot 1,19 \text{ г/мл} = 952 \text{ г}.$$

$$\omega(\text{NiCl}_2) = 100\% \cdot \frac{260 \cdot 21,28/22,4}{952 + X - 71 \cdot 21,28/22,4}.$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений X .

Погрешность вычислений ± 1 .

Формула для автоматического расчета

$$\omega(\text{NiCl}_2) = 100 \cdot \frac{260 \cdot 21,28/22,4}{952 + X - 71 \cdot 21,28/22,4}.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	209	209,9	0,1

Задача II.1.5.2. Осмолярность (15 баллов)

Темы: растворы, молярная концентрация.

Условие

В медицине в качестве плазмозамещающих средств при дегидратации различного генеза используют различные физиологические растворы. Для биологических жидкостей важным показателем является их осмотическое давление, которое определяется осмолярностью. **Осмолярность** — сумма молярных концентраций катионов, анионов и молекул неэлектролитов, т. е. всех кинетически активных частиц в 1 л раствора. Она выражается в миллиосмолях на литр (мосм/л).

Рассчитайте осмолярность раствора, приготовленного по схеме *раствора Хлосоль*: натрия хлорид — X г, калия хлорид — Y г, натрия ацетата тригидрат — Z г, вода для инъекций — до общего объема 1 л. Ответ округлите до целых.

Решение

Для решения необходимо рассчитать количество каждой из солей, затем количество ионов, образующихся при диссоциации этих солей.

Найдем молярные массы солей $M(\text{NaCl}) = 58,5$ г/моль, $M(\text{KCl}) = 74,5$ г/моль, $M(\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = 136$ г/моль.

$$C_{\text{осм}} = \frac{n(\text{кинетически активных частиц})}{V}.$$

$n(\text{NaCl}) = X/58,5$, так как при растворении NaCl диссоциирует с образованием двух ионов, количество частиц возрастает в 2 раза.

$$n(\text{Na}^+ + \text{Cl}^-) = \frac{2X}{58,5}.$$

$$n(\text{KCl}) = \frac{Y}{74,5}; n(\text{K}^+ + \text{Cl}^-) = \frac{2Y}{74,5}.$$

$$n(\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = \frac{Z}{136}; n(\text{Na}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-) = \frac{2Z}{136}.$$

$$C_{\text{осм}} = \left(\frac{2X}{58,5} + \frac{2Y}{74,5} + \frac{2Z}{136} \right) \cdot 1000 = \text{мосм/л}.$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений X, Y, Z.

Ответ округлить до целых. Точность ± 1 .

Формула для автоматического расчета

$$C_{\text{осм}} = \left(\frac{2X}{58,5} + \frac{2Y}{74,5} + \frac{2Z}{136} \right) \cdot 1000 = \text{мосм/л}.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	4,5	5	0,1
Y	1,3	1,7	0,05
Z	3,4	3,8	0,1

Задача II.1.5.3. Рыбы и химия (15 баллов)

Темы: рыбы и химические вещества.

Условие

В процессе жизнедеятельности рыб в окружающую среду выделяется NH_3 . Средний объем выделений в сутки составляет X л NH_3 (н. у.).

Рассчитайте массовую долю данного соединения, если известно, что объем воды в водоеме Y м³.

Ответ дайте, округлив до сотых.

Решение

$$\frac{205}{2000000 + 205} = 0,000102489.$$

Погрешность вычислений $\pm 0,0001$.

Формула для автоматического расчета

$$\frac{X}{X + (Y \cdot 1000)}.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	250	500	10
Y	2	10	1

Задача II.1.5.4. Симонколлеит и смитсонитот (15 баллов)

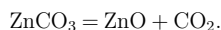
Темы: смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций.

Условие

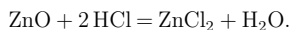
При взаимодействии веществ А и В происходит выпадение белого осадка кристаллогидрата, встречающегося в природе в форме минерала симонколлеита. Вещество А было получено путем растворения вещества В в соляной кислоте, а само вещество В получают термическим разложением основного компонента минерала смитсонита. Установите массу белого осадка кристаллогидрата, если известно, что при получении вещества В выделилось X л газа (н. у.), а количество полученного вещества В в Y раз больше необходимого для получения осадка. Ответ приведите с точностью до десятых.

Решение

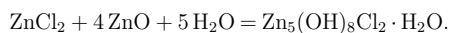
Составим уравнения реакций получения веществ А и В. Смитсонит – это минерал, основу которого составляет карбонат цинка, поэтому реакция получения В выглядит следующим образом:



Тогда вещество А – это хлорид цинка:



Теперь можно понять, что интересующий нас осадок – это моногидрат гидроксохлорида цинка:



Затем установим массу выпавшего осадка. Сначала установим сколько было получено вещества В:

$$v_B = v_{\text{CO}_2} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_m} = \frac{X}{22,4}.$$

Тогда рассчитаем количество вещества В вступившего в реакцию с А:

$$v_B^p = \frac{v_B}{Y} = \frac{X}{Y \cdot 22,4}.$$

Осталось рассчитать массу темно-зеленого осадка:

$$m_{\text{ос}} = v_{\text{ос}} \cdot M_{\text{ос}} = \frac{v_B^p \cdot M_{\text{ос}}}{4} = \frac{X \cdot 552}{4 \cdot Y \cdot 22,4}.$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений X и Y.

Погрешность 0,1.

Формула для автоматического расчета

$$\frac{X \cdot 552}{4 \cdot Y \cdot 22,4}.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	22,4	112	11,2
Y	2	10	2

Задача II.1.5.5. Кислотное число полимера (15 баллов)

Темы: массовая доля, смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций.

Условие

В рамках задачи вам предлагается ответить на три вопроса. Обратите внимание, что количественные данные в каждом вопросе независимы — если не получилось ответить на один из них, это не мешает ответить на другой.

Сополимеризация — процесс совместной полимеризации двух и более различных мономеров, приводящий к образованию полимера, содержащего звенья исходных мономеров. Например, к сополимерам относятся бутадиен-нитрильный каучук, применяемый для изготовления теплостойких резиновых изделий, и акрилонитрил-бутадиен-стирольный пластик, из которого изготавливают детали автомобилей и бытовой техники, игрушки и пластиковые карты для пропусков.

Свойства сополимера зависят от соотношения мономерных звеньев и их расположения. Состав сополимера в некоторых случаях можно контролировать по его кислотным свойствам, для анализа используют титрование — этот метод основан на точном определении объема раствора щелочи известной концентрации, необходимого для нейтрализации раствора образца.

1. Рассчитайте массу навески гидроксида калия, которую необходимо количественно перенести в мерную колбу емкостью 100 мл и довести до метки дистиллированной водой для получения W% масс. раствора щелочи. Плотность раствора примите P г/л. Массу введите в граммах с точностью до сотых.

Решение

Масса раствора $m_{p-p} = \rho V$.

Масса щелочи $m_{\text{KOH}} = m_{p-p} \omega = \rho V \omega = \rho \left(\frac{r}{x}\right) \cdot \frac{100}{1000} \cdot \omega \left(\frac{\%}{100}\right) [\text{г}]$.

Погрешность вычислений 0,05.

Формула для автоматического расчета

$$0,001 \cdot P \cdot W.$$

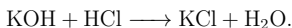
Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
W	0,3	2	0,1
P	1000	1030	1

2. Кристаллический гидроксид калия по свойствам не является веществом, пригодным для получения точного раствора, так как при хранении взаимодействует с углекислым газом и влагой воздуха с образованием карбонатов и гидрокарбонатов. Поэтому растворением щелочи получают раствор примерной концентрации, а его точную концентрацию устанавливают с помощью титрования точным раствором кислоты, приготовленным из стандарт-титра (ампулы, содержащей точно известное количество вещества).

Определите точную концентрацию раствора щелочи, если на титрование аликвоты 20,0 мл раствора в присутствии индикатора метилоранжа для изменения окраски с желтой на оранжевую затрачено V мл R моль/л соляной кислоты. В ответе укажите концентрацию щелочи (моль/л) с точностью до тысячных.

Решение



Количества веществ равны $n_{\text{KOH}} = C_{\text{KOH}} V_{\text{KOH}} = n_{\text{HCl}} = C_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}}$, откуда концентрация щелочи:

$$C_{\text{KOH}} = \frac{C_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}}}{V_{\text{KOH}}} = \frac{C_{\text{HCl}}(\text{моль/л}) V_{\text{HCl}}(\text{мл})}{20(\text{мл})} [\text{моль/л}].$$

Погрешность 0,001.

Формула для автоматического расчета

$$\frac{V \cdot R}{20}.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
V	5	15	0,1
R	1,5	2,5	0,004

3. Соплимер получили следующим образом: в пробирку поместили инициатор, стирол и метакриловую кислоту, полимеризацию вели при температуре 60 °С. Полученную сиропообразную массу медленно при перемешивании вылили в стакан с петролейным эфиром. Образовавшийся осадок отделили, промыли эфиром и высушили до постоянной массы.

Кислотное число (КЧ) — условный химический показатель, масса (в мг) гидроксида калия, необходимая для нейтрализации свободных кислот, содержащихся в 1 г анализируемого вещества.

Для определения кислотного числа в коническую колбу поместили навеску m г сополимера, прилили 25 мл нейтрализованного диоксана для растворения. После этого пробу оттитровали L моль/л спиртовым раствором гидроксида калия с раствором фенолфталеина до появления розовой окраски. Определите кислотное число (с точностью до сотых), если на титрование затрачено V мл щелочи.

Решение

Количество вещества щелочи равно $n_{\text{КОН}} = C_{\text{КОН}}V_{\text{КОН}}$, откуда масса щелочи:

$$m_{\text{КОН}} = n_{\text{КОН}}M_{\text{КОН}} = 56 \cdot C_{\text{КОН}}V_{\text{КОН}},$$

откуда кислотное число

$$K = \frac{m_{\text{КОН}} (\text{мг})}{m_{\text{пробы}} (\text{г})} = \frac{56 \cdot C_{\text{КОН}} (\text{моль/л}) V_{\text{КОН}} (\text{мл})}{1000} \cdot \frac{1000}{m_{\text{пробы}} (\text{г})}.$$

Погрешность 0,01.

Формула для автоматического расчета

$$56 \cdot (V/1000) \cdot L/m.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
m	0,3	0,5	0,003
L	0,07	0,12	0,002
V	3,5	6,5	0,1

Задача II.1.5.6. Металл будущего для здоровья (15 баллов)

Темы: смеси веществ, массовые доли, атомистика, расчеты по уравнениям реакций.

Условие



Титан — это удивительный металл, он помогает превратить мечту в реальность. Его сплавы активно используются в военной сфере, судостроении, авиастроении, медицине, ювелирном деле. Титан превосходно «сочетается» с организмом человека, проявляя «настоящее родство». Конструкции из титана безопасны для мышц и костей, гипоаллергенны, не разрушаются под воздействием жидкости в организме. Протезы из титана стойкие, выдерживают огромные физические нагрузки. Например, металлические дуги брекет-систем сделаны из сплава титана с никелем или молибденом.

Как часто случается в науке, прорывные технологии «получаются случайно». Такова была история технологии получения самого прочного сплава титана и золота и полностью биосовместимым с живыми тканями. Сплав, по факту, был получен случайно, так как изначально команда трудилась над созданием магнитного сплава из этих металлов, а в итоге сделала невероятный прорыв сразу во многих областях.

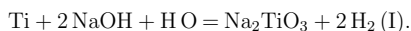
Сплав титана, золота и серебра массой 24 г обработали кипящим концентрированным раствором каустической соды. При этом выделилось 13,44 л X л газа без цвета и без запаха. Вторую навеску сплава такой же массы обработали горячей концентрированной азотной кислотой. Выделившийся газ смешали с избытком кислорода и смесь полностью поглотили 24,40% Y раствором гидроксида калия массой 279 г Z. Вычислите **массовую долю золота в сплаве** (округлите до целого числа).

Справочные данные ($A_{rTi} = 48$ г/моль; $A_{rAg} = 108$ г/моль; $A_{rAu} = 197$ г/моль; число Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹).

Решение

Au — со щелочью и азотной кислотой не реагирует.

Реакция 1.



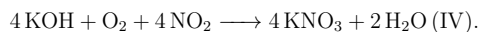
Ag — со щелочью не реагирует.

$$nH_2 = \frac{13,44 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,6 \text{ моль.}$$

$$nTi = 0,3 \text{ моль.}$$

Далее задача решается с конца.

Реакция 4.



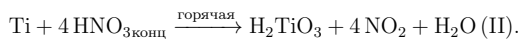
$$n\text{NO}_2 = n\text{KOH}.$$

Расчет по гидроксиду калия.

$$n\text{KOH} = \frac{0,244 \cdot 279}{56} = 1,2156 \text{ моль.}$$

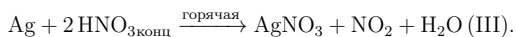
$$n\text{KOH} = n\text{NO}_2 = 1,215 \text{ моль.}$$

Реакции 2.



$$\frac{n\text{Ti}}{n\text{NO}_2} = \frac{1}{4} = \frac{0,3 \text{ моль}}{1,2 \text{ моль}}.$$

Реакции 3.



$$\frac{n\text{Ag}}{n\text{NO}_2} = \frac{1}{1} = \frac{0,0156 \text{ моль}}{0,0156 \text{ моль}}.$$

$$n\text{NO}_2 = 1,2 + 0,0156 = 1,2156 \text{ моль.}$$

Расчет массовой доли металлов в сплаве:

$$\omega_{\text{Э}} = \frac{n \cdot Ar_{\text{Э}}}{m_{\text{сплава}}} \cdot 100\%.$$

$$m_{\text{Ag}} = 0,0156 \cdot 108 = 1,685 \text{ г.}$$

$$m_{\text{Ti}} = 0,3 \cdot 48 = 14,4 \text{ г.}$$

$$m_{\text{Au}} = 24 - 14,4 - 1,685 = 7,915 \text{ г.}$$

$$\omega_{\text{Ti}} = 60,0\%.$$

$$\omega_{\text{Ag}} = 7,02\%.$$

$$\omega_{\text{Au}} = 32,98\%.$$

Ответ: $\omega_{\text{Au}} = 33\%$. Проверка:

$$\omega_{\text{Au}} = 24 + 10,444 \cdot X - 0,0193 \cdot Y \cdot Z.$$

Погрешность ± 8 .

Итоговый ответ зависит от исходных значений X, Y и Z.

Формула для автоматического расчета

$$\omega_{\text{Au}} = 24 + 10,444 \cdot X - 0,0193 \cdot Y \cdot Z.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	13,44	13,62	0,01
Y	24,4	24,6	0,01
Z	279	281	0,1

Задача II.1.5.7. Химию, как и любую науку, делают люди (10 баллов)*Темы: химии России.***Условие**

22 апреля 1915 года на фронтах первой мировой войны немцы впервые произвели газовую атаку с применением ядовитого вещества иприта или «горчичного» газа. Новое средство нападения сулило новые неудачи на фронте, серьезные осложнения в тылу. В связи с этим начались срочные работы по изысканию средств противохимической защиты.

Именно этот русский ученый-химик предложил идею применения высокопористого активированного угля для поглощения ядовитых паров и газов, примешанных к воздуху.

1. Владимир Васильевич Марковников.
2. Александр Михайлович Зайцев.
3. Михаил Григорьевич Кучеров.
4. Александр Порфирьевич Бородин.
5. Александр Николаевич Несмеянов.
6. Николай Дмитриевич Зелинский.
7. Николай Николаевич Зинин.
8. Михаил Васильевич Ломоносов.
9. Александр Михайлович Бутлеров.
10. Дмитрий Иванович Менделеев.

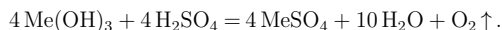
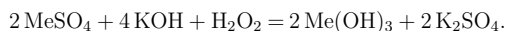
Ответ: 6.**Третья волна. Задачи 10–11 класса****Задача II.1.6.1. Цветные превращения (15 баллов)***Темы: растворы, окислительно-восстановительные реакции.*

Условие

К розовому раствору соли добавили избыток концентрированных растворов гидроксида калия и перекиси водорода и нагрели. При этом выпало X г осадка темно-коричневого цвета, а сам металл окислился до +3. Осадок отделили. К этому осадку прилили 500 мл концентрированной серной кислоты ($\rho = 1,84$ г/мл). В ходе реакции выделился газ объемом 11,2 л (н. у.) и образовался розовый раствор исходной соли. Найдите массовую долю соли в конечном растворе. Ответ дайте в процентах с точностью до десятых.

Решение

Из второй части задачи ясно, что исходная соль — сульфат. Сульфаты металлов в степени окисления +1 не окрашивают растворы, следовательно, общая формула исходной соли — MeSO_4 .



Примем молярную массу металла за M . При н. у. $V_m = 22,4$ л/моль.

$$n_{\text{газа}} = \frac{11,2}{V_m} = \frac{11,2}{22,4}.$$

$$n_{\text{осадка}} = \frac{X}{M + 173}.$$

Очевидно, что серная кислота в избытке, тогда:

$$n_{\text{соли}} = 4n_{\text{газа}} = n_{\text{осадка}}, \text{ тогда}$$

$$\frac{X}{M + 17 \cdot 3} = 4 \cdot \frac{11,2}{22,4}.$$

$$M = \frac{5,6X}{11,2} - 51 = 59.$$

Что соответствует Co .

$$M(\text{CoSO}_4) = 59 + 96 = 155 \text{ г/моль.}$$

$$m(\text{O}_2) = 32 \cdot \frac{11,2}{22,4}.$$

$$m(\text{CoSO}_4) = n_{\text{соли}} \cdot M_{\text{соли}} = 155n_{\text{соли}} = 155 \cdot 4n_{\text{газа}} = 620 \cdot \frac{11,2}{22,4}.$$

$$m_{\text{р-ра}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 500 \cdot 1,84 = 920 \text{ г.}$$

$$m_{\text{р-ра конечного}} = 920 + m(\text{Co(OH)}_3) - m(\text{O}_2) = 920 + X - 32 \cdot \frac{11,2}{22,4}.$$

$$\omega_{\text{соли}} = \frac{100\% \cdot m_{\text{соли}}}{m_{\text{р-ра конечного}}} = \frac{100\% \cdot 620 \cdot \frac{11,2}{22,4}}{920 + X - 32 \cdot \frac{11,2}{22,4}}.$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений X .

Погрешность вычислений ± 1 .

Формула для автоматического расчета

$$\omega_{\text{соли}} = \frac{100\% \cdot m_{\text{соли}}}{m_{\text{р-ра конечного}}} = \frac{62000 \cdot \frac{11,2}{22,4}}{920 + X - 32 \cdot \frac{11,2}{22,4}}$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	220	220,9	0,1

Задача П.1.6.2. Цикл Кребса (15 баллов)

Темы: органическая химия, уравнения химических реакций, выход продукта реакции.

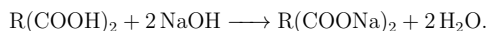
Условие

Цикл Кребса или цикл трикарбоновых кислот ЦТК — центральная часть общего пути катаболизма, циклический биохимический процесс, ключевой этап дыхания всех клеток, использующих кислород, центр пересечения множества метаболических путей в организме, промежуточный этап между гликолизом и электрон-транспортной цепью. Кроме значительной энергетической роли циклу отводится также и существенная пластическая функция, то есть это важный источник молекул-предшественников, из которых в ходе других биохимических превращений синтезируются важные для жизнедеятельности клеток соединения.

На нейтрализацию некоторого количества двухосновной карбоновой кислоты, являющейся участником цикла Кребса, потребовалось 152 мл 5%-ного раствора едкого натра (плотность 1,0538 г/мл). При сжигании такого же количества кислоты выделилось 8,96 л углекислого газа (н. у.) и 3,6 г воды. Определите массу воды, образующуюся при окислении X г этой кислоты кислым раствором перманганата калия, с учетом практического выхода реакции Y%. Ответ округлите до сотых.

Решение

Двухосновная карбоновая кислота будет взаимодействовать с едким натром (гидроксидом натрия) по схеме:



$$m(\text{р-ра NaOH}) = V \cdot \rho = 152 \text{ мл} \cdot 1,0538 \text{ г/мл} = 160 \text{ г}.$$

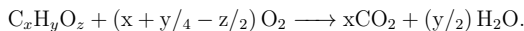
$$m(\text{NaOH}) = m(\text{р-ра NaOH}) \cdot \omega = 160 \cdot 0,05 = 8 \text{ г}.$$

$$n(\text{NaOH}) = \frac{m}{M} = \frac{8}{40} = 0,2 \text{ моль}.$$

Так как кислота двухосновная, то количество кислоты в 2 раза меньше, количества гидроксида натрия:

$$n(\text{кислоты}) = \frac{1}{2} n(\text{NaOH}) = 0,1 \text{ моль}.$$

Горение карбоновой кислоты можно выразить схемой:



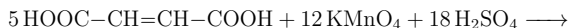
$$n(CO_2) = \frac{V}{V_m} = \frac{8,96}{22,4} = 0,4 \text{ моль}, \quad n(C) = 0,4 \text{ моль}.$$

$$n(H_2O) = \frac{m}{M} = \frac{3,6}{18} = 0,2 \text{ моль}, \quad n(H) = 0,4 \text{ моль}.$$

Так как при сгорании 0,1 моль кислоты образуется 0,4 моль CO_2 , делаем вывод, что в молекуле 4 атома углерода.

Количество атомов водорода равно количеству атомов углерода, следовательно, формула двухосновной карбоновой кислоты — $C_4H_4O_4$, что соответствует $HOOC-CH=CH-COOH$ бутендиовой кислоте, которая может быть представлена цис- или транс-изомером. В цикле Кребса участвует только транс-изомер — фумаровая кислота.

Окисление фумаровой кислоты перманганатом калия в кислой среде приводит к выделению смеси сульфатов и углекислого газа:



$$M(C_4H_4O_4) = 116 \text{ г/моль}.$$

$$n(C_4H_4O_4) = \frac{X}{116} \text{ моль}.$$

$$n(H_2O) = 28/5n(C_4H_4O_4) = 5,6 \cdot \frac{X}{116} \text{ г}.$$

$$m(H_2O) = \left(5,6 \cdot \frac{X}{116} \right) \cdot 18 = 100,8 \cdot \frac{X}{116} \text{ г}.$$

С учетом выхода реакции:

$$m(H_2O) = \left(100,8 \cdot \frac{X}{116} \right) \cdot \frac{Y}{100} \text{ (г)}.$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений X , Y .

Погрешность вычислений. Ответ округлить до сотых. Точность $\pm 0,005$.

Формула для автоматического расчета

$$m(H_2O) = \left(100,8 \cdot \frac{X}{116} \right) \cdot \frac{Y}{100} \text{ (г)}.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	2,9	17,4	2,9
Y	70	100	5

Задача II.1.6.3. Работа лаборанта (15 баллов)

Темы: аналитическая химия.

Условие

Перед лаборантом находятся 3 пробы с неизвестными веществами. Пробы порошкообразны, причем одна из них является навеской чистого металла второго по распространенности среди металлов в земной коре, вторая — многокомпонентным неорганическим веществом, кислая соль, применяемая в домашнем хозяйстве и пищевой промышленности и медицине (для нейтрализатор химических ожогов кислотами и для снижения кислотности желудочного сока), а третья — природным пищевым полимером, который получают из картофеля и кукурузы.

Известно, что при взаимодействии с CH_3COOH с одной из проб происходит бурная реакция с выделением газообразного вещества.

При взаимодействии с водой другая проба приобретает необычные физико-химические параметры и меняет вязкость.

Третья проба при контакте с водой выделяет бесцветный легкий газ и образует с веществом пробы двойной оксид, но только при высокой температуре (более 400°C).

Вычислите объем бесцветного газа, образовавшегося в ходе одной из описанных реакций и имеющего меньшую молекулярную массу, при условии, что масса продукта реакции составила Y 3248 г.

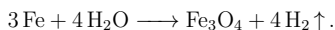
Решение

Проба 1 — сода, при взаимодействии с уксусом выделяется CO_2 .

Проба 2 — крахмал, неньютоновская жидкость.

Проба 3 — железо, при взаимодействии с водой выделяется H_2 .

Наименьшую молекулярную массу имеет H_2 , записываем реакцию и проводим расчет.



Найдем количество оксида железа(III):

$$n = \frac{m}{M}.$$

$$M(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 56 \cdot 3 + 16 \cdot 4 = 232 \text{ г/моль}.$$

$$n(\text{Fe}_3\text{O}_4) = \frac{3248}{232} = 14 \text{ моль}.$$

Найдем объем водорода:

$$V = 4n \cdot V_m.$$

$$V_m = 22,4 \text{ л/моль}.$$

$$V(\text{H}_2) = 4 \cdot 14 \cdot 22,4 = 1254,4 \text{ л}.$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений Y .

Погрешность вычислений $\pm 0,1$.

Формула для автоматического расчета

$$V = \left(\frac{Y}{232} \right) \cdot 22,4 \cdot 4.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
Y	3248	4000	2

Задача II.1.6.4. Горение алкина (15 баллов)

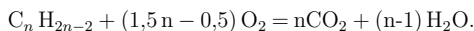
Темы: смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций.

Условие

При горении алкина выделяется X л углекислого газа (н. у.). Установите массу красного осадка, выпавшего при взаимодействии такого же количества алкина с аммиачным раствором хлорида меди (I). Количество атомов углерода в молекуле алкина примите равным количеству молей выделившегося углекислого газа. Молярную массу меди примите 64 г/моль. Ответ приведите с точностью до десятых.

Решение

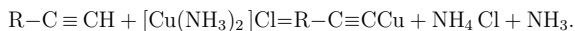
Составим уравнение реакции горения:



Установим формулу алкина, для этого найдем количество углеродов:

$$n = \nu_C = \nu_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{V_m} = \frac{X}{22,4}.$$

Составим уравнение реакции с аммиачным раствором хлорида меди (I):



Осталось найти массу осадка:

$$\begin{aligned} m_{oc} &= \nu_{oc} \cdot M_{oc} = \nu_a \cdot M_{oc} = \frac{\nu_{CO_2} \cdot M_{oc}}{n} = \frac{V_{CO_2} \cdot M_{oc}}{V_m \cdot n} = \\ &= \frac{X \cdot \left(12 \cdot \frac{X}{22,4} + 1 \cdot \left(\frac{2X}{22,4} - 3 \right) + 64 \right)}{22,4 \cdot \frac{X}{22,4}} = \frac{14 \cdot X}{22,4} + 61. \end{aligned}$$

Итоговый ответ зависит от исходных значений X.

