



# НТО

**МАТЕРИАЛЫ ЗАДАНИЙ**  
**Всероссийской междисциплинарной олимпиады**  
**школьников 8–11 класса**  
**«Национальная технологическая олимпиада»**  
**по профилю**  
**«Геномное редактирование»**

2024/25 учебный год

*[ntcontest.ru](https://ntcontest.ru)*

УДК 373.5.016:577.2

ББК 74.262.8

Г34

Авторы:

А. В. Вихорев, О. В. Зубков, О. Ю. Заборская, Е. Е. Катунина, Е. Е. Клейман, О. М. Курченко, Т. А. Маннанов, В. Г. Мартюшова, И. А. Поликарпов, С. Е. Седых, В. И. Соловьев, И. К. Шалик, М. С. Чуприкова, Н. Д. Черновский, А. А. Чусовитин, А. О. Яковлев

**Г34** Всероссийская междисциплинарная олимпиада школьников 8–11 класса «Национальная технологическая олимпиада». Учебно-методическое пособие  
Том 8 **Геномное редактирование**  
— М.: Ассоциация участников технологических кружков, 2025. — 376 с.

ISBN 978-5-908021-07-4

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

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

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

04.00.00 Химия

06.00.00 Биологические науки

18.00.00 Химические технологии

19.00.00 Промышленная экология и биотехнологии

20.00.00 Техносферная безопасность и природообустройство

35.00.00 Сельское, лесное и рыбное хозяйство

36.00.00 Ветеринария и зоотехния

ISBN 978-5-908021-07-4

УДК 373.5.016:577.2

ББК 74.262.8



# Оглавление

<b>1 Введение</b>	<b>5</b>
1.1 Национальная технологическая олимпиада	5
1.2 Геномное редактирование	13
<b>2 Первый отборочный этап</b>	<b>15</b>
2.1 Работа наставника НТО на этапе	15
2.2 Предметный тур. Химия	16
2.2.1 Первая волна. Задачи 8–9 класса . . . . .	16
2.2.2 Первая волна. Задачи 10–11 класса . . . . .	25
2.2.3 Вторая волна. Задачи 8–9 класса . . . . .	36
2.2.4 Вторая волна. Задачи 10–11 класса . . . . .	46
2.2.5 Третья волна. Задачи 8–9 класса . . . . .	59
2.2.6 Третья волна. Задачи 10–11 класса . . . . .	71
2.2.7 Четвертая волна. Задачи 8–9 класса . . . . .	84
2.2.8 Четвертая волна. Задачи 10–11 класса . . . . .	96
2.3 Предметный тур. Биология	110
2.3.1 Первая волна. Задачи 8–9 класса . . . . .	110
2.3.2 Первая волна. Задачи 10–11 класса . . . . .	116
2.3.3 Вторая волна. Задачи 8–9 класса . . . . .	124
2.3.4 Вторая волна. Задачи 10–11 класса . . . . .	130
2.3.5 Третья волна. Задачи 8–9 класса . . . . .	138
2.3.6 Третья волна. Задачи 10–11 класса . . . . .	145
2.3.7 Четвертая волна. Задачи 8–9 класса . . . . .	153
2.3.8 Четвертая волна. Задачи 10–11 класса . . . . .	159
2.4 Предметный тур. Информатика	167
2.4.1 Первая волна. Задачи 8–11 класса . . . . .	167
2.4.2 Вторая волна. Задачи 8–11 класса . . . . .	177
2.4.3 Третья волна. Задачи 8–11 класса . . . . .	187

2.4.4 Четвертая волна. Задачи 8–11 класса . . . . .	200
<b>2.5 Инженерный тур</b>	<b>215</b>
<b>3 Второй отборочный этап</b>	<b>221</b>
<b>3.1 Работа наставника НТО на этапе</b>	<b>221</b>
<b>3.2 Инженерный тур</b>	<b>223</b>
3.2.1 Задания для 8–9 классов . . . . .	223
3.2.2 Задания для 10–11 классов . . . . .	254
<b>4 Заключительный этап</b>	<b>286</b>
<b>4.1 Работа наставника НТО при подготовке к этапу</b>	<b>286</b>
<b>4.2 Предметный тур</b>	<b>288</b>
4.2.1 Биология. 8–9 классы . . . . .	288
4.2.2 Биология. 10–11 классы . . . . .	297
4.2.3 Химия. 8–9 классы . . . . .	309
4.2.4 Химия. 10–11 классы . . . . .	318
<b>4.3 Инженерный тур</b>	<b>329</b>
4.3.1 Общая информация . . . . .	329
4.3.2 Легенда задачи . . . . .	329
4.3.3 Требования к команде и компетенциям участников . . . . .	329
4.3.4 Оборудование и программное обеспечение . . . . .	329
4.3.5 Описание задачи 8–9 классы . . . . .	330
4.3.6 Описание задачи 10–11 классы . . . . .	351
4.3.7 Материалы для подготовки . . . . .	373
<b>5 Критерии определения победителей и призеров</b>	<b>374</b>
<b>6 Работа наставника после НТО</b>	<b>376</b>