Погрешность вычислений 0,1.

Формула для автоматического расчета

$$61 + \frac{14 \cdot X}{22,4}$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
X	67,2	112	22,4

Задача II.1.6.5. Кислотное число полимера (15 баллов)

Темы: массовая доля, смеси веществ, расчеты по уравнениям реакций.

Условие

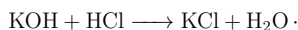
В рамках задачи вам предлагается ответить на три вопроса. Обратите внимание, что количественные данные в каждом вопросе независимы — если не получилось ответить на один из них, это не мешает ответить на другой.

Сополимеризация — процесс совместной полимеризации двух и более различных мономеров, приводящий к образованию полимера, содержащего звенья исходных мономеров. Например, к сополимерам относятся бутадиен-нитрильный каучук, применяемый для изготовления теплостойких резиновых изделий, и акрилонитрил-бутадиен-стирольный пластик, из которого изготавливают детали автомобилей и бытовой техники, игрушки и пластиковые карты для пропусков.

Свойства сополимера зависят от соотношения мономерных звеньев и их расположения. Состав сополимера в некоторых случаях можно контролировать по его кислотным свойствам, для анализа используют титрование — этот метод основан на точном определении объема раствора щелочи известной концентрации, необходимого для нейтрализации раствора образца.

Кристаллический гидроксид калия по свойствам не является веществом, пригодным для получения точного раствора, так как при хранении взаимодействует с углекислым газом и влагой воздуха с образованием карбонатов и гидрокарбонатов. Поэтому растворением щелочи получают раствор примерной концентрации, а его точную концентрацию устанавливают с помощью титрования точным раствором кислоты, приготовленным из стандарт-титра (ампулы, содержащей точно известное количество вещества).

1. Определите точную концентрацию раствора щелочи, если на титрование аликвоты 20 мл раствора в присутствии индикатора метилоранжа для изменения окраски с желтой на оранжевую затрачено V мл R моль/л соляной кислоты. В ответе укажите концентрацию щелочи (моль/л) с точностью до тысячных.

Решение

Количества веществ равны

$$n_{\text{KOH}} = C_{\text{KOH}}V_{\text{KOH}} = n_{\text{HCl}} = C_{\text{HCl}}V_{\text{HCl}},$$

откуда концентрация щелочи

$$C_{\text{KOH}} = \frac{C_{\text{HCl}}V_{\text{HCl}}}{V_{\text{KOH}}} = \frac{C_{\text{HCl}} (\text{моль/л})V_{\text{HCl}} (\text{мл})}{20 (\text{мл})} [\text{моль/л}].$$

Погрешность вычислений 0,05.

Формула для автоматического расчета

$$\frac{V \cdot R}{20}.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
V	5	15	0,1
R	0,8	1,3	0,003

2. Сополимер получили следующим образом: в пробирку поместили инициатор, стирол и метакриловую кислоту, полимеризацию вели при температуре 60 °С. Полученную сиропообразную массу медленно при перемешивании вылили в стакан с петролейным эфиром. Образовавшийся осадок отделили, промыли эфиром и высушили до постоянной массы.

Кислотное число (КЧ) — условный химический показатель, масса (в мг) гидроксида калия, необходимая для нейтрализации свободных кислот, содержащихся в 1 г анализируемого вещества.

Для определения кислотного числа в коническую колбу поместили навеску m г сополимера, прилили 25 мл нейтрализованного диоксана для растворения. После этого пробу оттитровали L моль/л спиртовым раствором гидроксида калия с раствором фенолфталеина до появления розовой окраски. Определите кислотное число (с точностью до сотых), если на титрование затрачено V мл щелочи.

Решение

Количество вещества щелочи равно $n_{\text{KOH}} = C_{\text{KOH}}V_{\text{KOH}}$, откуда масса щелочи $m_{\text{KOH}} = n_{\text{KOH}}M_{\text{KOH}} = 56 \cdot C_{\text{KOH}}V_{\text{KOH}}$, откуда кислотное число

$$K = \frac{m_{\text{KOH}} (\text{мг})}{m_{\text{пробы}} (\text{г})} = \frac{56 \cdot C_{\text{KOH}} (\text{моль/л})V_{\text{KOH}} (\text{мл})}{1000} \cdot \frac{1000}{m_{\text{пробы}} (\text{г})}.$$

Погрешность 0,05.

Формула для автоматического расчета

$$\frac{56 \cdot V \cdot L}{m}.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
m	0,5	0,8	0,002
L	0,07	0,12	0,004
V	9	17	0,1

3. Определите массовую долю (%) звеньев метакриловой кислоты, если известно, что его кислотное число составляет Z . Считайте, что кислотность полимера обусловлена только кислотными группами метакриловой кислоты; ответ приведите с точностью до сотых.

Решение

Масса щелочи (мг) в 1 г образца равна кислотному числу K , откуда количество вещества щелочи равно

$$n_{\text{KOH}} = \frac{m_{\text{KOH}}}{M_{\text{KOH}}} = \frac{K}{1000 \cdot M_{\text{KOH}}}.$$

Одно звено метакриловой кислоты содержит одну карбоксильную группу, а значит является одноосновной, реагируя с щелочью в соотношении 1 : 1. Тогда

$$n_{\text{метакрил. звено}} = n_{\text{KOH}}, \quad m_{\text{метакрил. звено}} = M_{\text{кислоты}} \frac{K}{1000 \cdot M_{\text{KOH}}},$$

откуда массовая доля составляет

$$\omega = \frac{m_{\text{метакрил. звено}}}{m_{\text{полимер}}} = M_{\text{кислоты}} \frac{K}{1000 \cdot M_{\text{KOH}}} \cdot \frac{1}{1} \cdot 100\%.$$

Погрешность 0,05.

Формула для автоматического расчета

$$\frac{\left(\frac{Z}{1000 \cdot 56}\right) \cdot 86}{1} \cdot 100.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
Z	70	140	0,1

Задача II.1.6.6. Этилен в пищевых технологиях (15 баллов)

Темы: смеси веществ, массовые доли, органическая химия, расчеты по уравнениям реакций.

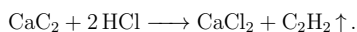
Условие

Этилен является важнейшим компонентом мировой нефтехимической промышленности, служащим основным строительным блоком для производства различных химикатов и пластмасс. Важность этилена нельзя недооценивать, поскольку он играет решающую роль в стимулировании экономического роста и инноваций во всем мире. Этилен также рассматривается как многофункциональный фитогормон, который регулирует процессы роста и старения в зависимости от его концентрации, сроков применения и видов растений. Дмитрий Николаевич Нелюбов впервые (1901 г.) отметил влияние этилена на растения в опытах с горохом — эта культура оказалась настолько чувствительной к этилену, что его стали использовать в биотестах для определения низких концентрациях этого газа. Современная пищевая промышленность использует процесс **газация** для регулирования оптимальных сроков созревания и годности овощей и фруктов.

К навеске технического карбида кальция, массой A г и содержащего $B\%$ инертных примесей, добавили навеску карбида алюминия, перемешали и растворили в соляной кислоте. При этом объем выделившегося газа составил Q л. Полученную смесь газов некоторое время пропускали над никелевым катализатором при 750°C . Затем добавляли водород до тех пор, пока смесь не стала однородной по алкену. Выход продукта составил 91% . Далее полученный этилен был использован для синтеза пищевой пленки. Рассчитайте массу **хлороводорода**, необходимого для присоединения к этилену (ответ приведите в г и округлите до целого числа).

Решение

Реакция 1.



Объем ацетилена определим по формуле: $V = 22,4 \text{ л/моль} \cdot n$. Необходим предварительный расчет количества чистого вещества карбида кальция $n_{\text{CaC}_2} = n_{\text{C}_2\text{H}_2}$.

Если в техническом карбиде кальция содержится 18% примесей, то массовая доля чистого вещества составляет 82% .

$$n_{\text{CaC}_2 \text{ чист.}} = \frac{m(\text{смеси}) \cdot \omega(\text{CaC}_2 \text{ чист.})}{M \cdot 100\%} = \frac{500 \cdot 0,80}{64} = 6,4 \text{ моль.}$$

Пусть $n_{\text{CaC}_2 \text{ чист.}} = x$ моль и $n_{\text{Al}_4\text{C}_3} = y$ моль.

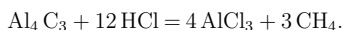
$$n_{\text{CaC}_2} = n_{\text{C}_2\text{H}_2} = 6,4 \text{ моль.}$$

$$V_{\text{C}_2\text{H}_2} = 22,4 \text{ л/моль} \cdot 6,4 \text{ моль} = 143,36 \text{ л.}$$

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{C}_2\text{H}_2} + V_{\text{CH}_4} = 143,36 + 40,32 = 183,68 \text{ л.}$$

$$V_{\text{CH}_4} = 40,32 \text{ л.}$$

$$n_{\text{CH}_4} = 1,8 \text{ моль.}$$



$$3n_{\text{CH}_4} = n_{\text{Al}_4\text{C}_3}.$$

Зная мольную долю выхода продукта реакции, определим практический выход этилена:

$$\begin{aligned}n_{\text{пр. C}_2\text{H}_4} &= \eta \cdot n_{\text{теор. C}_2\text{H}_4} \\n_{\text{пр. C}_2\text{H}_4} &= 0,91 \cdot n_{\text{теор. C}_2\text{H}_4} \\2 \text{CH}_4 &\xrightarrow{\text{kat, t}} \text{C}_2\text{H}_4 + 2 \text{H}_2 \\ \text{C}_2\text{H}_2 + \text{H}_2 &\xrightarrow{\text{kat, t}} \text{C}_2\text{H}_4 \\n_{\text{C}_2\text{H}_4(\text{общ})} &= 7,3 \text{ моль} \\n_{\text{C}_2\text{H}_4} &= n_{\text{HCl}} = n_{\text{C}_2\text{H}_7\text{Cl}}\end{aligned}$$

η -практический выход в долях.

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = (6,4 + 0,9) \cdot 0,91 \cdot 36,5 = 242,4695 = 242 \text{ г.}$$

$$m_{\text{HCl}} = \left(\frac{0,5 \cdot 500 \cdot 0,82}{64} + 0,02232 \cdot 183,68 \right) \cdot 33,215 = 242,5615 \text{ г} = 243 \text{ г.}$$

Погрешность ± 2 .

Итоговый ответ зависит от исходных значений Q, A и B.

Формула для автоматического расчета

$$m_{\text{HCl}} = \left(\frac{0,5 \cdot A \cdot (1 - 0,01B)}{64} + 0,02232 \cdot Q \right) \cdot 33,215.$$

Диапазоны

Переменная	Начальное значение	Конечное значение	Шаг
Q	157,92	183,68	0,5
A	366	500	0,5
B	16	20	0,05

Задача II.1.6.7. Химию, как и любую науку, делают люди (10 баллов)

Темы: химии России.

Условие

Русский вклад в Нобелевскую премию за маргарин: кого «забыли» иностранные производители?

Рост населения планеты опережает экономическое развитие многих стран, усугубляя вопросы обеспечения продовольствием. Поиск способа заменить сливочное масло более дешевым, а значит, доступным продуктом, привел к изобретению в XIX веке маргарина. Как технологический продукт он является совокупностью научных знаний, в том числе полученных русскими учеными.

Маргарин — пищевой жир, состоит из смеси гидрогенизированных масел (подсолнечного, кукурузного, хлопкового и др.), животных жиров, молока и вкусовых добавок (соли, сахара, витаминов и др.). Рецептурный состав твердой жировой основы для маргарина значительно колеблется в зависимости от источников растительного сырья и традиций страны. Procter&Gamble в 1909 году впервые стала производить маргарин на основе хлопкового и арахисового масла.

Назовите именную реакцию, указав фамилию русского химика, который заложил теоретические основы кинетики каталитического гидрирования и расщепления жиров.

1. Ишполит Меж-Мурье.
2. Модест Яковлевич Киттары.
3. Николай Николаевич Зинин.
4. Сергей Алексеевич Фокин.
5. Федор Федорович Эрисман.
6. Юрий Анатольевич Овчинников.
7. Александр Абрамович Воскресенский.
8. Александр Михайлович Бутлеров.
9. Михаил Михайлович Шемякин.
10. Виктор Александрович Тутьельян.

Ответ: 4.

Предметный тур. Физика

Первая волна. Задачи 8–9 класса

Задача II.2.1.1. Конвейер (13 баллов)

Темы: кинематика.

Условие

Робот-доставщик по ошибке заехал на один из концов конвейерной ленты длиной L , движущуюся с постоянной скоростью v в противоположном ее движению направлению. Продолжая двигаться с постоянной относительно ленты скоростью u , робот сумел покинуть конвейер через время t . Определите u . Ответ дайте в м/с, округлив до сотых.

Решение

Скорость робота относительно земли $v_1 = L/t$ складывается (с правильным учетом знаков) из его скорости относительно поверхности ленты и скорости ленты относительно земли:

$$\frac{L}{t} = v_1 = u - v.$$

Откуда простыми алгебраическими преобразованиями получим:

$$u = v + \frac{L}{t}.$$

Погрешность 0,02 м/с.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
L , м	19	23	1
v , м/с	1,6	1,9	0,05
t , с	150	250	10

Ответ: $u = v + \frac{L}{t}$.

Задача II.2.1.2. Выжигатель (17 баллов)

Темы: плотность, тепловые явления.

Условие

Температура кипения сплава на t выше его текущей температуры. Его удельная теплоемкость c , удельная теплота возгонки (испарения из твердого состояния) L , плотность ρ . Какой должна быть минимальная энергия E лазерного импульса, чтобы он был способен испарить кубик сплава со стороной a при условии полного поглощения энергии импульса веществом? Считайте, что импульс настолько кратковременный, что сплав не успевает пройти жидкую фазу и испаряется непосредственно из твердой. Ответ дайте в Дж, округлив до десятых.

Решение

Теплота, необходимая для нагрева и последующего испарения сплава массы m , находится по формуле:

$$Q = (ct + L)m.$$

По условиям вся энергия импульса поглощается веществом, то есть переходит в тепло. Следовательно, $E = Q$. Масса сплава может быть выражена через его плотность и объем испаренной порции: $m = \rho a^3$. Подставляя, получим:

$$E = (ct + L)\rho a^3.$$

Погрешность 0, 2 Дж.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
t , °C	2200	2700	10
c , Дж/(кг·°C)	400	500	10
L , кДж/кг	5500	7000	100
ρ , кг/м ³	6000	8000	100
a , мм	0, 6	1	0, 1

Ответ: $E = (ct + L)\rho a^3$. С учетом порядков: $E = (ct + L[\cdot 10^3])\rho a^3[\cdot 10^{-9}]$.

Задача II.2.1.3. Катушка (20 баллов)

Темы: закон Ома.

Условие

При изготовлении реостата на диэлектрическую бобину диаметром D был намотан в N одинаковых, плотно прилегающих к бобине витков, константановый провод в лаковой изоляции. Площадь поперечного сечения провода S , удельное сопротивление константана $\rho = 0,4 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$. Номинальное сопротивление резистора было вычислено и указано в паспорте устройства, исходя из этих параметров, однако от износа n последних витков проволоки перетерлось и отвалилось. Найдите максимальное значение n , при котором сопротивление реостата отличается от номинального не более, чем на ΔR .

Решение

Один виток провода имеет длину $l = \pi D$ и электрическое сопротивление:

$$r = \frac{\rho l}{S} = \frac{\pi \rho D}{S}.$$

Каждый отвалившийся виток уменьшает общее сопротивление резистора на величину r . Таким образом,

$$n = \left[\frac{\Delta R}{r} \right] = \left[\frac{\Delta R S}{\pi \rho D} \right].$$

Погрешность 1.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
D , см	3	5	0,1
S , мм ²	0,1	0,2	0,02
N	100	250	10
ΔR , Ом	3	5	0,5

Ответ: $n = \left[\frac{\Delta R S}{\pi \rho D} \right]$. С учетом порядков: $n = \left[\frac{\Delta R S}{\pi \rho D} \cdot 10^2 \right]$.

Задача II.2.1.4. Болт (20 баллов)

Темы: золотое правило механики, работа.

Условие

При болтовом соединении деталей болт немного удлиняется, работая как растянутая пружина, прижимающая детали друг к другу с некоторой описанной в технической документации силой F . Определите, какую работу A нужно совершить, чтобы растянуть болт на величину Δl и создать таким образом силу F с помощью ключа длиной L , если диаметр резьбы болта равен d , диаметр шляпки D , шаг резьбы — b ? Трение и деформацию самих соединяемых деталей считайте пренебрежимо малым. Ответ дайте в Дж, округлив до целого.

Решение

Резьба болта и гаечный ключ представляют собой простые механизмы, дающие выигрыш в силе, но не изменяющие, согласно золотому правилу механики, работу. Поэтому общая работа, которая нужна, чтобы растянуть болт, вне зависимости от способа, считается как работа переменной силы или как разность потенциальных энергий деформированного тела (болта). При этом малость деформации позволяет применить здесь закон Гука:

$$A = \frac{F \Delta l_{\text{к}}}{2} - \frac{F \Delta l_{\text{н}}}{2}.$$

Учитывая $\Delta l_{\text{н}} = 0$, получим окончательно:

$$A = \frac{F\Delta l}{2}.$$

Погрешность 1 Дж.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
F , кН	200	250	10
Δl , мм	0,25	0,35	0,01
L , см	40	70	5
d , мм	20	25	1
D , мм	30	40	1
b , мм	2	3	0,1

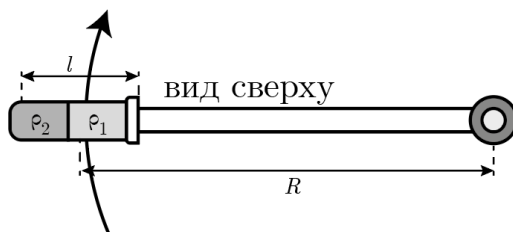
Ответ: $A = \frac{F\Delta l}{2}$.

Задача II.2.1.5. Центрифуга (25 баллов)

Темы: центростремительное ускорение, гидростатическое давление.

Условие

Для разделения жидких смесей в лаборатории используется центрифуга, представляющая собой горизонтальное колесо радиуса R , на ободе которого закрепляются пробирки с жидкостью, ориентированные дном строго от центра колеса. Найдите давление, оказываемое на дно пробирки длиной l при ее вращении в центрифуге, если пробирка совершает один оборот за время T и ровно на половину своего объема пробирка заполнена составом с плотностью ρ_1 и ровно на половину — другим составом с плотностью ρ_2 . Считайте $R \gg l$, а влияние силы тяжести пренебрежимо малым. Ответ дайте в кПа, округлив до целого. Длина окружности в 2π раз больше ее радиуса.



Решение

Линейная скорость пробирки может быть найдена по формуле $v = 2\pi R/T$, поскольку путь, проходимый пробиркой за время T , равен длине окружности с радиусом R . Соответствующее ей центростремительное ускорение a равно:

$$a = \frac{v^2}{R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}.$$

Это ускорение играет роль ускорения свободного падения в формуле гидростатического давления ρgh , что может быть доказано из условий равновесия элемента жидкости. Поскольку жидкости в пробирке две и каждая из них создает столб «высотой» $l/2$, для общего давления получим:

$$p = \frac{2\pi^2 Rl}{T^2} (\rho_1 + \rho_2).$$

Погрешность 3 кПа.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
ν , об/с	5	7	0,5
R , см	90	120	5
l , см	6	8	1
ρ_1 , кг/м ²	800	980	20
ρ_2 , кг/м ²	1020	1200	20

Ответ: $p = \frac{2\pi^2 Rl}{T^2} (\rho_1 + \rho_2)$. С учетом порядков $p = \frac{2\pi^2 Rl}{T^2} (\rho_1 + \rho_2) [\cdot 10^{-7}]$.

Задача II.2.1.6. (5 баллов)

Темы: физики России.

Условие

Этого выдающегося ученого, обучавшегося еще в технологическом институте Николая I, но удостоенного и ленинской, и сталинской премий, нередко называют родоначальником советской физики. Такие известные физики как Капица и Курчатов достигли своих выдающихся результатов под его руководством, а сам он был воспитан под руководством первооткрывателя «икс-лучей», используемых теперь в каждой поликлинике.

1. Петр Николаевич Лебедев.
2. Абрам Федорович Иоффе.
3. Николай Алексеевич Умов.
4. Александр Александрович Фридман.
5. Сергей Александрович Ахманов.

6. Рем Викторович Хохлов.
7. Владимир Александрович Фок.
8. Михаил Васильевич Остроградский.

Ответ: 2.

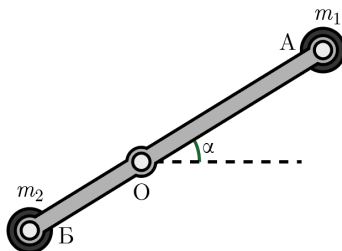
Первая волна. Задачи 10–11 класса

Задача II.2.2.1. Противовес (15 баллов)

Темы: кинематика, импульс.

Условие

Легкий рычаг АОБ, способный вращаться вокруг неподвижной точки О, где $BO = l$, $OA = 2l$ используется на производственной линии для перемещения грузов. В его точке А закреплен груз m_1 , в точке Б — противовес m_2 . В некоторый момент модуль импульса груза в точке А равен p_1 . Найдите модуль импульса противовеса в этот же момент времени. Дайте ответ в $\text{кг} \cdot \text{м/с}$, округлив до целого.



Решение

Поскольку $BO : OA = 1 : 2$, скорости двух масс всегда связаны соотношением $v_1 = 2v_2$. Тогда их импульсы связаны соотношением:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{m_2 v_2}{m_1 v_1} = \frac{m_2}{2m_1}.$$

Отсюда окончательно получим:

$$p_2 = p_1 \frac{m_2}{2m_1}.$$

Погрешность $1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
l , м	1	1,5	0,1
m_1 , кг	50	80	5
m_2 , кг	50	80	5
p_1 , кг · м/с	50	160	10

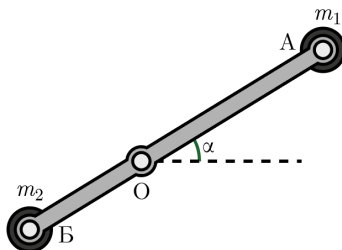
Ответ: $p_2 = p_1 \frac{m_2}{2m_1}$.

Задача II.2.2.2. Качели (20 баллов)

Темы: законы сохранения.

Условие

Легкий рычаг АОБ, способный вращаться вокруг неподвижной точки О, где $BO = l$, $OA = 2l$ используется, на производственной линии для перемещения грузов. В его точке А закреплен груз m_1 , в точке Б — противовес m_2 . В некоторый момент электропривод в точке О удерживал рычаг под углом α к горизонту. В этот момент произошла авария, в результате которой привод в точке О перестал действовать, и рычаг пришел в свободное вращение вокруг этой оси. Определите скорость v_1 точки А рычага в момент, когда она оказалась строго под точкой Б. Дайте ответ в м/с, округлив до десятых. Ускорение свободного падения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.



Решение

Поскольку $BO : OA = 1 : 2$, скорости двух масс всегда связаны соотношением $v_1 = 2v_2$. Высоты (относительно точки О), на которых находились массы в момент аварии, равны $h_{01} = 2l \sin \alpha$, $h_{02} = -l \sin \alpha$. Аналогично высоты, на которых находились массы в момент, когда точка Б оказывается строго под точкой А, равны $h_1 = -2l$, $h_2 = l$.

Тогда закон сохранения энергии для масс на концах рычага имеет вид:

$$(2m_1 - m_2)gl \sin \alpha = (m_2 - 2m_1)gl + \left(m_1 + \frac{m_2}{4}\right) \frac{v_1^2}{2}.$$

Из этого уравнения можно непосредственно выразить скорость v_1 :

$$v_1 = \sqrt{\frac{8gl(2m_1 - m_2)(1 + \sin \alpha)}{4m_1 + m_2}}.$$

Погрешность 0, 2 км/ч.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
l , м	1	1, 5	0, 1
m_1 , кг	50	80	5
m_2 , кг	50	80	5
α , °	30	70	5

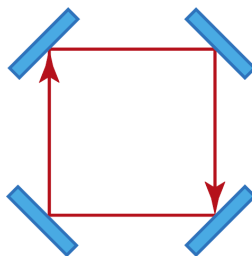
Ответ: $v_1 = \sqrt{\frac{8gl(2m_1 - m_2)(1 + \sin \alpha)}{4m_1 + m_2}}.$

Задача II.2.2.3. Резонатор (20 баллов)

Темы: оптика.

Условие

Кольцевой оптический резонатор представляет собой квадрат со стороной a , в углах которого расположены наклоненные под 45° к ходу луча зеркала. При каждом падении на зеркало $k\%$ энергии света отражается, а остальные $(100 - k)\%$ поглощаются материалом зеркала. Какая доля изначальной энергии останется у светового луча, когда он сделает N полных витков? Ответ дайте в процентах.



Решение

За один виток свет совершает 4 отражения. В ходе каждого из них его энергия изменяется в $k/(100\%)$ раз. Таким образом, общая η доля сохранившейся энергии равна:

$$\eta = \left(\frac{k}{100\%} \right)^{4N} \cdot 100\%.$$

Погрешность 1%.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
a , см	10	50	5
k	98,5	99,5	0,5
N	20	30	1

Ответ: $\eta = \left(\frac{k}{100\%} \right)^{4N} \cdot 100\%.$

Задача II.2.2.4. Спидометр (20 баллов)

Темы: кинематика.

Условие

Спидометр спутниковой системы навигации, показывая текущую скорость, на самом деле определяет ее как среднюю скорость за последние t движения. Определите мгновенную скорость аппарата, если его спидометр сейчас показывает скорость v_1 , t назад показывал скорость v_2 и известно, что аппарат движется равноускоренно. Ответ дайте в км/ч, округлив до десятых.

Решение

При равноускоренном движении на протяжении некоторого времени t с начальной скоростью v_0 и ускорением a конечная скорость оказывается равна $v = v_0 + at$, а средняя

$$v_{\text{ср}} = \frac{v_0 + v}{2} = v_0 + \frac{at}{2}.$$

При этом, поскольку по прошествии дополнительного времени t и v , и v_0 вырастет на at , средняя скорость также вырастет на at . Следовательно, ускорение аппарата может быть найдено как

$$a = \frac{v_1 - v_2}{t},$$

а его мгновенная скорость:

$$v = v_1 + \frac{at}{2} = v_1 + \frac{v_1 - v_2}{2} = \frac{3v_1 - v_2}{2}.$$

Погрешность 0,1 км/ч.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
t , с	1,5	3	0,25
v_1 , км/ч	52	56	0,5
v_2 , км/ч	47	51	0,5

Ответ: $v = \frac{3v_1 - v_2}{2}$.

Задача II.2.2.5. Разрядка (20 баллов)

Темы: электростатика.

Условие

Испытываемая в лаборатории антенна состоит из двух одинаковых металлических шаров, разнесенных на некоторое расстояние и соединенных перемычкой из материала с очень высоким, но конечным сопротивлением. В результате шары обмениваются зарядом таким образом, что за каждый интервал времени t разница между их зарядами сокращается вдвое. В некоторый момент первый шар был заряжен, а второй — нет. Спустя t было измерено, что сила электростатического взаимодействия между шарами антенны равна F_0 . Какой станет эта сила, спустя еще t времени? Явлением электростатической индукции пренебречь. Ответ дайте в нН (наноньютоны), округлив до целого.

Решение

Пусть в начальный момент времени заряженный шар имеет заряд q . Тогда, спустя t , заряды на шарах должны отличаться на $q/2$, что, по закону сохранения заряда, возможно только если их заряды будут равны $3q/4$ и $q/4$. Соответствующая сила взаимодействия находится по закону Кулона:

$$F_0 = k \frac{(q/4)(3q/4)}{r^2} = \frac{3}{16} \cdot \frac{kq^2}{r^2}.$$

Спустя еще t разница между зарядами должна оказаться равна $q/4$, а заряды, соответственно, $5q/8$ и $3q/8$. Соответствующая сила:

$$F = k \frac{(3q/8)(5q/8)}{r^2} = \frac{15}{64} \cdot \frac{kq^2}{r^2} = \frac{5}{4} F_0.$$

Погрешность 1 нН.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
t , с	5	40	1
F , нН	10	100	2

Ответ: $F = \frac{5}{4} F_0$.

Задача II.2.2.6. (5 баллов)

Темы: физики России.

Условие

Этого выдающегося ученого, обучавшегося еще в технологическом институте Николая I, но удостоенного и ленинской, и сталинской премий, нередко называют родоначальником советской физики. Такие известные физики как Капица и Курчатов достигли своих выдающихся результатов под его руководством, а сам он был воспитан под руководством первооткрывателя «икс-лучей», используемых теперь в каждой поликлинике.

1. Рем Викторович Хохлов.
2. Абрам Федорович Иоффе.
3. Владимир Александрович Фок.
4. Александр Александрович Фридман.
5. Сергей Александрович Ахманов.
6. Петр Николаевич Лебедев.
7. Николай Алексеевич Умов.
8. Михаил Васильевич Остроградский.

Ответ: 2.

Вторая волна. Задачи 8–9 класса**Задача II.2.3.1. Катапульта (10 баллов)**

Темы: кинематика.

Условие

Для запуска беспилотного летательного аппарата используется катапульта — длинная балка с установленным на ней линейным двигателем, способным создавать постоянное ускорение a . Для успешного взлета аппарат должен успеть набрать скорость v относительно воздуха до отрыва от катапульти. Вычислите минимальную необходимую длину катапульти, если взлет должен успешно осуществляться при попутном ветре со скоростью не выше u . Ответ дайте в м, округлив до десятых.

Решение

При попутном ветре скорость аппарата относительно воздуха равна $v = v_0 + u$, где v_0 — его скорость относительно катапульти. Как известно из кинематики (или законов сохранения), на расстоянии l , двигаясь с постоянным ускорением a , беспилотник может увеличить квадрат скорости на величину $v^2 = 2al_0$. Отсюда найдем изначальную длину балки:

$$l = \frac{v^2}{2a} = \frac{(v + u)^2}{2a}.$$

Погрешность 0,1 м.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
a , м/с ²	25	40	1
v , м/с	9	12	0,5
u , м/с	2	4	0,5

Ответ: $l = \frac{(v + u)^2}{2a}$.

Задача II.2.3.2. Отвердевание (15 баллов)

Темы: плотность.

Условие

Некоторый полимер был получен в жидком состоянии, в котором он целиком занимал лабораторную чашку объемом V_0 и имел плотность ρ_0 . Затем он был нагрет в специальной печи, в результате чего из состава испарились все летучие фракции общей массой Δm , а оставшееся вещество застыло, образовав твердый сгусток с плотностью ρ . Определите объем, занимаемый твердым веществом в чашке, если известно, что пустоты в процессе застывания не образуются и никакие внешние соединения не включаются в полимер. Ответ дайте в см³, округлив до целого.

Решение

Изначальная масса полимера равна $m_0 = \rho_0 V_0$. За счет испарения она уменьшилась на Δm . Процесс отвердевания не изменяет массы вещества, поэтому объем образовавшегося твердого вещества равен $V = (m_0 - \Delta m) / \rho$. Окончательно:

$$V = \frac{\rho_0 V_0 - \Delta m}{\rho}.$$

Погрешность 5 см³.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
V_0 , см ³	1200	1500	100
ρ_0 , г/см ³	0,9	1,1	0,02
ρ , г/см ³	1,4	1,7	0,02
Δm , г	100	150	10

Ответ: $V = \frac{\rho_0 V_0 - \Delta m}{\rho}$.

Задача II.2.3.3. Три образца (20 баллов)

Темы: электростатика.

Условие

В лабораторию поступило три металлических образца одинаковых размеров А, Б и В, электрически заряженных в ходе трех разных малоисследованных процессов. Лаборанты записали результаты измерений их зарядов $q_{1,2,3}$, но позже выяснилось, что процедура проведения эксперимента была нарушена и было допущено соприкосновение образцов друг с другом. В ходе анализа записей лабораторной камеры удалось установить, что вначале соприкоснулись образцы А и Б, после чего на одном из них был измерен заряд q_1 . Затем с этим образцом дополнительно соприкоснулся образец В, после чего на нем был измерен заряд q_2 . После этого все три образца соприкоснулись одновременно и на одном из них был измерен заряд q_3 . Восстановите по этим данным исходное значение заряда образца В. Считайте, что процедура измерения величины заряда на образце не меняет. Ответ дайте в нКл (нанокулонах), округлив до целого.

Решение

Когда два металлических предмета одинаковых размеров соприкасаются, на них устанавливаются одинаковые электрические заряды. По закону сохранения заряда они должны быть равны среднему арифметическому исходных зарядов.

Тогда после первого соприкосновения

$$q_1 = \frac{q_A + q_B}{2},$$

после второго

$$q_2 = \frac{q_1 + q_B}{2},$$

а после третьего

$$q_3 = \frac{q_A + q_B + q_B}{3} = \frac{2q_1 + q_B}{3}.$$

Решая эту систему уравнений, легко получим:

$$q_B = 4q_2 - 3q_3.$$

Погрешность 1 нКл.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
q_1 , нКл	-20	20	4
q_2 , нКл	-20	20	4
q_3 , нКл	-20	20	4

Ответ: $q_B = 4q_2 - 3q_3$.

Задача II.2.3.4. Топливо (25 баллов)

Темы: тепловые явления.

Условие

На некоторой планете были обнаружены залежи жидкого состава, состоящего из двух трудно разделяемых компонент. Первая из них химически инертна (не участвует ни в каких превращениях) и имеет теплоемкость c_1 . Вторая имеет теплоемкость c_2 и горит в атмосфере планеты с удельной теплотой сгорания q . Смесь воспламеняется при температуре θ , а окружающая среда планеты имеет температуру t . Определите, какую минимальную долю от общей массы смеси должна составлять масса горючей компоненты, чтобы горение смеси производило не меньше энергии, чем уходит на ее нагрев до температуры воспламенения. Ответ дайте в процентах, округлив до десятых.

Решение

Рассмотрим некоторую массу m смеси. Она содержит $m_2 = \alpha m$ горючей и $m_1 = (1 - \alpha)m$ негорючей жидкостей. Для воспламенения необходимо нагреть смесь на $\Delta t = \theta - t$, на что уйдет

$$Q_1 = (c_1 m_1 + c_2 m_2) \Delta t = m(c_1(1 - \alpha) + c_2 \alpha)(\theta - t)$$

теплоты. При этом от сгорания второй компоненты выделится $Q_2 = q m_2$ теплоты. Приравнявая Q_1 и Q_2 , получим:

$$m \alpha q = m(c_1(1 - \alpha) + c_2 \alpha)(\theta - t),$$

откуда окончательно выразим ответ:

$$\alpha = \frac{c_1(\theta - t)}{(\theta - t)(c_1 - c_2) + q} \cdot 100\%.$$

Погрешность 0,1%.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
c_1 , Дж/(кг·°C)	300	500	20
c_2 , Дж/(кг·°C)	310	510	20
q , МДж/(кг)	13	17	0,5
θ , °C	800	950	10
t , °C	-80	-50	5

Ответ: $\alpha = \frac{c_1(\theta - t)}{(\theta - t)(c_1 - c_2) + q} \cdot 100\%$.

С учетом порядков $\alpha = \frac{c_1(\theta - t)}{(\theta - t)(c_1 - c_2) + q \cdot [10^6]} \cdot 100\%$.

Задача II.2.3.5. Геккон (25 баллов)

Темы: давление, сила трения.

Условие

Робот-геккон может перемещаться по гладким вертикальным поверхностям, используя присоски. Под каждой присоской площади S при помощи системы компрессоров, откачивающих из-под присосок воздух, создается давление p , в то время как атмосферное давление $p_0 = 100$ кПа.

Какую максимальную массу может иметь такой робот, чтобы не соскальзывать с вертикальной поверхности, если он одновременно использует n одинаковых присосок (коэффициент трения резины присосок равен μ)?

Ускорение свободного падения принять равным $g = 9,8$ м/с². Ответ дайте в кг, округлив до десятых.

Решение

На каждую присоску действует прижимная сила, равная произведению ее площади на разницу внешнего и внутреннего давлений:

$$N = S(p_0 - p).$$

Возникающие в этих присосках силы трения $F_{\text{тр}} = \mu N$ должны суммарно уравновешивать вес робота:

$$mg = nF_{\text{тр}} = \mu nS(p_0 - p).$$

Таким образом, окончательно

$$m = \frac{\mu nS(p_0 - p)}{g}.$$

Погрешность 0,2 кг.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
S , см ²	10	35	2, 5
μ	0, 12	0, 25	0, 01
p , кПа	10	40	5
n	6	12	2

Ответ: $m = \frac{\mu nS(p_0 - p)}{g}$. С учетом порядков $m = \frac{\mu nS(p_0 - p)}{g} \cdot [10^{-1}]$.

Задача II.2.3.6. (5 баллов)

Темы: физики России.

Условие

Один из основателей нелинейной оптики, новой ветви науки, продемонстрировавшей, что достаточно интенсивные лучи света могут взаимодействовать друг с другом и сами с собой, фокусироваться без линзы и неожиданно менять цвет. В его честь на территории Московского университета названа улица, лаборатория, спортивный клуб и несколько учебных аудиторий. Помимо выдающихся научных достижений, он также проявил себя как талантливый организатор, способствовал развитию кооперации исследователей самых разных направлений, включая биологию и экологию, а также был профессиональным альпинистом с двадцатилетним стажем. Трагедия в одном из горных походов, к несчастью, оборвала его выдающуюся жизнь.

1. Сергей Александрович Ахманов.
2. Рем Викторович Хохлов.
3. Анатолий Алексеевич Логунов.
4. Петр Николаевич Лебедев.
5. Абрам Федорович Иоффе.
6. Александр Александрович Фридман.
7. Роберт Эмильевич Ленц.
8. Николай Алексеевич Умов.

Ответ: 2.

Вторая волна. Задачи 10–11 класса**Задача II.2.4.1. Кабель (12 баллов)**

Темы: закон Ома, сопротивление.

Условие

На мобильной исследовательской станции используются стандартные резервные кабели для большинства электроприборов, имеющие площадь поперечного сечения s и длину l . В документации кабеля указано, что при подключении к стандартному лабораторному источнику постоянного тока I падение напряжения на кабеле составляет U . Определите удельное сопротивление материала кабеля. Ответ дайте в Ом \cdot мм²/м, округлив до тысячных.

Решение

Сопротивления r кабеля питания вычисляются по формуле:

$$r = \frac{\rho l}{s}.$$

Согласно закону Ома для участка цепи $I = U/r$, оно также может быть выражено в виде:

$$\frac{\rho l}{s} = r = \frac{U}{I}.$$

Отсюда окончательно получим:

$$\rho = \frac{U_s}{Il}.$$

Погрешность $0,002 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
l , м	5	8	0,5
s , мм ²	1,6	2	0,1
I , А	1	2	0,1
U , В	0,1	0,2	0,01

Ответ: $\rho = \frac{U_s}{Il}$.

Задача II.2.4.2. Мороз (15 баллов)

Темы: закон Джоуля – Ленца.

Условие

На мобильной полярной станции вышла из строя основная система обогрева, и пришлось в срочном порядке подключать давно не использовавшуюся резервную. Резервный нагреватель представляет собой теплопроводящий корпус, защищающий катушку, на которую намотан провод длиной L и площадью поперечного сечения S , обеспечивающий эффективную конвекцию. Штатный кабель питания от нагревателя, к сожалению, был утерян, поэтому нагреватель пришлось подключить к сети при помощи стандартного резервного кабеля, имеющего площадь s и длину l . Определите отношение P_n/P_k тепловой мощности, выделяющейся в нагревателе к тепловой мощности, выделяющейся в кабеле питания, если токонесущие жилы кабеля питания и провода нагревателя изготовлены из одного вещества. Дайте ответ с точностью до сотых.

Решение

Сопротивления R нагревателя и r кабеля питания вычисляются по формулам:

$$R = \rho \frac{L}{S}; \quad r = \rho \frac{l}{s},$$

где ρ – (одинаковое в обоих случаях) удельное сопротивление. Их отношение равно

$$\frac{R}{r} = \frac{Ls}{lS}.$$

Поскольку кабель и нагреватель включены в цепь последовательно, проходящие через них силы тока равны и тепловую мощность удобно искать по закону Джоуля – Ленца:

$$P_n = I^2 R; \quad P_k = I^2 r.$$

Таким образом, окончательно

$$\frac{P_n}{P_k} = \frac{I^2 R}{I^2 r} = \frac{Ls}{lS}.$$

Погрешность 0,05.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
L , м	15	20	1
l , м	5	8	0,5
S , мм ²	2,5	3,5	0,2
s , мм ²	1,6	2	0,1

Ответ: $\frac{P_n}{P_k} = \frac{Ls}{lS}.$

Задача II.2.4.3. Стопка (20 баллов)

Темы: конденсаторы.

Условие

На тонкий полимерный лист с обеих сторон напыляется металлическое покрытие. Измерения показывают, что емкость такого конденсатора равна C_0 . Затем лист разрезают на n равных частей и складывают их в стопку. Определите емкость C такой стопки при подключении источника напряжения между самым верхним и самым нижним ее слоями. Ответ дайте в пФ (пикофарадах), округлив до целого.

Решение

Емкость плоского конденсатора задается формулой:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d},$$

поэтому при разрезании листа на n частей площадь и, соответственно, емкость C_1 каждой из этих частей, оказывается в n раз меньше исходной: $C_1 = C_0/n$.

В то же время стопка конденсаторов представляет собой цепь из n одинаковых конденсаторов, соединенных последовательно. Поскольку эффективная емкость C такой цепи может быть найдена по формуле:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_1} + \dots + \frac{1}{C_1} = \frac{n}{C_1} = \frac{n^2}{C_0},$$

получим окончательно

$$C = \frac{C_0}{n^2}.$$

Погрешность 2 пФ.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
C , нФ	2	6	0,5
n	4	10	1

Ответ: $C = \frac{C_0}{n^2}$. С учетом порядков $C = \frac{C_0}{n^2} [\cdot 10^3]$.

Задача II.2.4.4. Два колеса (23 баллов)

Темы: кинематика.

Условие

Два колеса двухколесного балансирующего робота, исследующего отдаленный астрономический объект с очень гладкой поверхностью, расположены на разных концах одной оси длиной l . Проведя сеанс связи с Землей, робот получил указание двигаться прямо и стал вращать колеса с одинаковой угловой скоростью. Однако в ходе посадки робота одно из колес было слегка повреждено, в связи с чем его радиус оказался на Δr меньше, чем радиус r другого. Найдите Δr , если известно, что вместо прямой робот начал двигаться по окружности радиуса R (измеренного по центру робота). Колеса робота не проскальзывают по поверхности, кривизна астрономического объекта пренебрежимо мала. Ответ дайте в мм, округлив до десятых.

Решение

При равных угловых скоростях ω линейные скорости колес имеют величины ωr и $\omega(r - \Delta r)$. При этом, поскольку робот движется по окружности, то за время, за которое внешнее колесо проходит дугу длиной $\alpha(R + l/2)$, внутреннее колесо проходит дугу $\alpha(R - l/2)$. Следовательно

$$\frac{\omega(r - \Delta r)}{\omega r} = \frac{R - l/2}{R + l/2}.$$

Преобразуя это выражение, получим окончательно:

$$\Delta r = \frac{2rl}{2R + l}.$$

Погрешность 0,2 мм.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
r , см	40	60	4
l , см	80	120	10
R , м	80	120	5

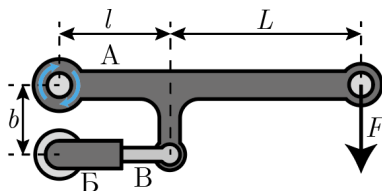
Ответ: $\Delta r = \frac{2rl}{2R+l}$. С учетом порядков $\Delta r = \frac{2rl \cdot [10^4]}{2R \cdot [10^2] + l}$.

Задача II.2.4.5. Рычаг (25 баллов)

Темы: статика, давление газа.

Условие

Подъемный рычаг А, геометрические параметры b, l, L которого изображены на рисунке, шарнирно соединен с приводящим его в движение поршнем В, входящим в цилиндр Б, внутри которого содержится идеальный газ. Пренебрегая весом самого рычага, определите избыточное (над атмосферным) давление p в цилиндре, которое необходимо для удержания нагрузки F , приложенной к концу рычага, если площадь поршня равна S . Ответ дайте в МПа, округлив до десятых.



Решение

Относительно шарнира рычага сила F имеет плечо $L+l$. Сила давления поршня равна pS и имеет плечо b . Тогда условие равновесия имеет вид:

$$bpS = (l + L)F.$$

Отсюда

$$p = \frac{(l + L)F}{bS}.$$

Погрешность 0,2 МПа.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
l , см	15	25	2
L , см	30	50	5
b , см	8	16	1
S , см ²	16	24	2
F , кН	2	3	0,5

Ответ: $p = \frac{(l + L)F}{bS}$. С учетом порядков $p = \frac{(l + L)F}{bS} [10^4]$.

Задача II.2.4.6. (5 баллов)

Темы: физики России.

Условие

Один из основателей нелинейной оптики, новой ветви науки, продемонстрировавшей, что достаточно интенсивные лучи света могут взаимодействовать друг с другом и сами с собой, фокусироваться без линзы и неожиданно менять цвет. В его честь на территории Московского университета названа улица, лаборатория, спортивный клуб и несколько учебных аудиторий. Помимо выдающихся научных достижений, он также проявил себя как талантливый организатор, способствовал развитию кооперации исследователей самых разных направлений, включая биологию и экологию, а также был профессиональным альпинистом с двадцатилетним стажем. Трагедия в одном из горных походов, оборвала его выдающуюся жизнь.

1. Сергей Александрович Ахманов.
2. Рем Викторович Хохлов.
3. Анатолий Алексеевич Логунов.
4. Петр Николаевич Лебедев.
5. Александр Александрович Фридман.
6. Николай Алексеевич Умов.
7. Абрам Федорович Иоффе.
8. Роберт Эмильевич Ленц

Ответ: 2.

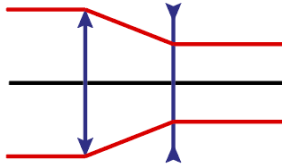
Третья волна. Задачи 8–9 класса**Задача II.2.5.1. Большой глаз (15 баллов)**

Темы: геометрическая оптика.

Условие

Первый элемент системы ночного наблюдения имеет своей целью сузить пучок параллельных лучей, собираемых с большой площади, оставив его параллельным и неперевернутым. Он состоит из двух линз: собирающей и рассеивающей с оптическими силами D_1 и D_2 соответственно, установленных друг за другом и имеющих общую оптическую ось. Найдите расстояние между линзами. Ответ дайте в см, округлив до десятых.

Напоминание: оптической силой называется величина, обратная фокусному расстоянию линзы.



Решение

Изобразим описанную в условиях задачи оптическую схему. Из рисунка несложно видеть, что для описанного хода лучей фокусы двух линз должны совпадать. Но по определению оптической силы, фокусное расстояние линзы равно

$$F = \frac{1}{D}.$$

Подставляя в эту формулу D_1, D_2 и находя разницу между соответствующими расстояниями (верно учитывая знаки), получим:

$$l = \frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2}.$$

Погрешность 0,2 см.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
D_1 , дптр	3	5	0,2
D_2 , дптр	-10	-8	0,2

Ответ: $l = \frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2}$. С учетом порядков $l = \left(\frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} \right) [\cdot 10^2]$.

Задача II.2.5.2. Атмосфера (15 баллов)

Темы: давление газа, гидростатика.

Условие

Оцените массу атмосферы, окружающей планету земного типа радиусом R , если ускорение свободного падения на ее поверхности равно g , а атмосферное давление — p_0 . Площадь сферы вычисляется по формуле $S = 4\pi R^2$. Ответ дайте в квинтлн (квинтиллионах) (10^{18}) кг, округлив до десятых.

Решение

Давление — это отношение силы к площади, перпендикулярно которой эта сила действует. В данном случае сила — общий вес атмосферы:

$$p_0 = \frac{mg}{S} = \frac{mg}{4\pi R^2}.$$

Для любой планеты земного типа толщина атмосферы пренебрежимо мала в сравнении с радиусом планеты, поэтому изменением ускорения свободного падения с высотой можно пренебречь. Получим окончательно

$$m = \frac{4\pi R^2 p_0}{g}.$$

Погрешность $0,1 \cdot 10^{15}$ т.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
p_0 , кПа	12	24	1
g , м/с ²	2	3,5	0,1
R , км	3600	4600	100

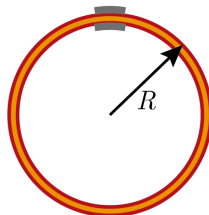
Ответ: $m = \frac{4\pi R^2 p_0}{g}$. С учетом порядков $m = \frac{4\pi R^2 p_0}{g} [\cdot 10^{-9}]$.

Задача II.2.5.3. Магниты (20 баллов)

Темы: центростремительное ускорение, динамика.

Условие

К тонкому ободу медного колеса радиусом R , расположенного в горизонтальной плоскости, снаружи и изнутри прикреплены два одинаковых маленьких магнитных датчика массой m каждый. Датчики держатся только за счет притяжения друг к другу. Колесо начинают постепенно раскручивать вокруг неподвижной оси, и в момент, когда период его вращения достигает величины T , внешний датчик отлетает от колеса. Определите силу давления внутреннего датчика на обод колеса непосредственно после этого. Ответ дайте в Н, округлив до целого. Длина окружности в 2π раз больше ее радиуса.



Решение

Внешний датчик отделяется в момент, когда сила F взаимодействия между магнитами оказывается недостаточна для того, чтобы создавать центростремительное ускорение $a = v^2/R$, где скорость v может быть найдена как отношение длины окружности к периоду обращения ($v = 2\pi R/T$):

$$F = ma = \frac{mv^2}{R} = \frac{4\pi^2}{T^2}mR.$$

Поскольку размеры датчиков и толщина колеса считаются пренебрежимо малыми, внутренний датчик продолжает двигаться с тем же ускорением, а значит, давить на колесо с той же силой F :

$$F = \frac{4\pi^2}{T^2}mR.$$

Погрешность 1 Н.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
R , см	36	45	3
m , г	200	300	20
T , с	0,3	0,5	0,05

Ответ: $F = \frac{4\pi^2}{T^2}mR$. С учетом порядков $F = \frac{4\pi^2}{T^2}mR \cdot 10^{-5}$.

Задача II.2.5.4. Пот (20 баллов)

Темы: тепловые явления, кинематика жидкости.

Условие

Для охлаждения антропоморфного робота разрабатывается система, воспроизводящая потоотделение человека. По тонким капиллярам с площадью поперечного сечения S на поверхность робота поступает вода, которая затем растекается по «коже» робота и постепенно испаряется. Определите, какой должна быть постоянная скорость v течения воды в капилляре, если один такой капилляр должен обеспечивать отведение тепловой мощности N . Считайте, что вся вода успевает испариться. Удельная теплота парообразования воды $L = 2300$ кДж/кг, ее плотность $\rho = 1000$ кг/м³. Ответ дайте в мм/с, округлив до целого.

Решение

Рассмотрим произвольный промежуток времени t . Согласно условиям, теплота Q , которую необходимо отвести от робота за это время, равна $Q = Nt$. Она может

быть определена через удельную теплоту парообразования и плотность воды как

$$Nt = Q = mL = \rho VL,$$

где объем испаренной жидкости V равен произведению расстояния d , которое прошла вода в капилляре на площадь его поперечного сечения:

$$V = dS = vtS.$$

Сопоставляя эти уравнения, получим

$$Nt = \rho vtSL,$$

откуда окончательно

$$v = \frac{N}{\rho SL}.$$

Погрешность 1 мм/с.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
N , Вт	10	20	1
S , мм ²	0,1	0,2	0,01

Ответ: $v = \frac{N}{\rho SL}$. С учетом порядков $v = \frac{N}{\rho SL} [\cdot 10^6]$.

Задача II.2.5.5. Вагончик (25 баллов)

Темы: закон Ома, кинематика.

Условие

Автоматизированный вагончик движется по двум длинным рельсам, по одному из которых на него подается, а с другого — снимается электрический ток. Каждый метр одного рельса имеет сопротивление r , а двигатели вагончика — полное сопротивление R . Источник питания подает на рельсы напряжение U_0 , а для поддержания нормальной работы двигателей напряжение на них должно быть не ниже U . За какое время, стартовав от источника и двигаясь с постоянной скоростью v , вагончик сможет уехать достаточно далеко, чтобы двигатели перестали работать? Ответ дайте в с, округлив до целых.