# 1. Введение

## 1.1. Национальная технологическая олимпиада

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

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

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

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

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

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

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

## ***Ценности НТО***

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

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

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

### ***Решать прикладные задачи, нацеленные на умножение общественного блага***

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

### ***Создавать, а не только потреблять***

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

### ***Работать в команде***

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

### ***Осваивать и ответственно развивать новые технологии***

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

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

### ***Играть честно и пробовать себя***

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

### ***Быть человеком***

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

## ***Организационная структура НТО***

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

Соревнования в рамках НТО проводятся по четырем трекам:

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

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

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

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

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

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

### ***Профили НТО 2024/25 учебного года и соответствующий уровень РСОШ***

#### **Профили II уровня РСОШ:**

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

#### **Профили III уровня РСОШ:**

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

#### **Профили без уровня РСОШ:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Наставники НТО

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

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

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

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

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

### *Основные направления работы наставника*

Организационные задачи:

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

Содержательная подготовка:

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

Развитие личных и командных навыков:

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

## Поддержка наставников НТО

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

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

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

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

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

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

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

Сообщество наставников НТО существует и развивается. Ежегодно Кружко-

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

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

В нем рассмотрены особенности подготовки к пяти направлениям:

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

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



## 1.2. Геномное редактирование

Сквозная технология НТИ профиля Геномное редактирование — управление свойствами биологических объектов.

Сегодня геномное редактирование является одной из наиболее современных технологий управления свойствами биологических объектов, стоит в ряду с методами генной инженерии и различными подходами синтетической биологии. Разработка новых инструментов геномного редактирования, оптимизация протоколов их использования — это пока нерешенная технологическая проблема.

Задания охватывают темы технологий управления свойствами биологических объектов: методов инженерной и синтетической биологии, геномного редактирования.

Для привлечения школьников к решению заданий составителями заданий разработан «Урок НТО», посвященный знакомству с Нобелевской премией по химии 2020 года, присужденной за разработку технологии геномного редактирования, программа спецкурса по инженерной биологии, программы биохакатонов по полимеразной цепной реакции и рестрикционному анализу. Материалы для нахождения на сайте <https://nto-lesson.ru/> и доступны после регистрации на платформе «Талант».

Совместно с разработчиками программного пакета UGENE записан курс лекций «Практическая биоинформатика», в котором разобраны практические кейсы. В 2024–25 гг. на базе Цифровой кафедры, открытой в НГУ в рамках проекта «Приоритет 2030», созданы видеоролики с разбором кейсов в области биоинформатики и лекции ведущих ученых институтов СО РАН и НГУ, посвященных технологиям управления свойствами биологических объектов.

Для анализа последовательностей нуклеиновых кислот, анализа секвенограмм и сайтов рестрикции в настоящее время задействуются различные базы данных (например, NCBI и многие другие), интернет-сервисы (например, Tide и другие) и специальное программное обеспечение (например, UGENE и другие). Использование этих программ и других онлайн-ресурсов позволяют школьникам без посещения молекулярно-биологической лаборатории и специального оборудования приблизиться к освоению основных методов биоинформатического анализа.

Знакомство с технологиями управления свойствами биологических объектов начинается при решении заданий **первого и второго отборочных этапов** Олимпиады, которые охватывают темы по основам молекулярной биологии, биохимии, молекулярной генетики, биотехнологии.

Участникам предложены для ознакомления литературные источники, статьи, онлайн- и видеокурсы, дающие возможность получить недостающие знания, закрепив их при решении задач первого и второго этапов.