Решение

Общее сопротивление цепи, в которую включены двигатели вагончика, равно

$$R_0 = 2r \frac{L}{l} + R,$$

где L — расстояние до источника, $l = 1$ м. Сила тока в цепи $I = U_0/R_0$, а напряжение на двигателе $U_d = IR$ (согласно закону Ома). Подставляя $U_d = U$, $L = vt$, получим:

$$U = U_0 \frac{R}{R_0} = U_0 \frac{R}{2rvt/l + R}.$$

Решая это уравнение относительно t , получим окончательный ответ:

$$t = \frac{R(U_0 - U)}{2rvU} \cdot 1 \text{ м.}$$

Погрешность 1 мин.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
R , Ом	400	640	40
r , мОм	400	640	40
U , В	200	220	5
U_0 , В	320	360	5
v , м/с	6	8	0,5

Ответ: $t = \frac{R(U_0 - U)}{2rvU} \cdot 1 \text{ м.}$ С учетом порядков $t = \frac{R(U_0 - U)}{2rvU} \cdot [10^3]$.

Задача II.2.5.6. (5 баллов)

Темы: физики России.

Условие

Вектор, описывающий плотность потока энергии в волнах, в англоязычной традиции носит фамилию английского физика, который в 1884 году вывел выражения для данного вектора в случае электромагнитных волн. Десятью годами ранее русский физик и философ вывел аналогичные уравнения для упругих волн, а потому в русской традиции вектор носит и его имя. Помимо выдающихся успехов в теории упругости, он сделал множество значимых открытий в оптике, а также выдвинул гипотезы о качественно правильном характере связи между массой и энергией, позже развитые в знаменитую формулу Эйнштейна $E = mc^2$. Выберите из приведенного списка выдающихся физиков имя этого русского ученого.

1. Владимир Александрович Фок.
2. Николай Алексеевич Умов.
3. Михаил Васильевич Остроградский.
4. Роберт Эмильевич Ленц.
5. Петр Николаевич Лебедев.
6. Александр Александрович Фридман.
7. Анатолий Алексеевич Логунов.
8. Рем Викторович Хохлов.

Ответ: 2.

Третья волна. Задачи 10–11 класса

Задача II.2.6.1. Поглотитель (15 баллов)

Темы: тепловые явления, радиоактивность.

Условие

Быстро движущиеся нейтроны, образующиеся при делении атомных ядер, взаимодействуя с молекулами воды, теряют энергию до значений, соответствующих энергии теплового движения, которая, как правило, много меньше энергии ядерного распада. Оцените, какое число нейтронов, движущихся со скоростью v , должно потерять свою энергию в кювете с водой в виде прямоугольного параллелепипеда со сторонами a, b, d , чтобы вода в этой кювете нагрелась на $\Delta t = 1^\circ\text{C}$. Удельная теплоемкость воды $c = 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$, ее плотность $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$. Масса нейтрона $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$. Ответ дайте в квдрлн (квадриллионах) (10^{15}) штук, округлив до целого.

Решение

Один нейтрон обладает кинетической энергией $K = mv^2/2$. Поскольку эта энергия на несколько порядков величины выше характерной энергии теплового движения, которую можно оценить как $kT \approx 4 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ для комнатной температуры, можно считать, что вся его энергия передается воде. Для нагрева воды на Δt требуется энергия, равная

$$Q = cm\Delta t = c\rho abd\Delta t.$$

Приравнявая ее nK , получим ответ:

$$n = 2 \frac{c\rho abd\Delta t}{mv^2}.$$

Погрешность 3 квдрлн.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
v , км/с	10 000	20 000	1000
a , см	40	60	5
b , см	10	16	2
d , см	10	16	2

Ответ: $n = 2 \frac{c\rho abd\Delta t}{mv^2}$. С учетом порядков $n = 2 \frac{c\rho abd\Delta t}{mv^2} \cdot [10^{-24}]$.

Задача II.2.6.2. Дрейф (18 баллов)

Темы: электрический ток, МКТ.

Условие

В некотором полупроводнике концентрация подвижных электронов равна n . Какой должна быть дрейфовая (средняя) скорость электронов в элементе с площадью поперечного сечения S , изготовленном из этого полупроводника, чтобы сила электрического тока в данном сечении была равна I ? Модуль заряда электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Ответ дайте в см/с, округлив до целого.

Решение

Рассмотрим произвольный отрезок времени t . При силе тока I за это время через сечение проводника должен пройти заряд $q = It$. Этот заряд равен произведению числа N пересекающих сечение электронов на заряд одного из них e . В то же время при скорости дрейфа v в среднем за время t электроны проходят расстояние $l = vt$. Это значит, что через сечение проходят электроны, содержащиеся в объеме $V = lS = vtS$. Из определения концентрации следует, что их общее число $N = nV$. Совмещая все эти выражения, получим

$$It = q = enV = envtS,$$

откуда легко выражается ответ:

$$v = \frac{I}{Sne}.$$

Погрешность 2 см/с.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$n, 10^{18} \text{ м}^{-3}$	6	9	1
$S, \text{ мм}^2$	2, 4	3	0, 1
$I, \text{ мкА}$	1, 5	2, 5	0, 1

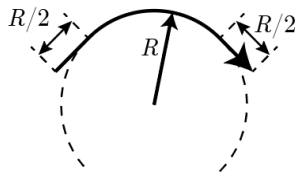
Ответ: $v = \frac{I}{Sne}$. С учетом порядков $v = \frac{I}{Sne} [-10^{-16}]$.

Задача II.2.6.3. Выраз (20 баллов)

Темы: кинематика.

Условие

Квадрокоптер может двигаться по любой траектории с условием, что его скорость ни в одной точке этой траектории не превышает v , а его ускорение не превышает a (при этом направления скорости и ускорения не имеют значения). За какое минимальное время он сможет пройти по траектории, изображенной на рисунке, состоящей из двух прямолинейных участков и четверти окружности радиуса R , если в начальной и в конечной точках коптер должен иметь строго нулевую скорость? Ответ дайте в с, округлив до десятых.



Решение

Общая длина траектории $(4 + \pi/2)R < 6R$. Однако, даже двигаясь все время с набором скорости на расстоянии $6R$ с ускорением a , строго сонаправленным со скоростью, коптер успел бы разогнаться только до

$$v_1 = \sqrt{3aR}.$$

Поскольку эта скорость меньше v , ограничения на максимальную скорость в задаче на самом деле несущественны. В то же время ограничения на скорость накладывает центростремительное ускорение, с которым коптер проходит изогнутый участок: поскольку оно не должно превышать a , скорость на повороте не может быть выше $v_1 = \sqrt{aR}$. Но из формулы

$$\frac{v_1^2 - v_0^2}{2} = al = \frac{aR}{2}$$

можно видеть, что v_1 в точности совпадает со скоростью, которую успевает набрать квадрокоптер на первом прямолинейном и сбросить на втором прямолинейном участках. Таким образом, он должен двигаться равноускоренно на двух участках длиной $R/2$, каждый из которых отнимет время

$$t_1 = \frac{v_1}{a} = \sqrt{\frac{R}{a}}$$

и равномерно на повороте, на что уйдет время

$$t_2 = \frac{\pi R}{2v_1} = \frac{\pi R}{2\sqrt{aR}} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{R}{a}}$$

В общей сложности, подобный полет займет время $t_2 + 2t_1$:

$$t = \sqrt{\frac{R}{a}} \left(2 + \frac{\pi}{2} \right).$$

Погрешность 0,2 с.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
v , м/с	20	40	2
a , м/с ²	3	4	0,2
R , м	15	20	1

Ответ: $t = \sqrt{\frac{R}{a}} \left(2 + \frac{\pi}{2} \right)$.

Задача II.2.6.4. Звездная величина (20 баллов)Темы: фотометрия, геометрическая оптика.**Условие**

Для получения качественного изображения тусклых звезд важно собрать в телескоп максимально возможную долю испущенного такой звездой излучения, что требует больших размеров основного зеркала или линзы телескопа. Яркость звезды в астрономии принято измерять в единицах видимой звездной величины (ВЗВ), увеличение ВЗВ на 1 означает уменьшение световой энергии, испускаемой звездой, в $k = \sqrt[5]{100}$ раз. При помощи телескопа-рефрактора с площадью главного зеркала s получено качественное изображение некоторой звезды. Найдите площадь S главного зеркала второго телескопа, позволяющего получить в таком же качестве изображение звезды, ВЗВ которой больше на n единиц. Ответ дайте в см^2 , округлив до целого.

Решение

Полная мощность светового потока, попадающего в объектив телескопа, определяется как произведение площади S этого объектива на плотность этого потока I . Увеличение видимой звездной величины на n единиц означает уменьшение плотности светового потока в k^n раз. Следовательно, для компенсации этого изменения площадь объектива должна быть в k^n раз увеличена:

$$\frac{S}{s} = k^n.$$

Отсюда

$$S = sk^n = 100^{n/5}s.$$

Погрешность 5 см^2 .**Диапазоны**

Величина	min	max	Шаг
$s, \text{ см}^2$	20	50	10
n	2	5	1

Ответ: $S = sk^n = 100^{n/5}s$.**Задача II.2.6.5. Большая линза (22 баллов)**Темы: фотометрия, масса и плотность.**Условие**

Яркость звезды принято измерять в единицах видимой звездной величины (ВЗВ), одна единица которой означает изменение световой энергии, испускаемой звездой,

в $k = \sqrt[3]{100}$ раз. Определите, какой массы линзу объектива телескопа-рефрактора пришлось бы использовать при сохранении пропорций и материала линзы, чтобы получить изображение некоторой тусклой звезды в таком же качестве, как было получено изображение на n единиц ВЗВ более яркой звезды при помощи телескопа с объективом, масса которого составляла m . Ответ дайте в т, округлив до десятых.

Решение

Как и в предыдущей задаче, площадь объектива должна быть в k^n раз увеличена. Это требует изменения радиуса объектива в $\sqrt{k^n} = k^{n/2}$ раз. Но при сохранении пропорций объем любого тела и, следовательно, масса такого объектива должны измениться пропорционально кубу радиуса:

$$M = mk^{3n/2}.$$

Погрешность 0, 1 т.

Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
m , г	100	200	20
n	7	9	1

Ответ: $vM = k^{3n/2}m = 100^{0,3n}m$. С учетом порядков $M = 100^{0,3n}m \cdot 10^{-6}$.

Задача II.2.6.6. (5 баллов)

Темы: физики России.

Условие

Вектор, описывающий плотность потока энергии в волнах, в англоязычной традиции носит фамилию английского физика, который в 1884 году вывел выражения для данного вектора в случае электромагнитных волн. Десятью годами ранее русский физик и философ вывел аналогичные уравнения для упругих волн, а потому в русской традиции вектор носит и его имя. Помимо выдающихся успехов в теории упругости, он сделал множество значимых открытий в оптике, а также выдвинул гипотезы о качественно правильном характере связи между массой и энергией, позже развитые в знаменитую формулу Эйнштейна $E = mc^2$. Выберите из приведенного списка выдающихся физиков имя этого русского ученого.

1. Владимир Александрович Фок.
2. Александр Александрович Фридман.
3. Рем Викторович Хохлов.
4. Николай Алексеевич Умов.
5. Михаил Васильевич Остроградский.
6. Роберт Эмильевич Ленц.

7. Петр Николаевич Лебедев.
8. Анатолий Алексеевич Логунов.

Ответ: 4.

Инженерный тур

Данный пакет задач позволяет ближе познакомиться с понятием «тераностики», узнать больше о магнитных наночастицах, их свойствах и синтезе.

Для знакомства с понятием тераностика прочитайте обзорные статьи «Тераностика: 3 в 1 современной медицины» (<https://medach.pro/post/3017>) и «Обзор по молекулярной тераностике» и ответьте на ряд вопросов: <https://disk.yandex.ru/i/ZwvDd-kwJTziNQ>.

Задача II.3.1. (3 балла)

Темы: тераностика, наночастицы.

Условие

Выберите, какие утверждения относятся к понятию «тераностика»:

1. тераностика — это комплекс решений для диагностики, визуализации и терапии с помощью одного и того же вещества;
2. прецизионная медицина объединяет официальную научно-обоснованную классическую медицину и последние открытия исследователей;
3. прецизионная медицина нацелена на поиск клинико-диагностических решений с учетом индивидуальных генетических и метаболических особенностей пациента;
4. персонализированная медицина нацелена на поиск клинико-диагностических решений с учетом индивидуальных генетических и метаболических особенностей пациента;
5. персонализированная медицина объединяет официальную научно-обоснованную классическую медицину и последние открытия исследователей.
6. тераностика основана на диагностике заболевания путем сбора анамнеза и изучении клинических симптомов.

Ответ: 1, 2, 4.

Задача II.3.2. (3 балла)

Темы: тераностика, наночастицы.

Условие

Соотнесите тип изучения и задачу, которую можно решить его применением.

1. Гамма-лучи	А. Визуализация опухолей
2. Бета-частицы	В. Терапия опухолей и метастазов большого и среднего размера
3. Альфа-частицы	С. Терапия онкогематологических заболеваний и микрометастазов

Ответ: 1 – А, 2 – В, 3 – С.

Задача II.3.3. (3 балла)

Темы: тераностика, наночастицы.

Условие

Выберите, какие биомаркеры можно изучать методом молекулярной тераностики:

1. углеводы;
2. полисахариды;
3. белки;
4. днк;
5. липиды;
6. атипичные клетки.

Ответ: 3, 4, 6

Задача II.3.4. (3 балла)

Темы: тераностика, наночастицы.

Условие

Выберите, в каких областях биомедицины активно используется молекулярная тераностика:

1. диагностика онкологических заболеваний;
2. диагностика инфекционных заболеваний;
3. контроль терапии онкологических заболеваний;
4. контроль терапии инфекционных заболеваний;
5. контроль терапии сердечно-сосудистых заболеваний.

Ответ: 1, 2, 3, 4, 5.

Задача II.3.5. (3 балла)

Темы: тераностика, наночастицы.

Условие

Заполните пропуски в тексте:

«Тераностика сочетает в себе два основных понятия — терапия и _____¹. Это новое направление в медицине позволяет проводить одновременное _____² и уничтожение патогенных и потенциально угрожающих в кровотоке агентов. Современным направлением в тераностике является — _____³, предназначенная для определения электрических, оптических, биологических и магнитных свойств наряду с контрастирующими агентами. Наиболее часто в клинике используются органические и полимерные наночастицы, так как металлические наночастицы обладают плохой растворимостью в воде, низкой _____⁴ и потенциальной _____⁵. Исключение составляют наночастицы магнетита, маггемита и гематита. В организме человека наложен _____⁶ железа, и такие наночастицы не будут для него токсичны».

Расставьте слова из списка:

- A. определение;
- B. диагностика;
- C. метаболизм;
- D. стабильность;
- E. нанотераностика;
- F. токсичность.

Ответ: 1 — B, 2 — A, 3 — E, 4 — D, 5 — F, 6 — C.

Для знакомства с наночастицами изучите разделы 1.1 — 1.3, 1.5, 2.1 — 2.3 и 3.2 курса «Наноструктурные средства доставки лекарственных веществ» <https://stepik.org/course/49565/syllabus> и ответьте на ряд вопросов.

Задача II.3.6. (3 балла)

Темы: наноразмерные системы, наночастицы.

Условие

Выберите, что из перечисленного является характеристикой наночастиц:

1. жидкофазный объект;
2. твердофазный объект;
3. нет четкой границы с окружающей средой;
4. есть четкая граница с окружающей средой;
5. размер составляет от 1 до 1000 нм;
6. размер составляет от 1 до 1000 мкм.

Ответ: 2, 4, 5.

Задача II.3.7. (4 балла)

Темы: наноразмерные системы, наночастицы.

Условие

Соотнесите прибор и его характеристику.

1. Сканирующий зондовый микроскоп	A. Может изучать только поверхности металлов или полупроводников
2. Атомно-силовой микроскоп	B. Относительно новый класс микроскопов, основан на сканировании поверхности зондом
3. Сканирующий туннельный микроскоп	C. Определяет рельеф поверхности с разрешением от десятков ангстрем вплоть до атомарного (и даже субатомарного)
4. Электронный микроскоп	D. Принцип работы основан на том, что из него исходит электронный пучок разной энергии

Ответ: 1 – A, 2 – B, 3 – C, 4 – D.

Задача II.3.8. (3 балла)

Темы: наноразмерные системы, наночастицы.

Условие

Выберите, что может выполнять функцию адресного лиганда для направленной доставки наночастиц в раковые клетки:

1. углеводы;
2. липиды;
3. белки;
4. пептиды;
5. частицы металлов.

Ответ: 1, 4, 5.

Задача II.3.9. (3 балла)

Темы: наноразмерные системы, наночастицы.

Условие

Выберите, из чего могут состоять магнитные наночастицы:

1. оксид железа;
2. никель;
3. оксид алюминия;
4. феррит магния;
5. хлорид цинка;
6. платинакобальт;
7. самарийпентакобальт.

Ответ: 1, 2, 4, 6, 7.

Задача II.3.10. (4 балла)

Темы: наноразмерные системы, наночастицы.

Условие

Соотнесите соединение и наночастицу на его основе.

1. Углерод	A. Квантовая точка
2. Лизофосфолипид	B. Липосома
3. Декстран	C. Магнетит
4. Селенид кадмия	D. Дендример
5. Оксид железа	E. Фуллерен
6. Углерод	F. Углеродные нанотрубки

Ответ: 1 – E, 2 – B, 3 – D, 4 – A, 5 – C, 6 – F.

Для знакомства с методами синтеза магнитных наночастиц прочитайте обзорную статью «Методы синтеза магнитных жидкостей» авторы: Новопашин С.А. и др. https://disk.yandex.ru/i/NAKM_b9PP1W04Q и ответьте на ряд вопросов.

Задача II.3.11. (9 баллов)

Темы: магнитные наночастицы, методы получения, коллоидная химия.

Условие

Соотнесите методы получения магнитных наночастиц с фазой, в которой происходит процесс их образования (согласно классификации в статье).

	Жидкофазный синтез	Газофазный синтез	Твердофазный синтез
Соосаждение			
Термическое разложение			
Химическое восстановление			
Гидротермический метод			
Микроволновой метод			
Лазерный пиролиз			
Газофазное осаждение			
Метод отжига			

Ответ.

	Жидкофазный синтез	Газофазный синтез	Твердофазный синтез
Соосаждение	+		
Термическое разложение	+		

	Жидкофазный синтез	Газофазный синтез	Твердофазный синтез
Химическое восстановление	+		
Гидротермический метод	+		
Микроволновой метод	+		
Лазерный пиролиз		+	
Газофазное осаждение		+	
Метод отжига			+

Задача П.3.12. (3 балла)

Темы: магнитные наночастицы, методы получения, коллоидная химия.

Условие

Выберите факторы, влияющие на размер частиц Fe_2O_3 при использовании метода химического соосаждения:

1. соотношение солей двухвалентного и трехвалентного железа;
2. давление;
3. температура раствора;
4. pH ;
5. выбор неполярного растворителя.

Ответ: 1, 3, 4.

Задача П.3.13. (6 баллов)

Темы: магнитные наночастицы, методы получения, коллоидная химия.

Условие

Соотнесите метод получения магнитных наночастиц с соответствующим определением.

1. Метод химического соосаждения	А. Нагрев движущей смеси газов непрерывным CO_2 -лазером для иницирования и поддержания химической реакции до достижения критической концентрации в реакционной зоне с последующей нуклеацией и образованием частиц
2. Гидротермический (гидротермальный) метод	В. Термическое разложение предшественников, содержащих соответствующие металлы, часто проводят в высококипящих некоординирующих растворителях в присутствии стабилизирующих веществ
3. Метод микроэмульсий	С. Метод разложения предшественников, содержащих соответствующие металлы под действием ультразвука

4. Термолиз	D. Метод получения наночастиц в виде масляных мицелл, диспергированных в воде или обратных водных мицелл, диспергированных в масле
5. Сонолиз	E. Метод гидролиза солей в водных растворах или многоатомных спиртов при нагревании и высоком давлении
6. Лазерный пиролиз	F. Метод осаждения солей Fe^{2+} и Fe^{3+} в водной среде в присутствии щелочи или аммиака

Ответ: 1 — F, 2 — E, 3 — D, 4 — B, 5 — C, 6 — A.

Для получения магнитных наночастиц необходимо иметь методику или протокол. Такие методики можно найти в экспериментальных научных статьях.

Структура научных статей рассмотрена здесь <https://disk.yandex.ru/i/Ua64DhYobpAwAQ>.

Ознакомьтесь с экспериментальной статьей <https://disk.yandex.ru/i/3AmJ0Rr6bVUkvw>.

Задача II.3.14. (50 баллов)

Темы: магнитные наночастицы, расчетная задача, химия.

Условие

Вы запланировали получить магнитные наночастицы в виде порошка согласно методикам, рассмотренным в статье (экспериментальная часть).

Рассчитайте необходимые загрузки для получения первого и второго видов нанопорошков оксидов железа (первой и второй методики).

1. Сколько необходимо кристаллогидрата $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ для приготовления 100 мл раствора FeCl_2 в концентрации указанной в методике? Ответ дайте в г в виде числа, округленного до десятых.
2. Сколько необходимо кристаллогидрата $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ для приготовления 100 мл раствора FeCl_2 в концентрации, указанной в методике? Ответ дайте в г в виде числа, округленного до десятых.
3. У вас есть концентрированный раствор аммиака (ГОСТ 24147-80). Во сколько раз необходимо разбавить концентрированный раствор для получения нанопорошка по первой методике? Ответ дайте в виде целого безразмерного числа.
4. У вас есть концентрированный раствор аммиака (ГОСТ 24147-80). Во сколько раз необходимо разбавить концентрированный раствор для получения нанопорошка по второй методике? Ответ дайте в виде целого безразмерного числа.
5. Вам необходимо по первой или второй методике смешать растворы FeCl_2 и FeCl_3 . Какой объем раствора FeCl_3 необходимо добавить к 20 мл раствора FeCl_2 ? Ответ дайте в мл в виде числа с точностью до целых.

Ответ: 1 — 9,9; 2 — 13,5; 3 — 2; 4 — 4; 5 — 40.

Работа наставника НТО на втором отборочном этапе

На втором отборочном этапе участникам предлагаются индивидуальные и командные задачи в рамках выбранных профилей. Для подготовки к нему наставник может использовать следующие рекомендуемые форматы и мероприятия:

- Подготовка по образовательным программам НТО по ряду технологических направлений.
- Разбор задач второго отборочного этапа НТО прошлых лет.
- Прохождение онлайн-курсов по разбору задач НТО прошлых лет.
- Прохождение онлайн-курсов, рекомендованных разработчиками профилей.
- Разбор материалов для подготовки к профилям.
- Практикумы. Для организации практикумов возможно использовать разные подходы или их комбинации:
 - Проведение практикумов по описаниям на страницах профилей и материалов для подготовки.
 - Декомпозиция задач заключительных этапов прошлых лет для выделения наиболее актуальных элементов и их изучения.
 - Анализ технических знаний и навыков (hard skills), требуемых для конкретного профиля, и самостоятельная разработка или поиск занятия для развития наиболее актуальных из них.
 - Посещение практикумов на площадках подготовки и онлайн-мероприятий от разработчиков профилей. Объявления о таких мероприятиях публикуются в группах НТО в VK и в телеграм-канале для наставников НТО (https://t.me/kruzhok_association).

Второй отборочный этап

Заключительный этап предполагает получение магнитных наночастиц на основе оксидов железа с гидрофобной оболочкой. Их поверхность необходимо модифицировать лигандами для адресной доставки в клетки-мишени, которые могут использоваться в качестве платформы для тераностических агентов. Включенные во второй этап задачи позволяют участниками ближе познакомиться с процессом синтеза и модификации магнитных наночастиц, а также физико-химическими методами их анализа.

Для успешного решения задач в команде должны быть химик-синтетик, физик-исследователь и биолог-исследователь. Химик-синтетик обрабатывает методики синтеза и модификации магнитных наночастиц, грамотно анализируя статьи. Физик-исследователь владеет основными методами анализа наночастиц. Биолог-исследователь направляет команду и осуществляет грамотный подбор лиганда для таргетной доставки.

Синтез магнитных наночастиц

Задача IV.1.1. Подбор условий синтеза: температура синтеза (5 баллов)

Темы: синтез наночастиц.

Условие

Ознакомившись со статьей по влиянию условий синтеза на размер наночастиц магнетита, полученных высокотемпературным восстановительным гидролизом: <https://disk.yandex.ru/i/jPbc3Bag0mVtVw>, ответьте на следующий вопрос: какая температура синтеза необходима для получения магнитных наночастиц сферической формы размером 120 нм? Ответ приведите в виде целого числа в °С.

Ответ: 175.

Задача IV.1.2. Подбор условий синтеза: выбор осадителя (5 баллов)

Темы: синтез наночастиц.

Условие

Ознакомившись со статьей по влиянию условий синтеза на размер наночастиц магнетита, полученных высокотемпературным восстановительным гидролизом (<https://disk.yandex.ru/i/jPbc3Bag0mVtVw>), ответьте на следующий вопрос: какой осадитель необходим для получения магнитных наночастиц сферической формы

размером 120 нм? Ответ приведите в виде названия соединения. Например, аскорбат калия.

Ответ: ацетат натрия.

Задача IV.1.3. Подбор условий синтеза: концентрация прекурсора (5 баллов)

Темы: синтез наночастиц.

Условие

Ознакомившись со статьей по влиянию условий синтеза на размер наночастиц магнетита, полученных высокотемпературным восстановительным гидролизом (<https://disk.yandex.ru/i/jPbc3Bag0mVtVw>), ответьте на следующий вопрос: какая концентрация необходима для получения магнитных наночастиц сферической формы размером 120 нм? Ответ приведите в виде числа с точность до трех знаков после запятой в моль/л.

Ответ: 0,075.

Задача IV.1.4. Расчет концентрации магнитных наночастиц (30 баллов)

Темы: синтез наночастиц.

Условие

Ознакомившись со статьями по влиянию условий синтеза на размер наночастиц магнетита, полученных высокотемпературным восстановительным гидролизом (<https://disk.yandex.ru/i/jPbc3Bag0mVtVw>) и механизмом образования магнитных наночастиц в описанных условиях (<https://disk.yandex.ru/i/rJEJWimtaMi0Qg>), рассчитайте молярную концентрацию полученных сферических наночастиц размером 120 нм, если известно, что их масса составляет 10 г, а добавка воды была 3% от объема исходного раствора.