Отдельный акцент делается на освоении элементов биоинформатического анализа, работы с базами данных и использованию Python для решения биоинформатических задач.

Таким образом, к заключительному этапу участники уже погружены в контекст финальных заданий.

**На заключительном этапе** финалисты проводят анализ образцов, полученных в результате работы системы геномного редактирования. При помощи методов биоинформатики и «мокрой биологии» (полимеразная цепная реакция, рестрикционный анализ, секвенирование) участники определяют образцы, в которых произошли изменения, связанные с работой системы CRISPR\Cas, а также оценивают эффективность редактирования.

Для этого им предоставляются реактивы, расходные материалы, программное обеспечение и файлы с последовательностями ДНК. Команда, предложившая наиболее оптимальное решение и получившая корректный результат, получает максимальный балл.

В целом, в процессе решения задач инженерного тура заключительного этапа участники на практике знакомятся с реальной научно-технологической проблемой и находят ее решения во время работы в лаборатории и при использовании биоинформатических инструментов.

Помимо командной задачи (практический тур) на заключительном этапе участники решают индивидуальные задачи по школьным предметам: химия и биология (предметный тур). Это необходимо для оценки личного вклада каждого в общий результат и для проверки теоретических знаний. В будущем они могут потребоваться для работы в области наук о жизни.

Таким образом, за время заключительного этапа наряду с предметными знаниями школьники получают опыт командного решения с выявлением личного вклада каждого в решение общей задачи. Это дает возможность организаторам обратить внимание на наиболее одаренных в научном и практическом отношении участников.

При подготовке к заключительному этапу проводятся биохакатоны, направленные на освоение основ генетической инженерии, молекулярной биологии, биотехнологии, которые позволяют понять суть процессов, происходящих с нуклеиновыми кислотами в лаборатории и на практическом опыте применить полученные теоретические знания. Программа биохакатонов представляют собой методики, широко используемые в молекулярной биологии, особенно актуальные при решении заданий инженерного тура заключительного этапа. Методы генетической инженерии и геномного редактирования сегодня активно используются в лабораториях по всему миру и, без сомнения, являются практиками будущего.

Победители и призеры профиля Геномное редактирование поступают в ведущие вузы России на биологические и химические отделения на специальности, связанные с биотехнологией и биоинформатикой, принимают участие в научно-технологических проектных школах по биотехнологии и биоинженерии. Задания профиля Геномное редактирование соответствуют дорожным картам Национальной технологической инициативы по подготовке специалистов рынков Хелснет НТИ.

В трудоустройстве победителей и призеров Олимпиады заинтересованы крупнейшие биотехнологические компании — партнеры профиля: Биокад, Вектор-Бест, Генериум и другие.

## 2. Первый отборочный этап

### 2.1. Работа наставника НТО на этапе

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

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

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

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

## 2.2. Предметный тур. Химия

### 2.2.1. Первая волна. Задачи 8–9 класса

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

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

Темы: неорганическая химия, номенклатура неорганических веществ.

##### **Условие**

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

Соотнесите тривиальные названия веществ с их систематическими названиями.

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

Тривиальное название вещества:

- А. Негашеная известь.
- В. Веселящий газ.
- С. Бурый газ, лисий хвост.
- Д. Поташ.
- Е. Пищевая сода.
- Ф. Гашеная известь.
- Г. Едкий натр.
- Н. Индийская селитра.
- И. Чилийская селитра.
- Ж. Известняк.

Систематическое название:

- 1. Гидроксид натрия.
- 2. Гидроксид кальция.
- 3. Карбонат кальция.
- 4. Гидрокарбонат натрия.
- 5. Карбонат калия.
- 6. Нитрат натрия.
- 7. Нитрат калия.
- 8. Оксид кальция.
- 9. Оксид азота (I).
- 10. Оксид азота (IV).

**Ответ:** А — 8, В — 9, С — 10, Д — 5, Е — 4, Ф — 2, Г — 1, Н — 7, И — 6, Ж — 3.

### **Задача 2.2.1.2. Сплавы в современном мире (30 баллов)**

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

#### **Условие**

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

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



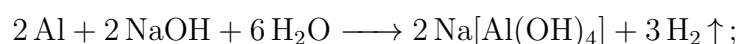
Для анализа образца силумина, содержащего алюминий и кремний, массой 30 г его растворили в 400 г 15%-го раствора едкого натра, при этом выделился газ объемом 38,4 л (н. у.).

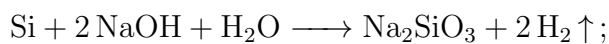
#### **Задание 1. (10 баллов)**

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

#### **Решение**

Составим уравнения реакций:





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

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

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

$x = 1$  моль,  $y = 0,107$  моль.

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

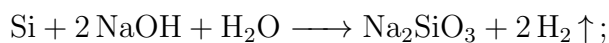
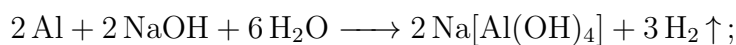
$$\omega(\text{Al}) = \frac{27}{30} = 0,9 \text{ или } 90\%.$$

**Ответ:** 90.

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

**Решение**

Составим уравнения реакций:



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

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

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

$x = 1$  моль,  $y = 0,107$  моль.

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

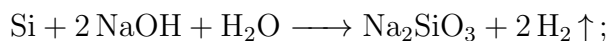
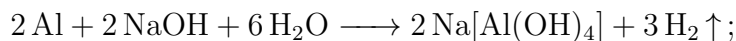
$$\omega(\text{Si}) = \frac{3}{30} = 0,1 \text{ или } 10\%.$$

**Ответ:** 10.

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

**Решение**

Составим уравнения реакций:



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

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

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

$x = 1$  моль,  $y = 0,107$  моль.

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

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

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

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

**Ответ:** 2,7.

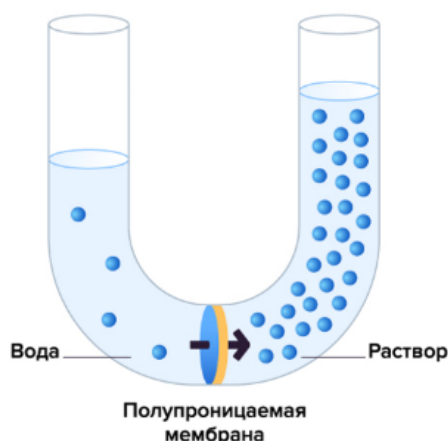
**Задача 2.2.1.3. Осмос в биологических системах (25 баллов)**

Темы: концентрации, растворы, осмос.

**Условие**

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

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



**Задание 1.** (7 баллов) Рассчитайте массу поваренной соли, необходимую для приготовления 1,5 л рассола для засаливания огурцов (плотность  $\rho = 1\,055$  г/л), массовая доля соли в котором составляет 7,5%. Ответ запишите в граммах с точностью до десятых.

### Решение

Рассчитаем массу раствора

$$m_{\text{р-ра}} = \rho V = 1\,055 \cdot 1,5 = 1\,582,5 \text{ г.}$$

Масса соли составляет:

$$m(\text{NaCl}) = m_{\text{р-ра}} \omega(\text{NaCl}) = 1\,582,5 \cdot 0,075 = 118,7 \text{ г.}$$

**Ответ:** 118,7. Диапазон 118–119.

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

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





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

### Решение

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

Масса глюкозы составляет

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

Количество вещества глюкозы

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

соответственно, молярная концентрация раствора

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

Осмотическое давление

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

**Ответ:** 729. Диапазон 710–750.

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

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

**Решение**

Молярная концентрация раствора полимера

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

т. е. количество вещества полимера

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

Тогда молярная масса  $M = \frac{m}{n} = \frac{15}{0,105} \cdot 1\,000 = 142\,857 \text{ г/моль}.$

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

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

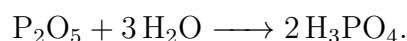
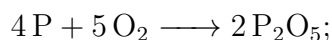
*Темы: количество вещества, термохимия, электролитическая диссоциация.*

**Условие**

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

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

Этот процесс упрощенно можно описать следующими реакциями:



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

**Решение**

В расчете на 1 ч количество вещества фосфора составляет

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

тогда

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

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

Объем кислорода:

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

объем воздуха

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

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

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

### Решение

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

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

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

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

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

### Решение

Количество теплоты, выделяющейся при сгорании фосфора, составляет

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

тогда

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

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

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

**Ответ:** 5 444. Диапазон 5 440–5 448.

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

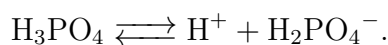


Впрочем, имеются сведения о стимулировании фосфорной кислотой вымывания кальция из организма и ее негативном влиянии на зубную эмаль при чрезмерном употреблении.