Для расчета воспользуйтесь данными задач выше. Выход всех реакций примите равным 100%. Все расчеты проводите с точностью до четвертого знака после запятой. Расчеты объемов проводите в мл. Ответ представьте в виде числа с точностью до трех знаков после запятой в моль/л.

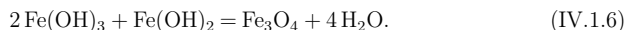
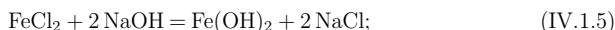
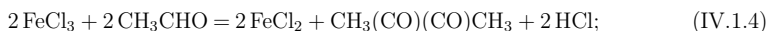
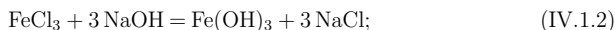
Справочные данные:

- $M(\text{FeCl}_3) = 162,2$ г/моль;
- $M(\text{H}_2\text{O}) = 18,0$ г/моль;
- $M(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}) = 62,1$ г/моль;
- $M(\text{ПЭГ } 400) = 400$ г/моль;
- $M(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 231,5$ г/моль;
- $M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60,1$ г/моль;

- $M(\text{CH}_3(\text{CO})(\text{CO})\text{CH}_3) = 86,1 \text{ г/моль}$;
- $\rho(\text{H}_2\text{O}) = 1,00 \text{ г/мл}$;
- $\rho(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}) = 1,11 \text{ г/мл}$;
- $\rho(\text{ПЭГ 400}) = 1,13 \text{ г/мл}$;
- $\rho(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,5 \text{ г/мл}$;
- $\rho(\text{CH}_3(\text{CO})(\text{CO})\text{CH}_3) = 0,99 \text{ г/мл}$.

Решение

Для начала составим все уравнения реакций:



Опираясь на уравнение (IV.1.6), можно рассчитать количества вещества гидроксидов железа (II) и (III). Так:

$$n(\text{Fe}_3\text{O}_4) = \frac{m(\text{Fe}_3\text{O}_4)}{M(\text{Fe}_3\text{O}_4)} = \frac{10}{231,5} = 0,0432 \text{ моль}.$$

Тогда:

$$n(\text{Fe}(\text{OH})_2) = n(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 0,0432 \text{ моль},$$

$$n(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 2 \cdot n(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 2 \cdot 0,0432 = 0,0864 \text{ моль}.$$

Теперь по уравнению (IV.1.2) рассчитаем массу хлорида железа (III) необходимого для образования гидроксида железа (III):

$$m_1(\text{FeCl}_3) = n_1(\text{FeCl}_3) \cdot M(\text{FeCl}_3) = n(\text{Fe}(\text{OH})_3) \cdot M(\text{FeCl}_3) = 0,0864 \cdot 162,2 = 14,0141 \text{ г}.$$

По уравнениям (IV.1.4) и (IV.1.5) рассчитаем массу хлорида железа (III) необходимого для образования гидроксида железа (II):

$$\begin{aligned} m_2(\text{FeCl}_3) &= n_2(\text{FeCl}_3) \cdot M(\text{FeCl}_3) = n(\text{FeCl}_2) \cdot M(\text{FeCl}_3) = n(\text{Fe}(\text{OH})_2) \cdot M(\text{FeCl}_3) = \\ &= 0,432 \cdot 162,2 = 7,0070 \text{ г}. \end{aligned}$$

Тогда масса исходного хлорида железа (III) равна:

$$m(\text{FeCl}_3) = m_1(\text{FeCl}_3) + m_2(\text{FeCl}_3) = 14,0141 + 7,0070 = 21,0211 \text{ г}.$$

А его количество вещества:

$$n(\text{FeCl}_3) = \frac{m(\text{FeCl}_3)}{M(\text{FeCl}_3)} = \frac{21,0211}{162,2} = 0,1296 \text{ моль}.$$

Для получения частиц размером 120 нм молярная концентрация прекурсора составляет 0,075 моль/л, тогда объем исходного раствора равен:

$$V(\text{исх}) = \frac{n(\text{FeCl}_3)}{C(\text{FeCl}_3)} = \frac{0,1296 \cdot 1000}{0,075} = 1728,0000 \text{ мл.}$$

В состав исходного раствора входят: этиленгликоль, вода из солей кристаллогидратов, добавка воды (3% об.) и ПЭГ 400.

Определим объемы всех компонентов:

Из методики в статье известно, что добавка ПЭГ 400 в 10 раз по молям меньше, чем содержание хлорида железа (III), тогда:

$$n(\text{ПЭГ 400}) = \frac{n(\text{FeCl}_3)}{10} = \frac{0,1296}{10} = 0,0130 \text{ моль,}$$

следовательно:

$$V(\text{ПЭГ 400}) = \frac{n(\text{ПЭГ 400}) \cdot M(\text{ПЭГ 400})}{\rho(\text{ПЭГ 400})} = \frac{0,0130 \cdot 400}{1,13} = 4,6847 \text{ мл.}$$

Добавка воды составляет 3% от объема раствора, тогда:

$$V_{\text{доб.}}(\text{H}_2\text{O}) = \frac{3\% \cdot V(\text{исх})}{100\%} = \frac{3\% \cdot 1728,0000}{100\%} = 51,8400 \text{ мл.}$$

Рассчитаем объем воды, который появился в системе при добавлении кристаллогидратов:

$$\begin{aligned} V_{\text{жел.}}(\text{H}_2\text{O}) &= \frac{n_{\text{жел.}}(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{6 \cdot n(\text{FeCl}_3) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \\ &= \frac{6 \cdot 0,1296 \cdot 18,0}{1,00} = 13,9968 \text{ мл.} \end{aligned}$$

Из методики известно, что ацетата натрия по молям в девять раз больше, тогда:

$$\begin{aligned} V_{\text{ан.}}(\text{H}_2\text{O}) &= \frac{n_{\text{ан.}}(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{3 \cdot n(\text{CH}_3\text{COONa}) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \\ &= 3 \cdot 9 \cdot n(\text{FeCl}_3) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) / \rho(\text{H}_2\text{O}) = \frac{3 \cdot 9 \cdot 0,1296 \cdot 18,0}{1,00} = 62,9856 \text{ мл.} \end{aligned}$$

Суммарный объем воды из кристаллогидратов равен:

$$V_{\text{кр.}}(\text{H}_2\text{O}) = V_{\text{жел.}}(\text{H}_2\text{O}) + V_{\text{ан.}}(\text{H}_2\text{O}) = 13,9968 + 62,9856 = 76,9824 \text{ мл.}$$

Теперь можно установить объем этиленгликоля в исходном растворе:

$$\begin{aligned} V_{\text{исх.}}(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}) &= V(\text{исх}) - V(\text{ПЭГ 400}) - V_{\text{доб.}}(\text{H}_2\text{O}) - V_{\text{кр.}}(\text{H}_2\text{O}) = \\ &= 1798,0000 - 4,6847 - 51,8400 - 76,9824 = 1594,4929 \text{ мл.} \end{aligned}$$

На следующем этапе нужно установить объем всех компонентов в конечном растворе, в состав которого входят: этиленгликоль, вода, диэтил, уксусная кислота и ПЭГ 400.

Для начала разберемся, как изменился объем воды в системе.

Часть воды потрачилась на генерацию гидроксида натрия (уравнение (IV.1.1)):

$$\begin{aligned} V_{\text{гидрок.}}(\text{H}_2\text{O}) &= \frac{n_{\text{гидрок.}}(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{n(\text{CH}_3\text{COONa}) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \\ &= \frac{9 \cdot n(\text{FeCl}_3) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{9 \cdot 0,1296 \cdot 18,0}{1,00} = 20,9952 \text{ мл.} \end{aligned}$$

Однако входе ряда взаимодействий происходит дополнительное образование воды. Так, по уравнению (IV.1.3) при окислении этиленгликоля образуется вода. Установим ее объем по уравнениям (IV.1.3), (IV.1.4) и (IV.1.5):

$$\begin{aligned} V_{\text{вг.}}(\text{H}_2\text{O}) &= \frac{n_{\text{вг.}}(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{n(\text{CH}_3\text{CHO}) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{n(\text{FeCl}_3) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \\ &= \frac{n(\text{FeCl}_2) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{n(\text{Fe}(\text{OH})_2) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0,0432 \cdot 18,0}{1,00} = 0,7776 \text{ мл.} \end{aligned}$$

Также вода образуется при получении наночастиц железа (уравнение (IV.1.6)):

$$\begin{aligned} V_{\text{нч.}}(\text{H}_2\text{O}) &= \frac{n_{\text{нч.}}(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{4 \cdot n(\text{Fe}(\text{OH})_2) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \\ &= \frac{4 \cdot 0,0432 \cdot 18,0}{1,00} = 3,1104 \text{ мл.} \end{aligned}$$

Затем рассчитаем количество вещества гидроксида натрия, затраченного на получение гидроксидов железа (II) и (III) (уравнения (IV.1.2) и (IV.1.6)):

$$\begin{aligned} n(\text{NaOH}) &= n_{\text{гж2}}(\text{NaOH}) + n_{\text{гж3}}(\text{NaOH}) = 3 \cdot n(\text{Fe}(\text{OH})_3) + 2 \cdot n(\text{Fe}(\text{OH})_2) = \\ &= 3 \cdot 0,0864 + 2 \cdot 0,0432 = 0,3456 \text{ моль.} \end{aligned}$$

По уравнению (IV.1.1) найдем количество вещества гидроксида натрия в начале синтеза:

$$n_{\text{исх.}}(\text{NaOH}) = n(\text{CH}_3\text{COONa}) = 9 \cdot n(\text{FeCl}_3) = 9 \cdot 0,1296 = 1,1664 \text{ моль.}$$

Тогда в системе осталось:

$$n_{\text{ост.}}(\text{NaOH}) = n_{\text{исх.}}(\text{NaOH}) - n(\text{NaOH}) = 1,1664 - 0,3456 = 0,8208 \text{ моль.}$$

В ходе синтеза происходит образование уксусной кислоты (IV.1.1) и соляной кислоты (IV.1.4), таким образом оставшийся гидроксид натрия их нейтрализует с образованием воды.

Первой нейтрализуется более сильная соляная кислота:

$$\begin{aligned} V_{\text{сол.}}(\text{H}_2\text{O}) &= \frac{n_{\text{сол.}}(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{n(\text{FeCl}_2) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{n(\text{Fe}(\text{OH})_2) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \\ &= \frac{0,0432 \cdot 18,0}{1,00} = 0,7776 \text{ мл.} \end{aligned}$$

Определим, какое количество гидроксида натрия осталось после нейтрализации соляной кислоты:

$$\begin{aligned} n_{\text{пн}}(\text{NaOH}) &= n_{\text{ост.}}(\text{NaOH}) - n_{\text{нейтр.}}(\text{NaOH}) = n_{\text{ост.}}(\text{NaOH}) - n(\text{HCl}) = \\ &= n_{\text{ост.}}(\text{NaOH}) - n(\text{FeCl}_2) = n_{\text{ост.}}(\text{NaOH}) - n(\text{Fe}(\text{OH})_2) = 0,8208 - 0,0432 = 0,7776 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Это количество нейтрализует часть уксусной кислоты. Установим, сколько в системе осталось уксусной кислоты и образовалось воды:

$$\begin{aligned} V_{\text{ост.}}(\text{CH}_3\text{COOH}) &= \frac{n_{\text{ост.}}(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot M(\text{CH}_3\text{COOH})}{\rho(\text{CH}_3\text{COOH})} = \\ &= n(\text{CH}_3\text{COOH}) - \frac{n_{\text{нейтр.}}(\text{CH}_3\text{COOH})M(\text{CH}_3\text{COOH})}{\rho(\text{CH}_3\text{COOH})} = \\ &= \frac{(n(\text{CH}_3\text{COOH}) - n_{\text{пн}}(\text{NaOH}))M(\text{CH}_3\text{COOH})}{\rho(\text{CH}_3\text{COOH})} = \\ &= \frac{(n(\text{CH}_3\text{COOH}) - n_{\text{пн}}(\text{NaOH}))M(\text{CH}_3\text{COOH})}{\rho(\text{CH}_3\text{COOH})} = \\ &= \frac{(9 \cdot n(\text{FeCl}_3) - n_{\text{пн}}(\text{NaOH}))M(\text{CH}_3\text{COOH})}{\rho(\text{CH}_3\text{COOH})} = \\ &= \frac{(9 \cdot 0,1296 - 0,7776) \cdot 60,1}{1,05} = 22,2542 \text{ мл.} \\ V_{\text{н.ук}}(\text{H}_2\text{O}) &= \frac{n_{\text{н.ук}}(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{n_{\text{пн}}(\text{NaOH}) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \\ &= \frac{0,7776 \cdot 18,0}{1,00} = 13,9968 \text{ мл.} \end{aligned}$$

Тогда общее количество воды в конечном растворе равно:

$$\begin{aligned} V_{\text{кон.}}(\text{H}_2\text{O}) &= V_{\text{доб.}}(\text{H}_2\text{O}) + V_{\text{кр.}}(\text{H}_2\text{O}) - V_{\text{гидрок.}}(\text{H}_2\text{O}) + V_{\text{эп.}}(\text{H}_2\text{O}) + V_{\text{пч.}}(\text{H}_2\text{O}) + V_{\text{сол.}}(\text{H}_2\text{O}) + \\ &+ V_{\text{н.ук}}(\text{H}_2\text{O}) = 51,8400 + 76,9824 - 20,9952 + 0,7776 + 3,1104 + 13,9968 = 124,7120 \text{ мл.} \end{aligned}$$

Количество ПЭГ 400 в системе осталось прежним.

Рассчитаем количество в системе диацетила:

$$\begin{aligned} V(\text{CH}_3(\text{CO})(\text{CO})\text{CH}_3) &= \frac{n(\text{CH}_3(\text{CO})(\text{CO})\text{CH}_3) \cdot M(\text{CH}_3(\text{CO})(\text{CO})\text{CH}_3)}{\rho(\text{CH}_3(\text{CO})(\text{CO})\text{CH}_3)} = \\ &= \frac{n(\text{FeCl}_2) \cdot M(\text{CH}_3(\text{CO})(\text{CO})\text{CH}_3)}{\rho(\text{CH}_3(\text{CO})(\text{CO})\text{CH}_3)} = \\ &= \frac{n(\text{Fe}(\text{OH})_2) \cdot M(\text{CH}_3(\text{CO})(\text{CO})\text{CH}_3)}{\rho(\text{CH}_3(\text{CO})(\text{CO})\text{CH}_3)} = \frac{0,0432 \cdot 86,1}{0,99} = 3,7571 \text{ мл.} \end{aligned}$$

Осталось определить количество этиленгликоля в конечном растворе:

$$\begin{aligned} V(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}) &= V_{\text{исх.}}(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}) - V_{\text{п}}(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}) = \\ &= V_{\text{исх.}}(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}) - \frac{n(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}) \cdot M(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH})}{\rho(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH})} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= V_{\text{исх.}}(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}) - \frac{n(\text{FeCl}_2) \cdot M(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH})}{\rho(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH})} = \\
&= V_{\text{исх.}}(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}) - \frac{n(\text{Fe}(\text{OH})_2) \cdot M(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH})}{\rho(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH})} = \\
&= 1594,4929 - \frac{0,0432 \cdot 62,1}{1,11} = 1592,0762 \text{ мл.}
\end{aligned}$$

Найдем объем конечного раствора:

$$\begin{aligned}
V_{\text{кон.}} &= V(\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}) + V_{\text{кон.}}(\text{H}_2\text{O}) + V_{\text{ост}}(\text{CH}_3\text{COOH}) + \\
&\quad + V(\text{CH}_3(\text{CO})(\text{CO})\text{CH}_3) + V(\text{ПЭГ } 400) = \\
&= 1592,0762 + 124,7120 + 22,2542 + 3,7571 + 4,6847 = 1747,4842 \text{ мл.}
\end{aligned}$$

Осталось рассчитать молярную концентрацию:

$$C = \frac{n(\text{Fe}_3\text{O}_4)}{V_{\text{кон.}}} = \frac{0,0432 \cdot 1000}{1747,4842} = 0,025 \text{ моль/л.}$$

Ответ: 0,025.

Задача IV.1.5. Определение размера наночастиц (20 баллов)

Темы: анализ физико-химических свойств наночастиц.

Условие

Ознакомившись с методом динамического светорассеяния (<https://disk.yandex.ru/i/ThLjd8YN14uS7A>), определите по экспериментальным данным (https://disk.yandex.ru/i/wPG48m_iypFitQ) средний размер магнитных наночастиц, полученных в ходе одного из синтезов. Расчет проводите с точностью до трех знаков после запятой. Ответ приведите в нм в виде числа с точностью до одного знака после запятой.

Решение

В методе динамического светорассеяния ключевым уравнением является отношение Стокса – Эйнштейна, показывающее зависимость размера частиц от различных параметров:

$$d = \frac{k_B \cdot T}{3\pi \cdot \eta \cdot D},$$

где d — диаметр частиц;

k_B — постоянная Больцмана;

T — абсолютная температура (К);

η — вязкость среды;

D — коэффициент диффузии.

Для правильного расчета важно определиться с размерностью всех величин:

$$k_B = 1,38 \cdot 10^{-16} \text{ эрг/К (г} \cdot \text{см}^2/(\text{К} \cdot \text{с}^2));$$

$$T = \text{К};$$

$$\eta = \text{г}/(\text{см} \cdot \text{с});$$

$$D = \text{см}^2/\text{с}.$$

Приступим к расчету:

$$d_1 = 1,38 \cdot 10^{-16} \cdot \frac{25,1 + 273,15}{3 \cdot 3,14 \cdot 0,8858 \cdot 10^{-2} \cdot 1,507 \cdot 10^{-8}} =$$

$$= \frac{411,585 \cdot 10^{-16}}{12,575 \cdot 10^{-10}} = 32,730 \cdot 10^{-6} \text{ см} = 327,3 \text{ нм}.$$

$$d_2 = 1,38 \cdot 10^{-16} \cdot \frac{25,0 + 273,15}{3 \cdot 3,14 \cdot 0,8878 \cdot 10^{-2} \cdot 1,476 \cdot 10^{-8}} =$$

$$= \frac{411,447 \cdot 10^{-16}}{12,344 \cdot 10^{-10}} = 33,332 \cdot 10^{-6} \text{ см} = 333,3 \text{ нм}.$$

$$d_3 = 1,38 \cdot 10^{-16} \cdot \frac{25,0 + 273,15}{3 \cdot 3,14 \cdot 0,8878 \cdot 10^{-2} \cdot 1,481 \cdot 10^{-8}} =$$

$$= \frac{411,447 \cdot 10^{-16}}{12,386 \cdot 10^{-10}} = 33,219 \cdot 10^{-6} \text{ см} = 332,2 \text{ нм}.$$

Осталось рассчитать среднее арифметическое:

$$d_{\text{ср.}} = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3} = \frac{327,3 + 333,3 + 332,2}{3} = 330,9 \text{ нм}.$$

Ответ: 330,9.

Функционализация магнитных наночастиц

Задача IV.2.1. Подбор лиганда (5 баллов)

Темы: модификация наночастиц.

Условие

Ознакомившись с материалом о магнитных наночастицах модифицированных фолевой кислотой (<https://disk.yandex.ru/i/fJH8W1hNUsJNUg>), заполните пропуски в тексте ниже, выбрав из предложенного ниже перечня:

«Опухолевые заболевания занимают второе место по смертности, однако, существующие методы лечения, например (1) и химиотерапия, несут за собой ряд недостатков: низкая селективность действия, высокая токсичность и др. По этой причине на сегодняшний день осуществляется поиск новых методов лечения. Одними из направлений исследований являются методы гипертермии и (2), для которых активно применяемым инструментом служат магнитные наночастицы на основе Fe_3O_4 . Для

направленности доставки наночастицы дополнительно модифицируют различными лигандами. Одним из таких лигандов является фолиевая кислота, которая носит альтернативное название витамин В9. Она является необходимой для функционирования клеток, играя важную роль в биосинтезе и репарации (3) и метаболизме (4), что делает ее необходимой для функционирования раковых клеток. В организме человека фолиевая кислота связывается с определенными рецепторами, самый распространенный из которых — $FR\alpha$. Исследования показали, что в среде солидных опухолей раковые клетки демонстрируют высокие уровни экспрессии рецептора $FR\alpha$, причем эта сверхэкспрессия связана с поздней стадией заболевания и является негативным прогностическим фактором. (5) $FR\alpha$ составляет 34 нМ, что является очень высоким показателем. Таким образом, магнитные наночастицы, модифицированные фолиевой кислотой, могут служить одним из подходов к лечению рака.

1. Аффинность.
2. РНК.
3. МРТ.
4. ДНК.
5. Лучевая терапия.

Ответ: 1 — D, 2 — C, 3 — E, 4 — B, 5 — A.

Задача IV.2.2. Конденсация с фолиевой кислотой (10 баллов)

Темы: модификация наночастиц.

Условие

Ознакомившись с методикой синтеза магнитных наночастиц модифицированных фолиевой кислотой (<https://disk.yandex.ru/i/gJPhxLPDsznccgg>), определите массу конъюгата фолиевой кислоты с этилендиамином, если известно, что выходы двух реакций составляли 72% и 99% соответственно. Расчеты проводите с точностью до шестого знака после запятой. Ответ представьте в виде числа с точностью до трех знаков после запятой в г.

Справочные данные:

$$M(\text{ДЦК}) = 206,3 \text{ г/моль.}$$

Решение

Для начала рассчитаем количество вещества дициклогексилкарбоксилдимида:

$$n_{\text{дцк}} = \frac{m_{\text{дцк}}}{M_{\text{дцк}}} = \frac{0,21}{206,3} = 0,001018 \text{ моль.}$$

Теперь установим количество вещества производного диамина:

$$n_{\text{эда}} = \frac{n_{\text{дцк}}}{1,6} = \frac{0,001018}{1,6} = 0,000636 \text{ моль.}$$

Найдем теоретическое количество вещества продукта первой реакции (согласно уравнению реакции, мы получим его также 1 эквивалент):

$$n_1 = n_{\text{эда}} = 0,000636 \text{ моль},$$

тогда практически мы получим:

$$n_{1 \text{ пр}} = \frac{n_1 \cdot 72\%}{100\%} = \frac{0,000636 \text{ моль} \cdot 72\%}{100\%} = 0,000458 \text{ моль}.$$

Согласно второму уравнению реакции, из 1 моль интермедиата мы получим 1 моль продукта, тогда:

$$n_2 = n_{1 \text{ пр}} = 0,000458 \text{ моль},$$

а практически:

$$n_{2 \text{ пр}} = \frac{n_2 \cdot 99\%}{100\%} = \frac{0,000458 \cdot 99\%}{100\%} = 0,000453 \text{ моль}.$$

Осталось рассчитать массу продукта двух реакций:

$$m_{\text{пр}} = n_{2 \text{ пр}} \cdot M_{2 \text{ пр}} = 0,000453 \cdot 483,5 = 0,2190026 = 0,219 \text{ г}.$$

Ответ: 0,219.

Задача IV.2.3. УФ-спектроскопия магнитных наночастиц (5 баллов)

Темы: анализ физико-химических свойств наночастиц.

Условие

Ознакомившись с основами метода УФ-спектроскопии и экспериментальными данными (<https://disk.yandex.ru/i/5GPIR-f0TtvDug>), установите длину волны, по которой можно судить об успешной конъюгации магнитных наночастиц фолиевой кислотой. Ответ дайте в виде целого числа в нм.

Решение

На исследуемых УФ-спектрах для исходных магнитных наночастиц и для фолиевой кислоты наблюдается максимум поглощения в 370 нм, а для модифицированных наночастиц его не наблюдается, что служит показателем успешного протекания реакции.

Ответ: 370.

Задача IV.2.4. Термический анализ магнитных наночастиц (15 баллов)

Темы: анализ физико-химических свойств наночастиц.

Условие

Ознакомившись с основами термического анализа и экспериментальными данными (<https://disk.yandex.ru/i/pgIoD4jLpjirwA>), установите массовое содержание фолиевой кислоты в модифицированных ею магнитных наночастицах. Ответ дайте в виде целого числа в процентах.

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 99%, то есть потеря составила 1%. Затем рассмотрим потери в массе у наночастиц модифицированных хитозаном. Остаток массы составляет 50%. Учитывая, что примеси в исследуемом образце составляют 1%, выходит, что потеря по массе хитозана составляет 49%. В конце рассмотрим образец наночастиц модифицированных хитозаном и фолиевой кислотой. В конце нагрева масса составила 40% от исходной, то есть потери составили: 60%–1% на растворители, 49% на хитозан и 10% на фолиевую кислоту.

Ответ: 10.

Работа наставника НТО при подготовке к заключительному этапу

На этапе подготовки к заключительному этапу НТО наставник решает две важные задачи: помощь участникам в подготовке к предстоящим соревнованиям и формирование устойчивой и слаженной команды. Для подготовки рекомендуется использовать сборники задач прошлых лет. Кроме того, наставнику важно изучить организационные особенности заключительного этапа, чтобы помочь ученикам разобраться в формальных особенностях его проведения.

Наставник НТО также может познакомиться с разработчиками профилей для получения консультации о подготовке к заключительному этапу, дополнительных материалах и способах поддержки высокой мотивации участников.

При работе с командой участников рекомендуется уделить внимание следующим вопросам:

- Сплочение команды. Наставнику необходимо уделить этому особое внимание, если участники команды находятся в разных городах и не имеют возможности встретиться в очном формате. Регулярные встречи, в том числе в дистанционном формате, помогут поддержать эффективную и позитивную коммуникацию внутри команды.
- Анализ состава команды. Необходимо обсудить роли участников в команде и задачи, которые им предстоит решать в рамках выбранных ролей. Кроме того, нужно обсудить взаимозаменяемость ролей.
- Анализ знаний и компетенций участников. Необходимо убедиться, что участники обладают нужными навыками и компетенциями и продумать план по формированию и развитию недостающих навыков и компетенций.
- Составление плана подготовки. График занятий строится, исходя из даты начала заключительного этапа.
- Участие в подготовительных мероприятиях от разработчиков профилей. Перед заключительным этапом проводятся установочные вебинары, разборы задач прошлых лет, практикумы, хакатоны, мастер-классы для финалистов. Информация о таких мероприятиях публикуется в группе НТО в VK и в чатах профилей в Telegram.
- Проведение практикумов или хакатонов. Для этого наставники могут использовать материалы для подготовки к соответствующему профилю и сборники задач прошлых лет. Практикумы и хакатоны могут проводиться дистанционно, рекомендации для этого формата приведены в сборниках 2020–22 гг.