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

### **Решение**

Запишем уравнение диссоциации фосфорной кислоты по первой ступени:



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

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

В расчете на 1 л раствора

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

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

**Ответ:** 5,7.

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

Тема: химики России.

#### **Условие**

#### **Врач, геолог, химик, педагог...**

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

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

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

Назовите этого ученого:

- А. Александр Ерминингельдович Арбузов;
- В. Александр Михайлович Бутлеров;
- С. Федор Федорович Бейльштейн;
- Д. Александр Порфирьевич Бородин;
- Е. Герман Иванович Гесс;
- Г. Дмитрий Иванович Менделеев;
- Г. Сергей Васильевич Лебедев;
- Н. Юрий Анатольевич Овчинников;
- И. Игорь Михайлович Скурихин;
- Ж. Михаил Семенович Цвет.

**Ответ:** Е.

### **2.2.2. Первая волна. Задачи 10–11 класса**

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

[t.yandex.ru/contest/63484/enter/](http://t.yandex.ru/contest/63484/enter/).

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

Темы: неорганическая химия, номенклатура неорганических веществ.

#### **Условие**

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

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

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

Тривиальное название вещества:		Систематическое название:
А. Молочная кислота		1. Пентандиовая кислота
В. Пировиноградная кислота (ПВК)	кислота	2. Бутандиовая кислота
С. Аланин		3. Гександиовая кислота
Д. Щавелевая кислота		4. 2-оксобутандиовая кислота
Е. Щавелевоуксусная кислота (ЩУК)	кислота	5. Этандиовая кислота
Ф. Янтарная кислота		6. Бутендиовая кислота
Г. Глутаровая кислота		7. 2-аминоэтановая кислота
Н. Глицин		8. 2-гидроксипропановая кислота
И. Фумаровая кислота		9. 2-оксопропановая кислота
Ж. Адипиновая кислота		10. 2-аминопропановая кислота

**Ответ:** А — 8, В — 9, С — 10, Д — 5, Е — 4, Ф — 2, Г — 1, Н — 7, И — 6, Ж — 3.

### **Задача 2.2.2.2. Сплавы в современном мире (35 баллов)**

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

### Условие



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

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

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

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

### Решение

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

Кремний растворяется в растворе гидроксида натрия:



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

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

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

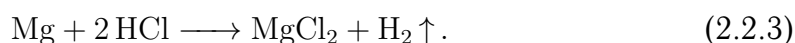
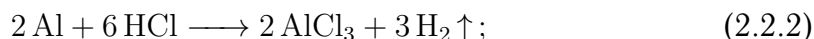
$$\omega(\text{Si}) = \frac{0,168}{13,776} = 0,01219 \text{ или } 1,219 \approx 1,2\%.$$

**Ответ:** 1,2.

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

### Решение

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



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

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

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

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

Таким образом, масса алюминия и магния составляет:

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

По уравнениям (2.2.2), (2.2.3)

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

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

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

$x = 0,5$  моль,  $y = 0,0045$  моль.

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

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

**Ответ:** 98.

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



**Решение**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

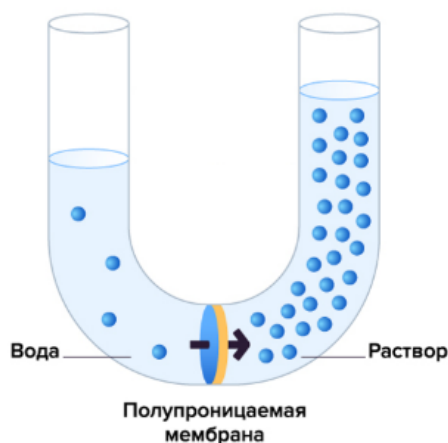
$$m(\text{Mg}) = n \cdot M = 0,0045 \cdot 24 = 0,108 \text{ г};$$

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

**Ответ:** 0,8.

**Задача 2.2.2.3. Осмос в биологических системах (20 баллов)**

Темы: концентрации, растворы, осмос.

**Условие**

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

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

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

$$\pi = CRT,$$

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

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

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

### **Решение**

Количество вещества мочевины:

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

соответственно молярная концентрация раствора

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

Осмотическое давление  $\pi = CRT = 0,5 \cdot 8,314 \cdot (273 + 25) = 1\,239$  кПа.