Во время заключительного этапа участников сопровождают модераторы или волонтеры, разработчики профиля и организаторы НТО. Внешнее вмешательство в ход соревнований запрещено. Участники, получившие во время проведения НТО стороннюю помощь, могут быть дисквалифицированы.

Заключительный этап

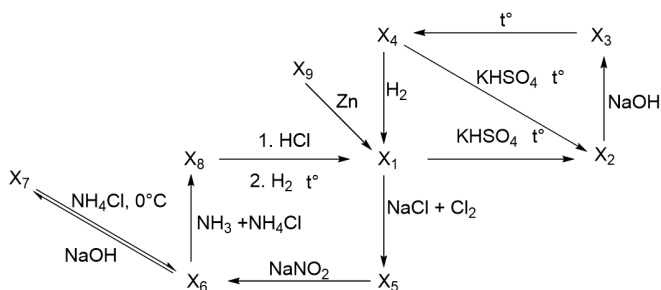
Предметный тур

Химия. 8–9 классы

Задача VI.1.1.1. Полезный металл (30 баллов)

Условие

На предлагаемой схеме представлены превращения веществ X_2 – X_9 , образованных от металла X_1 , незаменимого в качестве катализатора при получении азотной кислоты, уксусной кислоты и при нейтрализации выхлопных газов автомобилей.



- Водный раствор соединения X_2 имеет красно-фиолетовую окраску, содержание кислорода в данном соединении 37,77%.
- Соединение X_3 имеет черную окраску, но при стоянии становится желтым.
- Соединение X_4 имеет зеленый цвет, содержание кислорода в данном соединении 18,91%.
- Соединение X_5 имеет желтый цвет, содержание хлора в данном соединении 55,34%.
- Соединение X_6 имеет желтый цвет, координационное число металла комплекссообразователя равно 6.
- Ионное комплексное соединение X_7 имеет желтый цвет, является малорастворимым, а во внешней координационной сфере содержит два катиона аммония и катион натрия.
- Молекулярное комплексное соединение X_8 имеет желтый цвет, является малорастворимым и имеет формулу $H_9N_6XO_6$. Получение X_1 из X_8 проводится в две стадии, в первой стадии образуется лимонно-желтый осадок комплексного хлорида, вторая стадия протекает в течении нескольких часов при температуре 800–900 °С.

- Тригидрат соединения \mathbf{X}_9 имеет темно-красную окраску и является соединением одного из галогенов.

Задание:

1. Определите формулу и дайте названия соединений \mathbf{X}_1 – \mathbf{X}_9 .
2. Напишите уравнения указанных реакций. Одна стрелочка соответствует одному превращению.
3. Подтвердите расчетами состав соединений \mathbf{X}_2 , \mathbf{X}_4 , \mathbf{X}_5 .

Решение

Исходя из того, что в реакции $\mathbf{X}_2 \rightarrow \mathbf{X}_3$ используется NaOH, можно предположить, что \mathbf{X}_3 гидроксид, следовательно, \mathbf{X}_4 является оксидом, поскольку при нагревании гидроксид отщепляет воду. Составим таблицу для определения металла \mathbf{X}_1 .

Формула оксида	Молярная масса металла	Металл
M_2O	34	–
MO	68	–
M_2O_3	103	<u>Rh – родий</u>
MO_2	137	<u>Ba – барий</u>
M_2O_5	172	–
MO_3	206	–

Из таблицы видно, что \mathbf{X}_4 может быть соединением Rh_2O_3 , либо BaO_2 , с учетом того, что указана окраска соединения можно сделать вывод, что \mathbf{X}_1 является родием (Rh), поскольку BaO_2 является белым.

Далее по расчетам получаем, что \mathbf{X}_2 – $\text{K}_3[\text{Rh}(\text{SO}_4)_3]$, \mathbf{X}_4 – Rh_2O_3 , \mathbf{X}_5 – $\text{Na}_3[\text{RhCl}_6]$:

1. $2 \text{Rh} + 6 \text{KHSO}_4 \longrightarrow 2 \text{K}_3[\text{Rh}(\text{SO}_4)_3] + 3 \text{H}_2$;
2. $\text{K}_3[\text{Rh}(\text{SO}_4)_3] + 3 \text{NaOH} \longrightarrow \text{Rh}(\text{OH})_3 + 3 \text{KNaSO}_4$;
3. $2 \text{Rh}(\text{OH})_3 \longrightarrow \text{Rh}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$;
4. $\text{Rh}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2 \longrightarrow 2 \text{Rh} + 3 \text{H}_2\text{O}$;
5. $2 \text{Rh} + 6 \text{NaCl} + 3 \text{Cl}_2 \longrightarrow 2 \text{Na}_3[\text{RhCl}_6]$;
6. $\text{Na}_3[\text{RhCl}_6] + 6 \text{NaNO}_2 \longrightarrow \text{Na}_3[\text{Rh}(\text{NO}_2)_6] + 6 \text{NaCl}$;
7. $\text{Na}_3[\text{Rh}(\text{NO}_2)_6] + 2 \text{NH}_4\text{Cl} \longrightarrow (\text{NH}_4)_2\text{Na}[\text{Rh}(\text{NO}_2)_6] + 2 \text{NaCl}$;
8. $(\text{NH}_4)_2\text{Na}[\text{Rh}(\text{NO}_2)_6] + 2 \text{NaOH} \longrightarrow \text{Na}_3[\text{Rh}(\text{NO}_2)_6] + 2 \text{NH}_3 + 2 \text{H}_2\text{O}$;
9. $\text{Na}_3[\text{Rh}(\text{NO}_2)_6] + 3 \text{NH}_3 + 3 \text{NH}_4\text{Cl} \longrightarrow [\text{Rh}(\text{NH}_3)_3(\text{NO}_2)_3] + 3 \text{NaCl} + \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$;
10. $2 [\text{Rh}(\text{NH}_3)_3(\text{NO}_2)_3] + 6 \text{HCl} \longrightarrow 2 [\text{Rh}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}_3] + 3 \text{NO}_2 + 3 \text{NO} + 3 \text{H}_2\text{O}$;
11. $2 [\text{Rh}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}_3] + 3 \text{H}_2 \longrightarrow 2 \text{Rh} + 6 \text{NH}_3 + 6 \text{HCl}$;
12. $\text{Rh}_2\text{O}_3 + 6 \text{HCl} \longrightarrow \text{RhCl}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$;
13. $2 \text{RhCl}_3 + 3 \text{Zn} \longrightarrow 2 \text{Rh} + 3 \text{ZnCl}_2$.

\mathbf{X}_1 – Rh (родий);

\mathbf{X}_2 – $\text{K}_3[\text{Rh}(\text{SO}_4)_3]$ (трис(сульфато)родат(III) калия);

\mathbf{X}_3 – $\text{Rh}(\text{OH})_3$ (гидроксид родия(III));

\mathbf{X}_4 – Rh_2O_3 (оксид родия(III));

\mathbf{X}_5 – $\text{Na}_3[\text{RhCl}_6]$ (гексахлорородат(III) натрия);

X_6 — $\text{Na}_3[\text{Rh}(\text{NO}_2)_6]$ (гексанитрородат(III)) натрия;

X_7 — $(\text{NH}_4)_2\text{Na}[\text{Rh}(\text{NO}_2)_6]$ (гексанитрородат(III)) натрия-бис(аммония);

X_8 — $[\text{Rh}(\text{NH}_3)_3(\text{NO}_2)_3]$ (тринитротриамминродий);

X_9 — хлорид родия(III).

$$\text{Для } X_4: \omega(\text{O}) = \frac{16 \cdot n}{16 \cdot n + Mr(X_1) \cdot m} \cdot 100\%,$$

где n, m — индексы в формуле оксида.

$$\text{Для } X_2: \omega(\text{O}) = \frac{16 \cdot 4n}{16 \cdot 4n + 103 \cdot m + 39 \cdot p + 32 \cdot n} \cdot 100\%,$$

где n, m, p, s — индексы в формуле соединения $\text{K}_p\text{Rh}_m(\text{SO}_4)_n$.

p	m	n
1	1	1,9
2	1	2,5
3	1	3,0
4	1	3,5
5	1	4,1
6	1	4,6
1	2	3,3
1	3	4,7
1	4	6,1
1	5	7,5
1	6	8,9

$$\text{Для } X_5: \omega(\text{Cl}) = \frac{35,5 \cdot n}{35,5 \cdot n + 103 \cdot m + 23 \cdot p} \cdot 100\%,$$

где n, m, p, s — индексы в формуле соединения $\text{Na}_p\text{Rh}_m\text{Cl}_n$.

p	m	n
1	1	4,4
2	1	5,2
3	1	6,0
4	1	6,8
5	1	7,6
6	1	8,4
1	2	8,0
1	3	11,6
1	4	15,2
1	5	18,8
1	6	22,4

Для соединения $\text{Na}_p\text{Rh}_m\text{Cl}_n$ выбираем $n = 6$, поскольку в соединении X_6 координационное число металла комплексообразователя равно 6.

(по 0,5 балла за каждую формулу (4,5 балла за пункт) и по 0,5 балла за название (4,5 балла за пункт), по 0,5 балла за каждый расчет (1,5 балла за пункт), по 1,5 балла за реакцию (19,5 балла за пункт))

Задача VI.1.1.2. Минералы (25 баллов)

Условие

Минералы вюрцит и сфалерит состоят из элементов **X** и **Y** и имеют одну и ту же формулу. Они являются важной рудой металла **X**, для промышленного получения **X** используются разные способы, вот два из них.

Вюрцит и сфалерит обжигаются, полученное твердое вещество **A** нагревается с углем в герметичной камере, где выделяется искомый продукт.

Во втором способе после обжига вещество **A** обрабатывается серной кислотой, полученный раствор соли **B** подвергается электролизу, в результате которого выделяется искомый продукт.

В таблице приведена массовая доля **X** в %.

Вюрцит	A	B
67,0	80,2	40,4

Определите элементы **X** и **Y**, формулу вюрцита и сфалерита, **A** и **B**.

Почему у вюрцита и сфалерита при одинаковой формуле разные названия, чем они различаются?

Напишите уравнения всех описанных реакций.

Как выбросы продуктов обжига влияют на окружающую среду? Какой промышленный процесс применяется для использования продуктов обжига с пользой? Напишите уравнения реакций в этом процессе.

Назовите основные области использования металла **X** в промышленности.

Содержащие **X** сплавы известны с древности, но чистый металл был получен гораздо позже. В чем была проблема с получением чистого металла? Как получались эти сплавы?

Решение

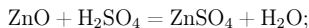
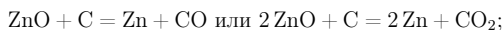
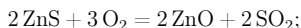
При обжиге металлических руд получают оксиды, значит **A** — оксид металла **X**, из массовой доли находится, что **X** это цинк, а **Y** это сера. (2 балла)

Вюрцит и сфалерит — ZnS ;

A — ZnO ;

B — $ZnSO_4$. (по 2 балла за формулу, 4 балла за пункт)

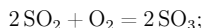
Вюрцит и сфалерит различаются кристаллической структурой. (1 балл)



$2ZnSO_4 + 2H_2O = 2Zn + 2H_2SO_4 + O_2$. (по 2 балла за реакцию, 8 баллов за реакцию)

При обжиге сера окисляется в сернистый газ, который вызывает кислотные дожди. (2 балла)

Для недопущения этого сернистый газ переводится в серную кислоту:



Цинк используют для защиты железа от коррозии, в батарейках и в сплавах. (2 балла)

У цинка низкая температура кипения, поэтому восстанавливается он в виде паров, эти пары легко окисляются кислородом воздуха обратно в оксид. (2 балла) Если в руде содержатся несколько металлов, их совместное восстановление приводит к образованию сплава без выделения каждого металла по отдельности. (2 балла)

Задача VI.1.1.3. Энергия Гиббса (20 баллов)

Условие

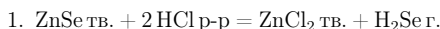
В таблице представлены справочные данные.

Соединение	Энергия Гиббса образования, $\Delta G_{\text{обр.}}$, кДж/моль
ZnSe	-163, 2
Ag ₂ Se	-44, 4
CaSe	-363, 2
ZnCl ₂	-409, 6
AgCl	-109, 8
CaCl ₂	-748, 1
HCl	-92, 3
H ₂ Se	15, 9

Определите изменение энергии Гиббса реакции селенидов цинка, серебра и кальция с газообразным хлороводородом с точностью до десятых. Ответ выразите в кДж/моль. Какие из соединения будут самопроизвольно вступать в реакцию?

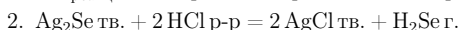
Решение

Для начала рассчитаем энергии Гиббса для процессов растворения:



$$\begin{aligned} \Delta G_{\text{реакц.}} &= n(\text{H}_2\text{Se}) \cdot \Delta G_{\text{обр.}}(\text{H}_2\text{Se}) + n(\text{ZnCl}_2) \cdot \Delta G_{\text{обр.}}(\text{ZnCl}_2) - n(\text{HCl}) \cdot \\ &\cdot \Delta G_{\text{обр.}}(\text{HCl}) - n(\text{ZnSe}) \cdot \Delta G_{\text{обр.}}(\text{ZnSe}) = 1 \cdot 15,9 \text{ кДж/моль} + 1 \cdot (-409,6 \text{ кДж/моль}) - \\ &- 2 \cdot (-92,3 \text{ кДж/моль}) - 1 \cdot (-163,2 \text{ кДж/моль}) = -45,9 \text{ кДж/моль.} \end{aligned}$$

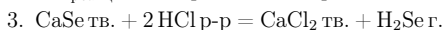
$$\Delta G_{\text{реакц.}} < 0 - \text{реакция протекает самопроизвольно. (6 баллов за пункт)}$$



$$\Delta G_{\text{реакц.}} = n(\text{H}_2\text{Se}) \cdot \Delta G_{\text{обр.}}(\text{H}_2\text{Se}) + n(\text{AgCl}) \cdot \Delta G_{\text{обр.}}(\text{AgCl}) - n(\text{HCl}) \cdot$$

$$\begin{aligned} & \cdot \Delta G_{\text{обр.}}(\text{HCl}) - n(\text{Ag}_2\text{Se}) \cdot \Delta G_{\text{обр.}}(\text{Ag}_2\text{Se}) = \\ & = 1 \cdot 15,9 \text{ кДж/моль} + 2 \cdot (-109,8 \text{ кДж/моль}) - 2 \cdot (-92,3 \text{ кДж/моль}) - \\ & \quad - 1 \cdot (-44,4 \text{ кДж/моль}) = 25,3 \text{ кДж/моль.} \end{aligned}$$

$\Delta G_{\text{реакц.}} > 0$ — реакция не протекает самопроизвольно. (6 баллов за пункт)



$$\begin{aligned} \Delta G_{\text{реакц.}} & = n(\text{H}_2\text{Se}) \cdot \Delta G_{\text{обр.}}(\text{H}_2\text{Se}) + n(\text{CaCl}_2) \cdot \Delta G_{\text{обр.}}(\text{CaCl}_2) - n(\text{HCl}) \cdot \\ & \cdot \Delta G_{\text{обр.}}(\text{HCl}) - n(\text{CaSe}) \cdot \Delta G_{\text{обр.}}(\text{CaSe}) = 1 \cdot 15,9 \text{ кДж/моль} + 1 \cdot (-748,1 \text{ кДж/моль}) - \\ & \quad - 2 \cdot (-92,3 \text{ кДж/моль}) - 1 \cdot (-363,2) \text{ кДж/моль} = -184,4 \text{ кДж/моль.} \end{aligned}$$

$\Delta G_{\text{реакц.}} < 0$ — реакция протекает самопроизвольно. (6 баллов за пункт)

Самопроизвольно будут растворяться селенид кальция и селенид цинка. (2 балла за пункт)

Задача VI.1.1.4. Белые кристаллы (25 баллов)

Условие

Белое кристаллическое твердое вещество вступает в следующие реакции:

1. Окрашивает пламя горелки в ярко-желтый цвет.
 2. Водный раствор нейтрален, а добавление по каплям сернистой кислоты сопровождается образованием раствора темно-коричневого цвета, который обесцвечивается в присутствии избытка сернистой кислоты.
 3. Если к обесцвеченному раствору, полученному в пункте 2, добавить раствор нитрата серебра и подкислить азотной кислотой, то образуется желтый осадок, нерастворимый при добавлении NH_3 , но легко растворяющийся при добавлении CN^- или $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$.
 4. Если водный раствор твердого вещества обработать иодидом калия и разбавленной серной кислотой, образуется темно-коричневый раствор, который можно обесцветить добавлением сернистой кислоты.
 5. К водному раствору 0,1000 г твердого вещества добавили 0,5 г KI и несколько мл разбавленной серной кислоты. Образовавшийся темно-коричневый раствор титровали 0,1000 М раствором $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ до полного обесцвечивания, для этого потребовалось 37,40 мл титранта.
- А) Какие элементы входят в состав твердого вещества?
 Б) Какие соединения рассматриваются в пунктах 1–4? Напишите их молекулярные массы.
 В) Напишите уравнения всех реакций в ионной форме.
 Г) Опираясь на пункт 5, определите формулу твердого вещества. Ответ подтвердите расчетом.

Решение

- А) В состав твердого вещества должны входить Na и I: натрий окрашивает пламя в желтый цвет, а желтая соль серебра растворяется только сильным комплексообразователем (цианид и тиосульфат). (3 балла)

Б) Реакции 1–4 обозначают натриевую соль кислородсодержащей кислоты, содержащую йод.

И SO_2 , и I окисляются, при этом в первом случае образуется I^- с промежуточным соединением I_2 (или коричневым раствором I_3^-), а во втором случае образуется I_2 (или I_3^-).

Поскольку раствор нейтральный, то нужно рассматривать NaIO_3 и NaIO_4 .

$M(\text{NaIO}_3) = 22,99 + 126,905 + 3 \cdot 16,000 = 197,895 = 197,90$ г/моль;

$M(\text{NaIO}_4) = 22,99 + 126,905 + 4 \cdot 16,000 = 213,895 = 213,90$ г/моль.

(5 баллов)

В) $2\text{IO}_4^- + 6\text{H}_2\text{O} + 7\text{SO}_2 = 7\text{HSO}_4^- + 5\text{H}^+ + \text{I}_2$;

$2\text{IO}_3^- + 4\text{H}_2\text{O} + 5\text{SO}_2 = 5\text{HSO}_4^- + 3\text{H}^+ + \text{I}_2$;

$\text{I}_2 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{HSO}_4^- + 3\text{H}^+ + 2\text{I}^-$;

$\text{IO}_4^- + 7\text{I}^- + 8\text{H}^+ = 4\text{I}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$;

$\text{IO}_3^- + 5\text{I}^- + 6\text{H}^+ = 3\text{I}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$;

$\text{I}_2 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} = 2\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$.

(2 за уравнение, 12 баллов за пункт)

Г) Согласно эксперименту по титрованию из, 0,1 г образуется 3,74 ммоль тиосульфат-анионов.

Предположим, что исходное соединение NaIO_3 :

из 1 моль NaIO_3 (197,90 г) образуется 6 моль тиосульфата, тогда из 0,1 г получится 3,03 ммоль, что не соответствует условию задачи, тогда проверим гипотезу NaIO_4 :

из 1 моль NaIO_4 (213,90 г) образуется 8 моль тиосульфата, тогда из 0,1 г его получится 3,74 ммоль, что означает, что это и есть искоемое соединение.

(5 баллов)

Химия. 10–11 классы

Задача VI.1.2.1. Катионный липид (30 баллов)

Условие

На сегодняшний день известно большое количество классических методов лечения рака, к ним относят: хирургию, лучевую терапию, радиочастотную абляцию, химиотерапию. Однако данные методы имеют отрицательное влияние на организм пациента, например, вызывают гибель здоровых клеток и тканей. Современным персонализированным подходом для лечения онкологических заболеваний является генная терапия.

Целью генной терапии является доставка нуклеиновых кислот в соответствующие клетки с целью облегчения симптомов или предотвращения возникновения конкретного заболевания.

Эффективность генной терапии напрямую зависит от систем доставки, осуществляющей перенос генетической информации. Свободные нуклеиновые кислоты вводить в организм неэффективно, поскольку они быстро разрушаются сывороточными нуклеазами, и не захватываются эукариотическими клетками напрямую. Системы доставки генетического материала должны обладать достаточной стабильностью и эффективностью.

Для доставки терапевтических нуклеиновых кислот используют катионные липосомы, положительный заряд которых позволяет связать отрицательно заряженные нуклеиновые кислоты и обеспечить стабильность такого комплекса.

Основным структурным элементов катионных липосом являются катионные липиды, в состав которых входят гидрофобные и гидрофильные фрагменты, связанные между собой линкером. Одним из классических примеров катионных липидов служат конъюгаты высших жирных кислот и аминокислот, связанных с глицерином сложноэфирной связью.

Известно, что в ходе щелочного сложноэфирного гидролиза одного из таких катионных липидов с последующим действием серной кислоты была получена смесь продуктов, из которой после хроматографического разделения были выделены пальмитиновая кислота, глицерин и протеиногенная аминокислота **X**.

Задание:

1. Какие соединения относят к классу протеиногенных аминокислот?
2. Что представляет собой хроматография?
3. Установите одноосновную аминокислоту **X** с углеводородным боковым радикалом, если известно, что при взаимодействии 330 г **X** с металлическим натрием выделился водород, которого в соотношении 1×1 хватило для восстановления неопределённого углеводорода, а при сжигании продукта восстановления в атмосфере кислорода образовалось 44,8 л углекислого газа и 54 мл воды. В качестве ответа приведите брутто-формулу аминокислоты, ее структурную формулу и тривиальное название.
4. Напишите уравнение реакции сложноэфирного гидролиза. Для чего необходимо подкисление раствора продуктов?

Решение

1. Протеиногенные аминокислоты — это α -аминокислоты, которые входят в состав белка. Данные соединения функционализированы одновременно аминогруппой и карбоксильной группой, разделенных между собой метиновой группой, связанной с боковым радикалом. (2 балла)
2. Хроматография — это физико-химический метод разделения смеси веществ путем распределения их между двумя несмешивающимися фазами. Несмешивающимися фазами в хроматографии являются «подвижная» и «неподвижная» фазы. Подвижной фазой может быть газ или жидкость. Подвижная фаза непрерывно течет по системе и является, по сути, транспортом для анализируемых компонентов пробы. Неподвижная фаза может быть твердым веществом с развитой поверхностью или жидкостью, нанесенной на твердое вещество или внутреннюю поверхность капилляра. Главное для неподвижной фазы — это способность обратно взаимодействовать с анализируемыми компонентами пробы. При этом чем лучше взаимодействие (или сорбция), тем медленнее скорость движения компонента в хроматографической системе. Таким образом, процесс разделения основан на различном сродстве компонентов пробы к подвижной и неподвижной фазам. (8 баллов за развернутый ответ, 2 балла просто за определение)
3. На первом этапе необходимо установить формулу продукта восстановления. Для это рассчитаем количества вещества С и Н. На 1 молекулу углекислого

газа приходится 1 атом углерода, тогда:

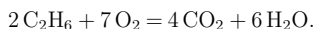
$$\vartheta(\text{C}) = \vartheta(\text{CO}_2) = (V(\text{CO}_2))/V_m = (44, 8 \text{ л})/(22, 4 \text{ л/моль}) = 2 \text{ моль.}$$

На молекулу вещества воды приходится 2 атома водорода, поэтому:

$$\vartheta(\text{H}) = \vartheta(\text{H}_2\text{O}) \cdot 2 = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} \cdot 2 = \frac{V(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} \cdot 2 = \frac{54 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл}}{18 \text{ г/моль}} \cdot 2 = 6 \text{ моль.}$$

Таким образом, простейшая формула углеводорода — C_2H_6 . При попытке домножить индексы нами будут получаться комбинации, не соответствующие алканам, а при попытке разделить — нельзя будет получить исходный алкен, т. е. полученные данные позволяют однозначно утверждать, что продуктом восстановления является именно этан. (2 балла за пункт)

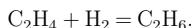
Затем необходимо рассчитать количество вещества этана, для этого составим уравнение реакции его горения:



Из уравнения следует, что на 1 моль этана приходится 2 моль углекислого газа, тогда количество вещества этана равно:

$$\vartheta(\text{C}_2\text{H}_6) = \frac{\vartheta(\text{CO}_2)}{2} = \frac{2 \text{ моль}}{2} = 1 \text{ моль.}$$

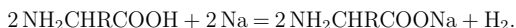
Так как восстановление проходит в соотношении реагентов 1×1 , получается, что непредельным углеводородом является этен:



На 1 моль этана приходится 1 моль водорода, тогда количество вещества водорода равно:

$$\vartheta(\text{H}_2) = \vartheta(\text{C}_2\text{H}_6) = 1 \text{ моль.}$$

При воздействии натрия на аминокислоту из 2 моль аминокислоты получается 1 моль водорода:



Тогда количество вещества **X** в два раза больше количества вещества водорода:

$$\vartheta(\text{X}) = 2 \cdot \vartheta(\text{H}_2) = 2 \cdot 1 \text{ моль} = 2 \text{ моль.}$$

Рассчитаем молярную массу вещества **X**:

$$M(\text{X}) = \frac{m(\text{X})}{\vartheta(\text{X})} = \frac{330}{2} = 165 \text{ г/моль.}$$

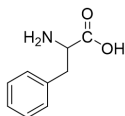
(10 баллов за пункт)

Молярная масса аминокислоты складывается из молярной массы ее основной части (74 г/моль) и молярной массы бокового радикала, тогда:

$$M(R) = M(\text{X}) - 74 \text{ г/моль} = 165 \text{ г/моль} - 74 \text{ г/моль} = 91 \text{ г/моль.}$$

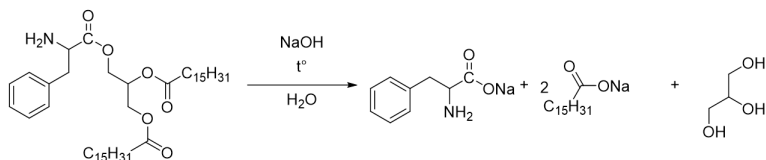
Из условия задачи известно, что радикал аминокислоты по своей природе является углеводородом, тогда рассчитанной молярной массе будет соответствовать только бензильный радикал фенилаланина.

Таким образом, боковым радикалом аминокислоты является бензильная группа, а искомое вещество **X** — это фенилаланин ($C_9H_{11}NO_2$).

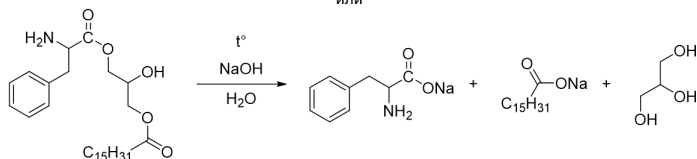


(1 балл за брутто-формулу, 2 балла за структурную формулу, 1 балл за тривиальное название — 4 балла)

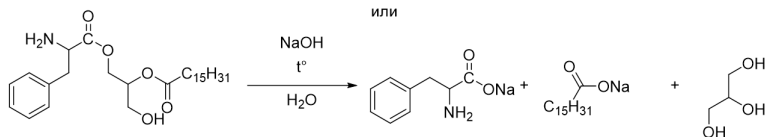
4. В ходе щелочного гидролиза происходит образование солей кислот и глицерина.



или



или

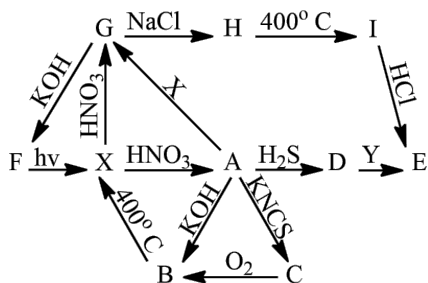


(4 балла за уравнение)

Задача VI.1.2.2. Отгадай металл (30 баллов)

Условие

Металл **X** интересен тем, что в его названии «прячется» название другого металла. На схеме зашифрованы превращения содержащих **X** веществ.



Известно, что реакции $X \rightarrow A$ и $X \rightarrow G$ различаются только концентрацией кислоты, а $F \rightarrow X$ и $H \rightarrow I$ являются реакциями диспропорционирования. Таинственный реагент Y имеет свое традиционное название, в русском языке оно связано с жидкостью, очень плохо влияющей на человеческое здоровье.

В таблице приведена массовая доля X в % для некоторых соединений.

A	E	G	I
62,0	58,4	76,5	74,0

Определите элемент X и металл, который «спрятан» в его названии, найдите формулы содержащих его соединений A – I , запишите уравнения всех реакций. Определите таинственный реагент Y и назовите его.

У веществ D , H , I есть традиционные названия, назовите их.

Решение

X — ртуть (2 балла), в названии спрятано серебро (1 балл). Y — царская водка (1 балл).

- A** $3 \text{Hg} + 8 \text{HNO}_3 = 3 \text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + 2 \text{NO} + 4 \text{H}_2\text{O}$ (или до NO_2).
- B** $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + 2 \text{KOH} = \text{HgO} + 2 \text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.
 $2 \text{HgO} = 2 \text{Hg} + \text{O}_2$.
- C** $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + 2 \text{KNCS} = \text{Hg}(\text{NCS})_2 + 2 \text{KNO}_3$.
 $2 \text{Hg}(\text{NCS})_2 + 9 \text{O}_2 = 2 \text{HgO} + 2 \text{N}_2 + 4 \text{CO}_2 + 4 \text{SO}_2$.
- D** $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{S} = \text{HgS} + 2 \text{HNO}_3$.
- E** $\text{HgS} + 8 \text{HNO}_3 + 4 \text{HCl} = \text{H}_2[\text{HgCl}_4] + 8 \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 4 \text{H}_2\text{O}$ (или до NO).
- G** $6 \text{Hg} + 8 \text{HNO}_3 = 3 \text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 + 2 \text{NO} + 4 \text{H}_2\text{O}$.
 $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + \text{Hg} = \text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$.
- F** $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 + \text{KOH} = \text{Hg}_2\text{O} + 2 \text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.
 $\text{Hg}_2\text{O} = \text{Hg} + \text{HgO}$.
- H** $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 + 2 \text{NaCl} = \text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2 \text{NaNO}_3$.
- I** $\text{Hg}_2\text{Cl}_2 = \text{Hg} + \text{HgCl}_2$.
 $\text{HgCl}_2 + 2 \text{HCl} = \text{H}_2[\text{HgCl}_4]$.

(по 1 баллу за каждое вещество и реакцию, всего 23 балла)

HgS — киноварь, Hg_2Cl_2 — каломель, HgCl_2 — сулема. (по 1 баллу за каждое)

Задача VI.1.2.3. «Светящийся монах» (15 баллов)

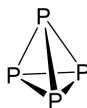
Условие

Согласно легенде, в 1920-х годах жители Москвы неоднократно на вечерних улицах видели монаха, одежда которого светилась голубоватым светом, а из-под его ботинок вылетали искры. На самом деле этим «светящимся монахом» был советский ученый-химик, академик Семен Вольфович. В 20-х годах XX века он работал над технологией производства минеральных удобрений. Свечение одежды и обуви академика было обусловлено их пропиткой за время рабочего дня продуктом реакции восстановления фосфата кальция коксом в присутствии кремнезема, проводимой в электропечах лаборатории, в которой работал С. Вольфович. Окисление этого продукта при контакте с воздухом и сопровождалось свечением.

1. Запишите уравнение реакции описанного процесса, продукт которого (вещество **A**) пропитывал одежду академика и вызывал ее свечение. Описанный процесс протекает при температуре порядка 1500 °С. При такой температуре продукт реакции **A** образуется в виде паров, которые отгоняют и конденсируют под водой в твердое вещество.
2. Одинаков ли количественный состав молекул вещества **A** в газообразном и твердом состоянии? Приведите структурные формулы молекул вещества **A** в газообразном и твердом состоянии.
3. Рассчитайте среднюю энергию химической связи в молекуле вещества **A** (в кДж/моль), если в реакции образования фосфина из простых веществ поглощается 5,4 кДж/моль теплоты, энергия связи P-H составляет 351,0 кДж/моль, а энергия связи в молекуле водорода равна 436,0 кДж/моль.

Решение

1. $2 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{SiO}_2 + 10 \text{C} = \text{P}_4 + 6 \text{CaSiO}_3 + 10 \text{CO}$.
где вещество **A** — фосфор (5 баллов за пункт)
2. В твердом состоянии формула фосфора — P_4 , а в газообразном P_2 .
Структурная формула для P_4 :



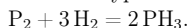
Структурная формула для P_2 :



(5 баллов за пункт)

3. Формула фосфина — PH_3 .

Составим уравнение реакции:

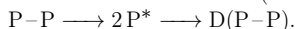
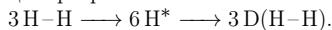


Образование 2 молекул фосфина можно представить как последовательный разрыв связей в фосфоре и водороде.

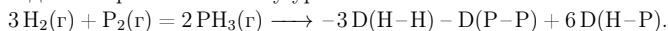
Тогда запишем уравнение реакции со значениями энергий:



Образование двух молекул PH_3 можно представить как последовательный процесс разрыва связей H-H в молекуле H_2 и связей P-P в молекуле P_2 :



$\text{D}(\text{H-H})$, $\text{D}(\text{P-P})$ и $\text{D}(\text{H-P})$ — энергии образования связей H-H , P-P и H-P , соответственно. Суммируя левые и правые части приведенных уравнений, приходим к термохимическому уравнению:



Согласно закону Гесса тепловой эффект этой реакции равен:

$$2 Q = -3 \text{D}(\text{H-H}) - \text{D}(\text{P-P}) + 6 \text{D}(\text{H-P}),$$

$$\text{D}(\text{P-P}) = (-2 Q - 3 \text{D}(\text{H-H}) + 6 \text{D}(\text{H-P}))/3 = 262,4 \text{ кДж/моль}$$

(5 баллов за пункт)

Задача VI.1.2.4. Потерянная концентрация (15 баллов)

Условие

К 100 мл дистиллированной воды прилили 100 мл 56%-ой (масс. содержание) серной кислоты (плотность принять равной 1,4 г/мл) и, после тщательного перемешивания был получен раствор 1. Затем к раствору 1 добавили твердый оксид бария, после чего наблюдалось выпадение осадка, масса которого после фильтрования составила 48,8 г. После прокаливании осадка его масса изменилась до 46,6 г. Затем к отфильтрованному раствору добавили 320 мл 5% (по массе) раствора гидроксида натрия (плотность раствора принять равной плотности воды 1 г/мл) и дополнительно 275 мл дистиллированной воды, получив раствор 2. Во сколько раз после всех манипуляций изменилась молярная концентрация раствора 1?

Решение

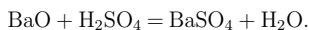
На первом этапе рассчитаем молярную концентрацию серной кислоты в растворе 1.

$$\begin{aligned} C(\text{H}_2\text{SO}_4) &= \frac{\vartheta(\text{H}_2\text{SO}_4)}{V(\text{р-ра } 1)} = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{р-ра } 1)} = \frac{\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot m(\text{р-ра к.})}{M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{р-ра } 1)} = \\ &= \frac{\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{р-ра к-ты}) \cdot \rho(\text{р-ра к-ты})}{M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot (V(\text{в}) + V(\text{р-ра к-ты}))} = \frac{56\% \cdot 100 \text{ мл} \cdot 1,4 \text{ г/мл}}{100\% \cdot 98 \text{ г/л} \cdot 200 \text{ мл} \cdot 10^{-3}} = \\ &= 4 \text{ моль/л}. \end{aligned}$$

(3 балла за пункт)

Количество вещества серной кислоты в растворе 1 составляет 0,8 моль.

При взаимодействии серной кислоты с оксидом бария происходит выпадение осадка сульфата бария:



В ходе реакции происходит выделение воды, часть которой остается с осадком и удаляется в ходе прокаливании. Рассчитаем количество вещества выпавшего осадка

и выделившейся воды:

$$\vartheta(\text{BaSO}_4) = \frac{m(\text{сух.ос.})}{M(\text{BaSO}_4)} = \frac{46,6 \text{ г}}{233 \text{ г/моль}} = 0,2 \text{ моль},$$

$$\vartheta(\text{H}_2\text{O}) = \vartheta(\text{BaSO}_4) = 0,2 \text{ моль}.$$

Тогда, масса выделившейся воды равна:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \vartheta(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 0,2 \text{ моль} \cdot 18 \text{ г/моль} = 3,6 \text{ г}.$$

Массу потерянной воды можно узнать следующим образом:

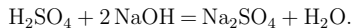
$$m(\text{пот.воды}) = m(\text{ос.до пр.}) - m(\text{сух.ос.}) = 48,8 \text{ г} - 46,6 \text{ г} = 2,2 \text{ г}.$$

Тогда масса оставшейся воды составляет 1,4 г.

(4 балла за пункт)

По уравнению реакции во взаимодействие с оксидом бария вступило 0,2 моль серной кислоты.

При добавлении к фильтрату раствора щелочи проходит реакция нейтрализации с выделение воды:



Рассчитаем количество вещества гидроксида натрия, вступившего в реакцию:

$$\begin{aligned} \vartheta(\text{NaOH}) &= \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = \frac{\omega(\text{NaOH}) \cdot m(\text{р-ра щел.})}{M(\text{NaOH})} = \\ &= \frac{\omega(\text{NaOH}) \cdot V(\text{р-ра щел.}) \cdot \rho(\text{р-ра к-ты})}{M(\text{NaOH})} = \frac{5\% \cdot 320 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл}}{100\% \cdot 40 \text{ г/моль}} = 0,4 \text{ моль}. \end{aligned}$$

По уравнению реакции во взаимодействие с гидроксидом натрия вступило 0,2 моль серной кислоты.

Масса выделившейся воды равна:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \vartheta(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = \frac{\vartheta(\text{NaOH}) \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{2} = \frac{0,4 \text{ моль} \cdot 18 \text{ г/моль}}{2} = 3,6 \text{ г}.$$

(3 балла за пункт)

После всех реакций количество вещества серной кислоты стало:

$$\vartheta(\text{ост.к-ты}) = 0,8 \text{ моль} - 0,2 \text{ моль} - 0,2 \text{ моль} = 0,4 \text{ моль}.$$

Тогда молярная концентрация серной кислоты в растворе 2 равна:

$$\begin{aligned} C(\text{кон. H}_2\text{SO}_4) &= \frac{\vartheta(\text{ост.к-ты})}{V} = \\ &= \frac{\vartheta(\text{ост.к-ты})}{V(\text{в}) + V(\text{р-ра к.}) + m(\text{ост.воды}) \cdot \rho(\text{в}) + V(\text{р-ра щел.}) + m(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{в}) + V(\text{л})} = \\ &= \frac{0,4 \text{ моль}}{(100 \text{ мл} + 100 \text{ мл} + 1,4 \text{ г} \cdot 1 \text{ г/мл} + 320 \text{ мл} + 3,6 \text{ г} \cdot 1 \text{ г/мл} + 275 \text{ мл}) \cdot 10^{-3}} = 0,5 \text{ моль/л}. \end{aligned}$$

Рассчитаем во сколько раз поменялась молярная концентрация серной кислоты:

$$n = \frac{C(\text{H}_2\text{SO}_4)}{C(\text{кон. H}_2\text{SO}_4)} = \frac{4 \text{ моль/л}}{0,5 \text{ моль/л}} = 8.$$

(5 баллов за пункт)

Физика. 8–9 классы

Задача VI.1.3.1. Квадрокоптер (20 баллов)

Условие

Оцените мощность каждого из моторов квадрокоптера массой 400 г в момент его неподвижного зависания, если длина каждой из лопастей равна 5 см, а плотность воздуха — 1 кг/м^3 .

Решение

Квадрокоптер удерживается в воздухе неподвижно за счет равенства сил тяжести и силы, вызванной импульсом отталкиваемого воздуха.

$$mg = \frac{4\Delta p}{\Delta t}.$$

Пусть скорость, с которой воздух направляется лопастью, равна V . Тогда, очевидно, за время Δt вниз направляется такая масса воздуха Δm , которая находится в цилиндре с площадью основания, равной площади лопасти, и образующей $V\Delta t$.

$$\Delta m = \rho\pi R^2 V\Delta t.$$

Следовательно, импульс будет равен

$$\Delta p = \Delta mV = \rho\pi R^2 V^2 \Delta t.$$

Подставим и выразим скорость

$$mg = 4\rho\pi R^2 V^2 \rightarrow V = \frac{1}{2R} \sqrt{\frac{mg}{\rho\pi}}.$$

Мощность двигателя равна кинетической энергии воздуха, разогнанного в единицу времени

$$N\Delta t = \frac{\Delta mV^2}{2} = \frac{\rho\pi R^2 V^3 \Delta t}{2} \rightarrow N = \frac{\rho\pi R^2 V^3}{2}.$$

Подставим скорость

$$N = \frac{\rho\pi R^2}{2} \left(\frac{1}{2R} \sqrt{\frac{mg}{\rho\pi}} \right)^3 = \frac{1}{16R} \sqrt{\frac{(mg)^3}{\rho\pi}} = 5,5 \text{ Вт}.$$

Ответ: 5,5 Вт.

Задача VI.1.3.2. Астероид (20 баллов)

Условие

Каким должен быть радиус астероида с плотностью 3000 кг/м^3 , чтобы космонавт, идущий по его поверхности со скоростью 5 м/с , мог, оторвав одновременно обе ноги от поверхности, превратиться в искусственный спутник?

$$G = 6,6 \cdot 10^{-11} (\text{Н} \cdot \text{м}^2) / \text{кг}^2.$$

Решение

Выведем условие для первой космической скорости

$$\frac{V^2}{R} = G \frac{M}{R^2} \rightarrow V^2 = G \frac{M}{R}.$$

Подставим массу астероида и выразим радиус

$$M = \rho \frac{4}{3} \pi R^3 \rightarrow V^2 = G \rho \frac{4}{3} \pi R^2 \rightarrow R = \sqrt{\frac{3V^2}{4G\rho\pi}} = 5,5 \text{ км.}$$

Ответ: 5,5 км.

Задача VI.1.3.3. Электрические цепи (30 баллов)**Условие**

Найти общее сопротивление цепи при условии, что все резисторы одинаковые и сопротивление каждого из них равно 5 Ом.

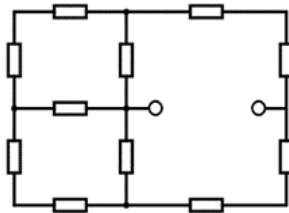


Рис. VI.1.1

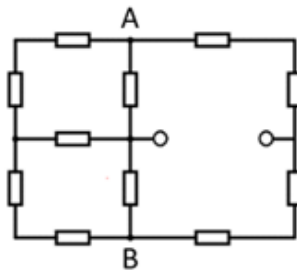
Решение

Рис. VI.1.2

Напряжение между точками А и В равно нулю, следовательно, схему можно свести к следующей ему виду.

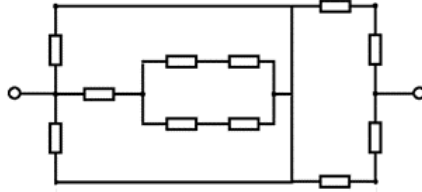


Рис. VI.1.3

Упростим схему и найдем общее сопротивление.

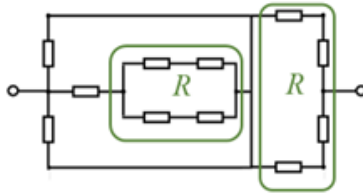


Рис. VI.1.4

Очевидно, что общее сопротивление равно $0,4R + R = 1,4R = 7$ Ом.

Ответ: 7 Ом.

Задача VI.1.3.4. Чайник (30 баллов)

Условие

Чайник с водой, имеющей температуру 20°C , поставили на газовую плиту. При этом он нагрелся до 40°C за 1 мин. Желая ускорить нагрев, половину воды вылили, и еще через 1 мин температура воды достигла 55°C . Так как и это показалось медленным, вылили еще половину оставшейся воды, но при этом вдвое убавили мощность плиты. Через какое время чайник все-таки нагреется до 100°C ? Потерями тепла в окружающую среду можно пренебречь.

Решение

Запишем уравнение теплового баланса для трех случаев:

$$Nt_1 = C_B(T_1 - T_0) + C_Ч(T_1 - T_0),$$

$$Nt_2 = \frac{C_B(T_2 - T_1)}{2} + C_Ч(T_2 - T_1),$$

$$\frac{Nt_3}{2} = \frac{C_B(T_3 - T_2)}{4} + C_ч(T_3 - T_2).$$

Где C_B и $C_ч$ — теплоемкости воды и чайника соответственно. Поскольку $2t_2 = t_1$.

$$\frac{C_B(T_2 - T_1)}{2} + C_ч(T_2 - T_1) = \frac{1}{2}(C_B(T_1 - T_0) + C_ч(T_1 - T_0)).$$

После подстановки числовых значений получим $2C_ч = C_B$. Поставим это в первое и третье уравнение:

$$Nt_1 = 3C_ч(T_1 - T_0),$$

$$\frac{Nt_3}{2} = \frac{C_ч(T_3 - T_2)}{2} + C_ч(T_3 - T_2) \rightarrow Nt_3 = \frac{3}{2}C_ч(T_3 - T_2).$$

Выразим t_3 :

$$t_3 = \frac{t_1(T_3 - T_2)}{2(T_1 - T_0)} = 4,5 \text{ мин.}$$

Ответ: 4,5 мин.

Физика. 10–11 классы

Задача VI.1.4.1. Статика (20 баллов)

Условие

Тонкий однородный стержень упирается в вертикальную стену и удерживается нитью (см. рис. VI.1.6). Найти коэффициент трения между стеной и стержнем, при котором система будет находиться в равновесии, если масса стержня равна 1 кг, а угол α равен 20°C .

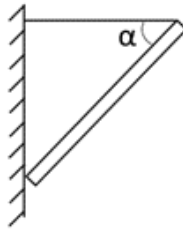


Рис. VI.1.5

Решение

Чтобы стержень оставался неподвижным, сумма моментов сил, действующих на него относительно центра масс (центра стержня) должна быть равна 0.

$$T \frac{l}{2} \sin \alpha + N \frac{l}{2} \sin (90) = \mu N \frac{l}{2} \sin (90 - \alpha) \rightarrow (T + N) \sin \alpha = \mu N \cos \alpha.$$

Запишем силы, действующие на стержень по двум осям:

$$OX : T = N,$$

$$OY : mg = \mu N.$$

$$\text{Таким образом, } T = \frac{mg}{\mu},$$

$$2 \frac{mg}{\mu} \sin \alpha = \mu mg \cos \alpha \rightarrow \mu = 2 \operatorname{tg} \alpha = 0,73.$$

Ответ: 0,73.

Задача VI.1.4.2. Динамика (30 баллов)

Условие

Тело массой m скользит по шероховатой поверхности. График зависимости скорости тела от его координаты изображен на рисунке VI.1.6. Найти зависимость силы трения от координаты.

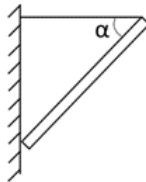


Рис. VI.1.6

Решение

Функция скорости от координаты будет описываться следующим образом:

$$V(x) = V_0 \left(1 - \frac{x}{S}\right),$$

$$F_{\text{ТР}} = m|a| = m \left| \frac{dV}{dx} \right| \cdot \left| \frac{dx}{dt} \right| = m \frac{V_0}{S} V(t).$$

Поскольку x тоже функция времени, то можно перейти от $V(x)$ к $V(t)$, следовательно:

$$F_{\text{ТР}} = m \frac{V_0^2}{S} \left(1 - \frac{x}{S}\right).$$

Ответ: $F_{\text{ТР}} = m \frac{V_0^2}{S} \left(1 - \frac{x}{S}\right).$

Задача VI.1.4.3. Электрические цепи (20 баллов)

Условие

Электрическая цепь состоит из 9 одинаковых резисторов и трех идеальных амперметров. Через амперметр A_0 протекает ток 9 мА. Найти токи, протекающие через амперметры A_1 и A_2 .

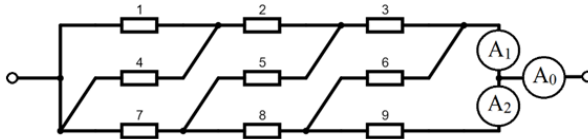


Рис. VI.1.7

Решение

Упростим схему и направим токи.

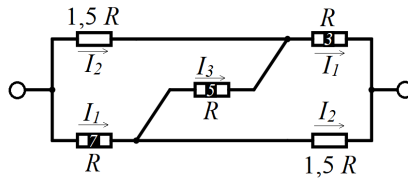


Рис. VI.1.8

Очевидно, что: $I_0 = I_1 + I_2$ и $I_2 = I_1 + I_3$, тогда:

$$1,5RI_2 = RI_1 + RI_3 \rightarrow I_1 = 5 \text{ мА}, I_2 = 4 \text{ мА}.$$

Вернемся к исходной схеме.

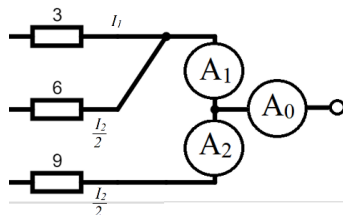


Рис. VI.1.9

Ток через второй амперметр равен $\frac{I_2}{2} = 2 \text{ мА}$, а через первый $\frac{I_2}{2} = 7 \text{ мА}$.

Ответ: 7 мА, 2 мА.

Задача VI.1.4.4. Тепловой цикл (30 баллов)

Условие

Неидеальный газ адиабатически расширился, совершив при этом работу. Далее этот газ изохорически перевели в состояние с начальной температурой и изотермическим процессом вернули в исходное состояние. Найти работу, совершенную при адиабатическом расширении, если в изохорическом процессе к нему было подведено количество теплоты $Q = 100$ Дж, а в изотермическом процессе газом была совершена работа $A = 30$ Дж. Внутренняя энергия газа имеет вид $U = \frac{1}{3}p(T)V$, где $p(T)$ является функцией только температуры.

Решение

Изобразим цикл в координатах $P(V)$.

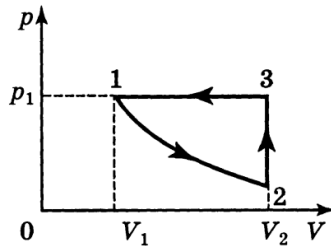


Рис. VI.1.10

Так как цикл замкнут, то изменение внутренней энергии за цикл равно 0.

$$\Delta U_{12} + \Delta U_{23} + \Delta U_{31} = 0.$$

$\Delta U_{23} = Q_{23} = Q$, т. к. процесс изохорический $3 \rightarrow 1$ изотерма, т. к. давление постоянное и зависит только от температуры.

$$\Delta U_{31} = U_1 - U_3 = p(T_1)(V_1 - V_2) = -\frac{1}{3}(V_2 - V_1)p_1 = \frac{1}{3}A_{31} = \frac{A}{3},$$

$$A_{12} = -\Delta U_{12} = \Delta U_{23} + \Delta U_{31} = \frac{A}{3} + Q = 110 \text{ Дж.}$$

Ответ: $A_{12} = \frac{A}{3} + Q = 110$ Дж.

Инженерный тур

Общая информация

Участникам предлагается создать модельные наночастицы, потенциально способные к направленной доставке лекарственных средств в необходимые ткани организма, получить магнитные наночастицы на основе оксидов железа с гидрофобной или гидрофильной оболочкой, а их поверхность модифицировать флюоресцирующими лигандами.

Легенда задачи

Магнитные наночастицы (МНЧ) имеют высокий потенциал в медицине как средства для диагностики, визуализации и терапии различных заболеваний. Сегодня они уже применяются для лечения анемии, а также проходят клинические испытания для лечения рака простаты, остеосаркомы и отека роговицы.

МНЧ — важнейший компонент магнитных жидкостей, на основе которых разрабатываются уникальные методы магнитожидкостной гипертермии (магнитной гипертермии) и управляемой магнитным полем локальной доставки лекарств (магнитной доставки препаратов), гормонов и т. п. в требуемое место в необходимом объеме.

Магнитные наночастицы должны быть биосовместимы, для этого им создают специальную защитную оболочку. Дополнительная модификация МНЧ флюоресцирующими лигандами позволяет в дальнейшем визуализировать процесс доставки или осуществлять диагностику заболеваний.