**Ответ:** 1 239. Диапазон 1 235–1 243.

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



Рассчитайте массовую долю хлорида натрия в разбавленном растворе, осмотическое давление которого при температуре 37 °С составляет 9472 кПа (плотность примите  $\rho = 1075$  г/л). Ответ приведите в процентах с точностью до десятых.

### Решение

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

$$C = \frac{\pi}{RT} = \frac{9472}{8,314 \cdot (273 + 37)} = 3,68 \text{ моль/л.}$$

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

Тогда концентрация хлорида натрия составляет:

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

а масса соли в 1 л раствора равна

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

Массовая доля в растворе

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

**Ответ:** 10,0. Диапазон 9,7–10,3.

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

Установите молекулярную массу поливинилхлорида в килограммах на моль (кг/моль) с точностью до десятых, если разность высот жидкости в осмометре для его раствора в циклогексане, содержащего 2,5 г в 250 мл раствора, составляет 1,97 см при 25 °С. Плотность циклогексана и раствора 779 кг/м<sup>3</sup>.

**Решение**

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

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

Молярная концентрация раствора полимера составляет

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

то есть количество вещества полимера

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

Тогда молекулярная масса

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

**Ответ:** 166,7. Диапазон 162,0–172,0.

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

Темы: количество вещества, термохимия, электролитическая диссоциация.

**Условие**

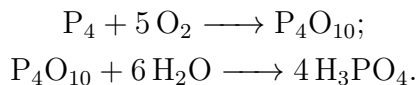
Ортофосфорная кислота используется в самых разных областях — в производстве удобрений и чистящих средств, для деревообработки и очистки металла от ржавчины, в стоматологии для реставрации зубов и в ювелирном деле при пайке. Также она зарегистрирована в качестве пищевой добавки Е338, которую можно встретить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

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

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

**Решение**

Запишем уравнения происходящих реакций:



Масса фосфорной кислоты:

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = m_{\text{р-ра}} \omega_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 3\,000 \cdot 0,75 = 2\,250 \text{ кг/ч.}$$

Количество вещества фосфорной кислоты:

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{M} = \frac{2\,250}{3 + 31 + 16 \cdot 4} = 22,96 \text{ кмоль/ч,}$$

что соответствует расчетному количеству вещества кислорода

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

Объем кислорода

$$V(\text{O}_2) = n_{\text{практ}}(\text{O}_2) V_0 = 57,40 \cdot 1\,000 \cdot 22,4 = 1\,285\,714 \text{ л,}$$

объем воздуха

$$V_{\text{возд}} = \frac{V(\text{O}_2)}{\chi(\text{O}_2)} = \frac{1\,285\,714}{0,21 \cdot 1\,000} = 6\,122 \text{ м}^3.$$

**Ответ:** 6 122. Диапазон 5 800–6 500.

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

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

**Решение**

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

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

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

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

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

В расчете на 4 моль фосфорной кислоты

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

Тогда

$$Q = Q_R \cdot \frac{n(\text{H}_3\text{PO}_4)}{4} = 3\,352,62 \cdot \frac{22,96}{4} = 19\,243 \text{ МДж}.$$

**Ответ:** 19 243. Диапазон 19 200–19 280.

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

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



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

### **Решение**

Запишем уравнение диссоциации фосфорной кислоты по первой ступени:



Выражение для константы диссоциации:

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

где в квадратных скобках указаны равновесные концентрации.

Тогда

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

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

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

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

откуда

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

**Ответ:** 1,2.

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

*Тема: химики России.*

#### **Условие**

##### **Врач, геолог, химик, педагог...**

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

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

Назовите этого ученого:

- A. Александр Ерминингельдович Арбузов;
- B. Александр Михайлович Бутлеров;
- C. Федор Федорович Бейльштейн;
- D. Александр Порфирьевич Бородин;

- Е. Герман Иванович Гесс;  
F. Дмитрий Иванович Менделеев;  
G. Сергей Васильевич Лебедев;  
H. Юрий Анатольевич Овчинников;  
I. Игорь Михайлович Скурихин;  
J. Михаил Семенович Цвет.

**Ответ:** Е.

### 2.2.3. Вторая волна. Задачи 8–9 класса

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

#### ***Задача 2.2.3.1. Дождь по заказу (20 баллов)***

*Темы: неорганическая химия, количество вещества, молярный объем.*

##### ***Условие***

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

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





**Задание 1.** (5 баллов) Какой объем (в литрах) газообразного  $\text{CO}_2$  (н. у.) необходим для получения 22 кг сухого льда? Ответ округлите до целых.

**Решение**

Определяем количество вещества, а затем объем  $\text{CO}_2$ :

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

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

**Ответ:** 11 200.

**Задание 2.** (5 баллов) Какой объем (в кубических метрах) займет 22 кг газообразного  $\text{CO}_2$  при температуре  $28^\circ\text{C}$  и давлении 750 мм рт. ст? Ответ округлите до десятых.

**Решение**

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

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

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

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

**Ответ:** 12,5.

**Задание 3.** (5 баллов) Какой объем (в литрах) занимает 22 кг сухого льда, если его плотность составляет  $1,561 \text{ г/см}^3$ ? Ответ округлите до целых.

**Решение**

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

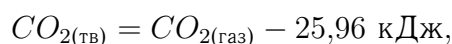
$$V(\text{CO}_2)_{(\text{ТВ})} = \frac{m}{\rho} = \frac{22\,000}{1,561} = 14\,093 \text{ см}^3 \text{ или } 14 \text{ л.}$$

**Ответ:** 14.

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

**Решение**

Исходя из термохимического уравнения:



количество теплоты на один кг составляет:

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

**Ответ:** 590.

**Задача 2.2.3.2. Питание для растений (25 баллов)**

*Темы: смеси веществ, массовая доля, количество вещества.*

**Условие**

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

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

**Решение**

Определим количество вещества атомов азота и фосфора:

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

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

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

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

$x = 0,8$  моль,  $y = 0,1$  моль.

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

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

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

**Ответ:** 105,2.

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

**Решение**

Определим количество вещества атомов азота и фосфора:

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

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

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

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

$x = 0,8$  моль,  $y = 0,1$  моль.

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

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

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

$$\omega(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) = \frac{92}{105,2} = 0,8745 \text{ или } 87,45\% \approx 87\%.$$

**Ответ:** 87. Диапазон 87–88.

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

**Решение**

Определим количество вещества атомов азота и фосфора:

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

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

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

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

$x = 0,8$  моль,  $y = 0,1$  моль.

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

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

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

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

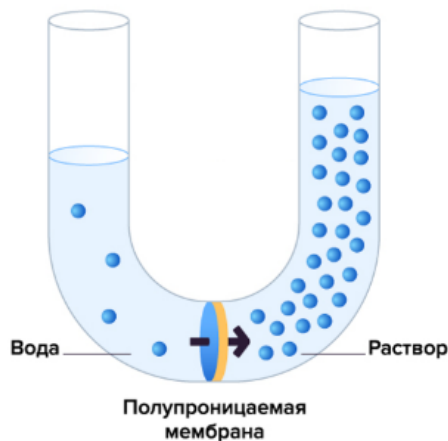
**Ответ:** 13. Диапазон 12–13.

**Задача 2.2.3.3. Осмос в биологических системах (20 баллов)**

Темы: концентрации, растворы, осмос.

**Условие**

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



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

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

### **Решение**

Рассчитаем массу раствора

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

Масса соли составляет:

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

**Ответ:** 92,4. Диапазон 92–93.

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



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

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

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

### Решение

Рассчитаем массу 1 л раствора

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

Масса глюкозы составляет

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

Количество вещества глюкозы

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

соответственно молярная концентрация раствора

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

Осмотическое давление

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

**Ответ:** 3 093. Диапазон 3 070–3 110.

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

Установите молярную массу поливинилпирролидона, если осмотическое давление раствора, содержащего 0,6 г полимера в 100 мл раствора, составляет 1,731 кПа при 22 °С. Ответ выразите в граммах на моль (г/моль) с точностью до целых.

### Решение

Молярная концентрация раствора полимера

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

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

Тогда молярная масса  $M = \frac{m}{n} = \frac{0,6}{0,071} \cdot 1\,000 = 8\,499$  г/моль.