Требования к команде и компетенциям участников

Количество участников в команде: 2–3 человека.

Компетенции, которыми должны обладать члены команды:

1. Химик-синтетик. Отвечает за синтез всех необходимых для задачи веществ, решает расчетные химические задачи. Этому участнику важно уметь читать и понимать инструкцию, планировать эксперимент и время, которое на него нужно потратить. Ему будет полезно иметь базовые навыки работы в лаборатории. Химику-синетику следует обращать особое внимание на соблюдение правил техники безопасности в лаборатории.
2. Физик-исследователь. Осуществляет оценку качества продукта, составляет программу доработки прототипа, работает с приборами для физико-химических методов анализа. Опционально руководит процессом разработки, отвечает за продуктивную коммуникацию внутри команды. Физик-испытатель должен держать в голове полную картину происходящего и выдавать корректное ТЗ инженеру и синтетику.

3. Биолог-исследователь. Проводит анализ продукта на заданные биологические свойства, работает с приборами для соответствующих исследований.

Роли могут быть совмещены в одном человеке. Частично они могут пересекаться, но обязательно хотя бы один участник должен уметь решать расчетные задачи по химии и хотя бы один — уметь работать в лаборатории руками (это могут быть разные люди). Роль химика-синтетика критично важна для выполнения финальной задачи.

Оборудование и программное обеспечение

Наименование	Описание
Магнитная мешалка с нагревом до 300 °С	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 третьего знака после запятой)	Для взвешивания веществ
Аналитические весы (до четвертого знака после запятой)	Для взвешивания веществ
Сушильный шкаф с нагревом до 150 °С	Для сушки посуды, сушки частиц
Ультразвуковая ванна	Для диспергирования частиц, проведения синтеза
Центрифуга (для пробирок до 2 мл)	Для осаждения частиц
Анализатор размера частиц	Для анализа размера частиц
Спектрофлуориметр	Для анализа связывания флуоресцентной метки с МНЧ
Ультрафиолетовая лампа	Для анализа чистоты суспензии МНЧ с флуоресцентной меткой
Магнит	Для осаждения МНЧ
Набор химической посуды для каждой команды	Магнитные мешалки — 2 шт. Стеклянные палки — 2 шт. Мерные цилиндры объемом 50 и 25 мл — по 1 шт. Градированная пипетка 5 мл — 1 шт. Груша — 1 шт. Стаканы 10 мл — 5 шт. Стаканы 25 мл — 3 шт. Стаканы 50 мл — 2 шт. Стаканы 100 мл — 2 шт. Часовые стекла (двух разных диаметров) — 5 шт. Промывалка с дистиллированной водой — 1 шт. Пипетки Пастера пластиковые — неограниченно. Банки для хранения растворов/образцов: 30 мл — 5 шт, 50 мл — 5 шт. Эппендорфы 2 мл — неограниченно Криопробирки 5 мл — 10 шт. Вialsы стекло 12 мл — 5 шт.

Наименование	Описание
	Шпатель для взвешивания: металлический — 1 шт. и пластиковый — 1 шт. Носики для автоматических пипеток (1000 мкл, 200 мкл, 20 мкл) — неограниченно Пластиковый пинцет — 1 шт. Чашки Петри — 1 набор Воронки маленькие — 2 шт. Штатив для пробирок (10 гнезд) — 1 шт. Средства индивидуальной защиты Фильтровальная бумага — неограниченно Бумага для записей — неограниченно Маркер для подписи посуды — 1 шт. Вата — неограниченно Ножницы — 5 шт. на все команды Парафилм — 1 рулон на лабораторию Бумажные полотенца — 1 рулон на лабораторию Средства для мытья посуды Индикаторная бумага
Набор реактивов для каждой команды	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 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (25% масс.) — общее пользование H_2SO_4 (30% масс.) — 100 мл CH_3COONa (безводный) — 10 г Изопропиловый спирт — 500 мл Дистиллированная вода — неограниченно КОН — 5 г Олеиновая кислота — 9 мл 3-Аминопропилтриэтоксисилан (APTES) — 9 мл Тетраэтоксисилан (TEOS) — 9 мл Силикат натрия Na_2SiO_3 — 9 мл L-Лизин (Lys) — 1 г Дихлорметан безводный (ДХМ) — 15 мл Флуоресцеин (F) — 0,1 г Диметилловый эфир дейтеропорфирина (DP) — 0,1 г 1,3-Дициклогексилкарбодимид (ДЦК) — 0,1 г 4-Диметиламинопиридин (DMAPI) — 0,05 г Ацетон (для мытья посуды) — общее пользование
Набор средств индивидуальной защиты	Халат Защитные очки Нитриловые перчатки

Описание задачи

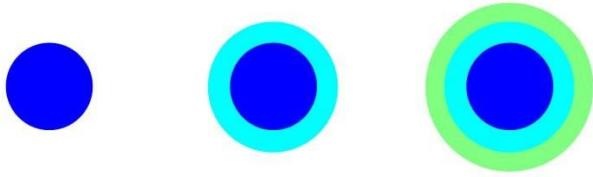
Заключительный этап НТО 2024 года по профилю Наносистемы и наноинженерия посвящен разработке и синтезу наноразмерных конструкций для медицины.

В описании финальной задачи вы найдете:

- три базовые методики получения МНЧ;
- четыре методики возможных модификаций поверхности МНЧ;
- две методики введения флуоресцентной метки в структуру МНЧ.

Для ряда методик предлагается несколько вариантов выполнения эксперимента. В течение всей работы вам предстоит вести лабораторный журнал в офлайн-формате.

Основная схема решения комплексной инженерной задачи и этапы оценки

			
Этап	Синтез МНЧ	Модификация поверхности МНЧ	Введение флуоресцентной метки
Особенности этапа и вариативность	Три метода: одинаковые исходные соединения	Четыре метода: четыре разных соединения для модификации	Два метода: две разные флуоресцентные метки
Ключевые характеристики	Магнитные свойства	Анализ размера МНЧ	Подтверждение введения флуоресцентной метки в структуру МНЧ
Подтверждение характеристик	Фиксация магнитных свойств экспертом	<ol style="list-style-type: none"> 1. Подготовка образца. 2. Сдача образца на анализ. 3. Обработка результатов. 4. Фиксация результатов экспертом 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Подготовка образца. 2. Сдача образца на анализ. 3. Фиксация результатов экспертом-оператором.
Максимальное количество баллов за одну методику	10 баллов	5 баллов за модификацию. 30 баллов за МНЧ с наиболее оптимальным размером частиц	30 баллов за МНЧ с флуоресцентной меткой при высокой интенсивности люминесценции
Сколько можно заработать	Учитывается один раз за одну методику	Учитывается наилучший результат, полученный по одной методике	Учитывается наилучший результат, полученный по одной методике

Синтез магнитных наночастиц

Метод 1. Вариант 1

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. После этого ввели 25% раствор аммиака, довели раствор до pH 10. Затем прекратили перемешивание и осадили полученные частицы магнитом. Полученные частицы промыли несколько раз дистиллированной водой.

Метод 1. Вариант 2 [1]

Смесь 1 мл FeSO_4 (0,4 М растворили в 0,1 М H_2SO_4) и 2 мл FeCl_3 (0,4 М растворили в 0,1 М H_2SO_4) разбавили 30 мл дистиллированной воды, затем при перемешивании добавили 4 мл $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (25% масс.). После перемешивания в течение 1 ч добавили 0,3 М раствор серной кислоты, доводили значение pH до 7,0, после чего еще 4 ч перемешивали при комнатной температуре.

Метод 2. [2]

1,17 г $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и 0,6 г $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (молярное соотношение 1,75 : 1 соответственно) растворили в 50 мл воды и интенсивно перемешивали при температуре 70°C . Через 1 ч быстро добавили 5 мл раствор NH_4OH (25%) и перемешивали еще 1 ч. Затем раствор охладили до комнатной температуры. Частицы осаждали магнитом, промывали пять раз горячей водой, сушили при 50°C всю ночь.

Метод 3. [3]

0,2 М водный раствор $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (100 мл) смешивали с 0,5 М раствором NH_4OH (100 мл) и обрабатывали ультразвуком при комнатной температуре в течение 5 мин до образования коллоидального $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Затем добавили 0,2 М водный раствор $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (50 мл) при обработке ультразвуком (5 мин) и добавили 0,5 М раствор NH_4OH (300 мл). Полученный магнетитовый коагулят оставляли на 30 мин, частицы осаждали магнитом, быстро промывали водой 7 раз. Полученные частицы обрабатывали ультразвуком в течение 5 мин в 0,3 М растворе ацетата натрия (16 мл) и снова промывали осадок водой 7 раз до получения стабильных частиц.

Стабилизация МНЧ

Получение модифицированных МНЧ

Метод 1. Олеиновая кислота. Вариант 1

Модификация проводилась действием олеинового мыла. Олеиновое мыло готовилось следующим образом: в 15–20 мл 16% раствора аммиака вносили 1 мл олеиновой

кислоты. Смесь перемешивали до тех пор, пока вся кислота не прореагировала (мыло стало прозрачным). Далее к 2,4 г диспергированных МНЧ в 10–20 мл дистиллированной воды добавляли олеиновое мыло. Смесь хорошо перемешивали, чтобы на дне не было осадка, и помещали в ультразвуковую ванну на 10 мин.

Спустя 10 мин при перемешивании добавляли 10–15% раствор серной кислоты для нейтрализации, ориентируясь на появления двух качественных признаков:

- на палочке оседают комки магнетита;
- пена становится белой или полностью исчезает.

Затем дважды промывали водой осадок на магните. Поскольку магнетит теперь стал гидрофобным, он хорошо отделялся и слипался. После промывки воду сливали и еще трижды промывали осадок изопропиловым спиртом.

Метод 1. Олеиновая кислота. Вариант 2 [4]

2 г частиц хорошо диспергировали в 200 мл изопропилового спирта с помощью ультразвука. Добавляли 50 мл олеиновой кислоты при постоянном перемешивании при температуре 80 °С. Образованные частицы фильтровали через фильтровальную бумагу, трижды промывали дистиллированной водой, осадок отделяли от фильтровальной бумаги изопропиловым спиртом, сушили при комнатной температуре.

Метод 1. Олеиновая кислота. Вариант 3 [5]

К 10 г магнитных наночастиц в 150 мл воды добавили 3 мл олеиновой кислоты и перемешивали при 80 °С в течение 1 ч. Полученные модифицированные МНЧ собирали методом магнитной сепарации, несколько раз промывали водой и изопропиловым спиртом и сушили при 60 °С в течение 12 ч.

Метод 2. Тетраэтоксисилан. Вариант 1 [3]

2 г магнитных наночастиц диспергировали в 60 мл воды, рН дисперсии доводили до значения 11 добавлением 25% раствором гидроксида аммония, затем добавили раствор TEOS (2,5 мл) в изопропиловом спирте (25,5 мл). Смесь перемешивали в течение 18 ч при 23 °С до полного гидролиза TEOS и присоединения к поверхности оксида железа. Полученные наночастицы промывали шесть раз водой методом магнитной сепарации/декантации.

Метод 2. Тетраэтоксисилан. Вариант 2 [1]

50 мл 0,2% (масс.) раствора силиката натрия добавили к магнитным наночастицам полученным по «Метод 1. Вариант 2» (оригинальные загрузки) и перемешивали при комнатной температуре в течение 4 ч. Затем 2 мл полученный золь (с магнитными наночастицами) разбавили 10 мл дистиллированной воды и диспергировали в 40 мл изопропилового спирта с помощью ультразвука. Далее к смеси последовательно добавили 2 мл $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (25% масс.) и 40 мкл TEOS. Реакционную массу перемешивали в течение 12 ч при комнатной температуре.

Метод 3. (3-Аминопропил)триэтоксисилан. Вариант 1[2]

Магнитные наночастицы частицы массой 0,7 г растворяли в 25 мл растворе изопропиловый спирт-вода (объемное соотношение 1 : 1) и обрабатывали ультразвуком до получения однородной дисперсии. Добавили 2,8 мл АРТЕS, при этом температуру воды в ванне поддерживали на уровне 40 °С, и обработку ультразвуком продолжали еще 10 мин. Далее реакционную массу перемешивали в течение 2 ч при 40 °С. Полученные частицы осаждали магнитом, пять раз промывали изопропиловым спиртом и водой и сушили при 50 °С в течение ночи.

Метод 3. (3-Аминопропил) триэтоксисилан. Вариант 2 [1]

Наночастицы, полученные по «Метод 2. Тетраэтоксисилан. Вариант 1» диспергировали в 100 мл воды, добавили раствор 2,63 г АРТЕS в 100 мл изопропилового спирта, *pH* смеси доводили до 11 несколькими каплями 40%-ного водного раствора КОН. Реакционную смесь затем нагревали при 50 °С в течение 5 ч при перемешивании. После охлаждения наночастицы промывали водой шесть раз с использованием магнитной сепарации/декантации для удаления несвязанного АРТЕS из дисперсии.

Метод 4. L-Лизин [2]

1,17 г $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и 0,6 г $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ растворяли в 50 мл дистиллированной воды и интенсивно перемешивали при 70 °С. Через 30 мин быстро добавили раствор 1,6 г L-лизина в 6 мл дистиллированной воды. Еще через 30 мин быстро добавили 5 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 °С в течение ночи.

Введение флуоресцентной метки

Метод 1. Вариант 1 [1]

К 200 мг магнитных наночастиц добавили раствор 60 мкл TEOS в 10 мл изопропилового спирта и 15 мл 0,3 ммоль/л раствора флуоресцирующего соединения в изопропиловом спирте. Реакционную массу перемешивали в течение 24 ч. Полученные меченые частицы многократно промывали изопропиловым спиртом до полного удаления несвязанного флуоресцирующего соединения.

Метод 1. Вариант 2 [6]

Флуоресцирующее соединение смешивали с модифицированными магнитными наночастицами в массовом соотношении 3 : 1 соответственно. Реакцию проводили в изопропиловом спирте так, что отношение объема растворителя к массе твердых МНЧ составляло 500 мкл/мг, реакционную смесь перемешивал в течение 20 мин при комнатной температуре. Полученные меченые частицы несколько раз промывали изопропиловым спиртом для удаления несвязанного флуоресцирующего соединения.

Метод 2. Вариант 1. [7]

К раствору флуоресцирующего соединения (0,025 ммоль) в 10 мл дихлорметана добавили 0,5 г (2,4 ммоль) N,N-дициклогексилкарбодимида, 0,04 г (0,33 ммоль) 4-диметиламинопиридина и 0,05 г модифицированных МНЧ. Раствор перемешивали в течение 12 ч при комнатной температуре. Продукт промывали изопропиловым спиртом и собирали с помощью магнита.

Метод 2. Вариант 2 [8]

Флуоресцирующее соединение (0,02 ммоль) растворили в 10 мл дихлорметана, добавили 2,9 мг (0,01 ммоль) N,N-дициклогексилкарбодимида и 0,17 мг (1,4 мкмоль) 4-диметиламинопиридина. 10 мг модифицированных МНЧ диспергировали в 2 мл дихлорметана, добавили к реакционной смеси и перемешивали в течение 10 ч. Полученные частицы собирали с помощью магнита и дважды промывали водой и изопропиловым спиртом.

Подготовка образцов для анализа

Приготовление образцов для определения размеров 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 5 мин обработать УЗ.

Растворы МНЧ, полученные по методам №№ 1, 2 (с олеиновой кислотой и TEOS), готовить в изопропиловом спирте.

Растворы МНЧ, полученные по методам №№ 3, 4 (с APTES и лизином) готовить в воде.

Все образцы должны быть профильтрованы через бумажный фильтр.

Приготовление образцов для флуориметрического анализа

Для проведения анализа необходимо приготовить два образца: стабилизированные МНЧ, до модификации флуоресцентной меткой и после. Для этого 5 мг каждого образца растворяют в 4 мл изопропилового спирта и обрабатывают образцы действием УЗ в течение 5 мин.

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 посуду можно отмыть ацетоном или изопропиловым спиртом.

Все водные растворы с МНЧ сливаются в водный слив. Все органические растворы (со спиртом, ацетоном и дихлорметаном) сливаются в органический слив.

Система оценивания

1. Оценка получения МНЧ

Магнитные наночастицы должны обладать магнитными свойствами.

Оценка свойств проводится магнитом.



2. Оценка получения модифицированных (стабилизированных) МНЧ и их размеров

Оценка проведенной модификации поверхности МНЧ для методов №№ 1, 2 проводится на основе анализа гидрофобных свойств (поведение частиц в воде), для методов №№ 3, 4 — на основе визуального анализа сухих МНЧ (сравнение с эталонными образцами).

Оценка размера модифицированных МНЧ осуществляется 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 — 80–120 нм.

Шкала баллов в зависимости от полученных размеров частиц (промежуточные значения рассчитываются интерполяцией).

Размер МНЧ	2 нм	10 нм	50 нм	80–120 нм	150 нм	200 нм	300 нм
Баллы	0	10	20	30	20	10	0

3. Оценка связывания флуоресцентной метки со стабилизированными МНЧ

Оценка связывания флуоресцентной метки с модифицированными (стабилизированными) МНЧ 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 МНЧ без флуоресцентной метки и с флуоресцентной меткой. Наибольший балл можно получить за максимальную разницу интенсивностей двух образцов.

Оператор может отказать участникам в анализе образцов, если они плохо приготовлены (суспензии нестабильны, много крупных частиц, цвет образца отличается от эталонного — много непрореагировавшего флуоресцирующего вещества).

Шкала баллов в зависимости от разницы интенсивности.

Разница интенсивности	Меньше 2	2–6	6–9	Более 10
Баллы	0	10	20	30

Оценка выполнения командной задачи будет складываться из четырех основных компонентов:

1. Оценка магнитных свойств полученных наночастиц. Работает принцип «наличие/отсутствие» результата. Максимальное количество баллов — 40.
Оценка проводится действием магнита.
2. Оценка получения модифицированных МНЧ. Работает принцип «наличие/отсутствие» результата для оценки гидрофобных и гидрофильных свойств частиц. Максимальное количество баллов — 20. Оценка проводится визуально в сравнении с эталонными образцами.
3. Оценка размера модифицированных МНЧ. Получение МНЧ с заданными размерами, для каждого типа модификации устанавливаются минимальные и оптимальные возможные значения размеров. Между максимальным и минимальным количеством баллов возможны промежуточные варианты в зависимости от среднего размера полученных МНЧ. Максимальное количество баллов — 120.
4. Оценка введения флуоресцентной метки в МНЧ. Оценка проводится спектрофлуориметрической. Проводится сравнение спектров флуоресценции модифицированных МНЧ с флуоресцентной меткой и без нее, сравнивается разность интенсивности флуоресценции. При наибольшей разнице интенсивности выставляется наибольший балл, возможны промежуточные варианты в зависимости от разницы интенсивности. Максимальное количество баллов — 180.

Штрафы. 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 будут сниматься, вплоть до получения нуля баллов по этому критерию. Уйти в отрицательные значения и затронуть баллы за другие части задачи нельзя.

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.

Требование безопасности	Потеря баллов
Работу с реактивами необходимо проводить в защитных очках и лабораторных перчатках (любое взаимодействие с емкостями и манипуляции с ними).	3
Взаимодействовать с реактивами (пробовать на вкус, неправильно нюхать, использовать легковоспламеняющиеся жидкости вблизи горячих поверхностей и т. д.) следует в соответствии с установленными правилами.	3
При работе с горячими поверхностями (плитка, муфельная печь) запрещено использовать латексные или нитриловые лабораторные перчатки, требуется использование защитных очков и жаростойких перчаток.	3

Требование безопасности	Потеря баллов
Использование приборов, которое может привести к их поломке или нанесению потенциального вреда человеку, должно вестись строго в соответствии с инструкцией.	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 (количество баллов за критерии может быть другим):

Итоговый балл = баллы за ТБ (от 0 до 15) + баллы за получение МНЧ (от 0 до 40) + баллы за модификацию поверхности МНЧ (от 0 до 20 + от 0 до 120) + баллы за введение флуоресцентной метки в МНЧ (от 0 до 180).

Подведение итогов происходит в конце каждого рабочего дня. В любой день в течение рабочего времени команда может приходить и сдавать результаты работы на оценку эксперту на площадке. Команда может сдавать итоги работы несколько раз (возможно ограничение по числу во избежание очередей на сдачу), засчитывается лучший результат, полученный командой. Команда может 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. Насколько подробно вести журнал — выбор команды. В спорных ситуациях — если чего-то нет в лабораторном журнале, значит — не существует. В конце рабочего времени каждого соревновательного дня (см. п. 6) версия электронного журнала загружается на онлайн-диск организатора.

В электронном журнале обязательно фиксируется дата, время выполнения эксперимента и сдача полученных результатов эксперту.

Решение задачи

На первом этапе решения КИЗ необходимо подобрать оптимальную методику получения базовых МНЧ. Для этого можно использовать любой метод из приведенных в условии задачи:

- переосаждение;
- термическое разложение;
- обработку ультразвуком.

Полученные МНЧ должны показывать свои магнитные свойства, а именно, при поднесении к ним магнита взаимодействовать с ним. Для подбора методики возможно уменьшение загрузок с целью экономии реактивов. После выбора оптимальной методики возможно масштабирование эксперимента для получения МНЧ в количествах, достаточных для выполнения следующих этапов.

Второй этап работы заключался в модификации поверхности МНЧ гидрофобными (олеиновая кислота и TEOS) и гидрофильными оболочками (APTES и лизин).

Важно, что перед каждой модификацией базовые МНЧ необходимо диспергировать действием ультразвука, для достижения необходимого размера.

Модификация поверхности не диспергированных МНЧ может привести к размерам, не укладывающимся в оптимальные (заданные) значения. Один из методов модификации поверхности МНЧ также нес в себе и отдельный метод их получения (модификация поверхности лизином). Гидрофобные МНЧ не должны взаимодействовать с водой, они стараются максимально избежать этого взаимодействия, образуя эмульсии в ней. В свою очередь, гидрофильные МНЧ комфортно чувствуют себя в воде, а при высушивании приобретают отличный от базовых МНЧ цвет.

Третий этап заключался в введении флуоресцентной метки. Для это было предложено два пути: ковалентное (с образованием химической связи) и не ковалентное взаимодействие (путем гидрофобных взаимодействий). В качестве меток были предложены производное порфирина, способное в условиях задачи лишь к гидрофобным не ковалентным взаимодействиям с гидрофобными МНЧ, и флуоресцеин, который мог взаимодействовать как с гидрофобными, так и гидрофильными МНЧ.

Ковалентное взаимодействие флуоресцеина достигалось путем взаимодействия его карбоксильной группы с аминогруппами гидрофильных МНЧ. Модифицированные флуорофорами МНЧ исследовали на флуориметре, измеряя разность интенсивностей люминесценции модифицированных и немодифицированных МНЧ.

Для исследования МНЧ модифицированных флуоресцеином длину волны возбуждения устанавливали в 512 нм, а в случае производного порфирина — в 620 нм. При грамотном получении модифицированных МНЧ разница интенсивность составляла больше 10. В случае допущения ошибок (в частности, при получении МНЧ размеров больше необходимых) наблюдалось иное взаимодействие МНЧ со светом, что может привести к низким показателям флуоресценции.

Для анализа размера частиц и введения флуоресцентной метки важно готовить образцы строго по указанной методике. В случае, если частицы недостаточно стабильны в растворе (быстро оседают), качественно анализ провести невозможно.

Материалы для подготовки

1. 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.
2. Ebrahimezhad A. et al. Preparation of novel magnetic fluorescent nanoparticles using amino acids //Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. – 2013. – Т. 102. – С. 534-539.
3. Chekina N. et al. Fluorescent magnetic nanoparticles for biomedical applications //Journal of Materials Chemistry. – 2011. – Т. 21. – №. 21. – С. 7630-7639.
4. Shete P. B. et al. Water dispersible oleic acid-coated Fe₃O₄ nanoparticles for biomedical applications //Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2015. – Т. 377. – С. 406-410.
5. Mahdavi M. et al. Synthesis, surface modification and characterisation of biocompatible magnetic iron oxide nanoparticles for biomedical applications //Molecules. – 2013. – Т. 18. – №. 7. – С. 7533-7548.
6. Arsalani S. et al. Synthesis of radioluminescent iron oxide nanoparticles functionali-

-
- zed by anthracene for biomedical applications //Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2020. – Т. 602. – С. 125105.
7. Zhou L. et al. Multifunctional fluorescent magnetic nanoparticles: synthesis, characterization and targeted cell imaging applications //Chinese Journal of Chemistry. – 2017. – Т. 35. – №. 6. – С. 977-983.
 8. Topel S. D. et al. Synthesis and characterization of Bodipy functionalized magnetic iron oxide nanoparticles for potential bioimaging applications //Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. – 2015. – Т. 128. – С. 245-253.
 9. Набор материалов с инженерного тура отборочного этапа.

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 не менее 50 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 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 375 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 предметам (химия, физика) с весом $K_1 = 0,2$ каждый предмет и баллы за командное решение задач инженерного тура с весом $K_2 = 0,6$.

Итоговый балл определяется по формуле:

$$S = K_1 \cdot (S_1 + S_2) + K_2 \cdot S_3,$$

где S_1 — балл первой части заключительного этапа по химии (предметный тур) в стобальной системе ($S_{1 \text{ макс}} = 100$);

S_2 — балл первой части заключительного этапа по физике (предметный тур) в стобальной системе ($S_{2 \text{ макс}} = 100$);

S_3 — итоговый балл инженерного командного тура в стобальной системе ($S_{3 \text{ макс}} = 100$).

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 8 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	36,38 и выше
Призеры	От 27,62 до 35,08

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.

Важная задача наставника — превратить неудачу в инструмент будущего успеха. Для этого необходимо вместе с учениками наметить план развития компетенций и подготовки к будущему сезону Олимпиады. 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 (P2P). Такие опросники 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.

Еще одним направлением работы наставника после НТО может стать создание кружка по направлению профилей или по формированию необходимых компетенций: программирование, электроника, робототехника, 3D-моделирование и т. п. Формат подобного кружка может быть различным: короткие модули, дополнительные курсы, факультативы, группы дополнительного образования. Для создания кружков можно воспользоваться образовательными программами, опубликованными на сайте НТО: <https://ntcontest.ru/mentors/education-programs/>.



Важным фактором успешного участия в следующих сезонах НТО может стать поддержка родителей учеников. Знакомство с родителями помогает наставнику продемонстрировать им 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».