**Ответ:** 8 499. Диапазон 8 300–8 700.

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

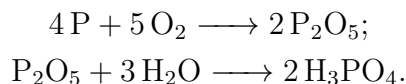
*Темы: количество вещества, термохимия, электролитическая диссоциация.*

#### **Условие**

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

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

Этот процесс упрощенно можно описать следующими реакциями:



#### **Задание 1. (7 баллов)**

При нормальных условиях рассчитайте объем воздуха, который необходимо подавать в башню (камеру сжигания) в 1 ч для сжигания фосфора, содержащего 0,9% негорючих примесей (расход фосфора 2 450 кг/ч). Ответ выразите в кубических метрах. Учтите, что для предотвращения образования оксида фосфора (III) в башню подают двукратный избыток воздуха по сравнению с расчетным количеством.

#### **Решение**

В расчете на один час количество вещества фосфора составляет

$$n(\text{P}) = \frac{m}{M} = \frac{2\,450 \cdot 0,995}{31} = 78,32 \text{ кмоль},$$

тогда

$$\begin{aligned} n_{\text{теор}}(\text{O}_2) &= \frac{5}{4}n(\text{P}) = 97,90 \text{ кмоль}; \\ n_{\text{практ}}(\text{O}_2) &= 2n_{\text{теор}}(\text{O}_2) = 2 \cdot 97,90 = 195,80 \text{ кмоль}. \end{aligned}$$

Объем кислорода:

$$V(\text{O}_2) = n_{\text{практ}}(\text{O}_2)V_0 = 195,80 \cdot 1\,000 \cdot 22,4 = 4\,385\,974 \text{ л},$$

объем воздуха

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

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

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

### Решение

Количество вещества фосфорной кислоты соответствует количеству фосфора

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

тогда:

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

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

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

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

### Решение

Количество теплоты, выделяющейся при сгорании фосфора, составляет

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

тогда

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

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

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

**Ответ:** 4 524. Диапазон 4 490–4 558.

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



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



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

### **Решение**

Запишем уравнение диссоциации фосфорной кислоты по первой ступени:



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

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

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

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

**Ответ:** 3,4.

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

Тема: химики России.

### Условие

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

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

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

Назовите этого ученого:

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

**Ответ:** G.

## 2.2.4. Вторая волна. Задачи 10–11 класса

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

[t.yandex.ru/contest/63485/enter/](https://t.yandex.ru/contest/63485/enter/).

### **Задача 2.2.4.1. Дождь по заказу (30 баллов)**

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

#### **Условие**

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

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

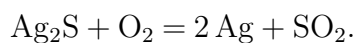


Для получения иодида серебра образец аргентита (серебросодержащего минерала, представляющий собой модификации сульфида серебра) сначала подвергли обжигу для удаления серы. Остаток поместили в 35%-й раствор азотной кислоты массой 90 г, при этом выделилось 2,24 л газа, нерастворимого в воде, а осадок растворился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

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

**Решение**

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



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



Относительная плотность NO по водороду составляет:

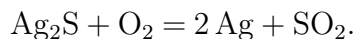
$$D_{\text{H}_2} = \frac{M(\text{NO})}{M(\text{H}_2)} = \frac{30}{2} = 15.$$

**Ответ:** 15.

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

**Решение**

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



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



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

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

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

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

**Ответ:** 37,2.

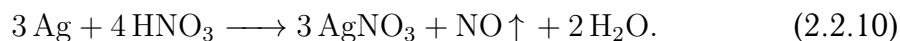
**Задание 3.** (5 баллов) После завершения реакции к полученному раствору добавили 415 г 15%-го раствора йодида калия, при этом, помимо выпадения осадка, наблюдали выделение бесцветного газа. Определите массу образовавшегося йодида серебра в граммах. Ответ округлите до десятых.

**Решение**

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



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



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

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

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

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

По уравнению (2.2.10):

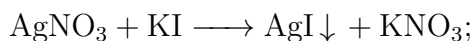
$$n(\text{HNO}_3) = 4 \cdot n(\text{NO}) = 4 \cdot 0,1 = 0,4 \text{ моль}.$$

В исходном растворе:

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

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

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



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

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

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

**Ответ:** 70,5.

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

### Решение

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

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

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

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

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

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

По уравнению 2.2.10:

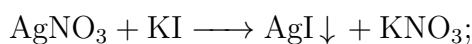
$$n(\text{HNO}_3) = 4 \cdot n(\text{NO}) = 4 \cdot 0,1 = 0,4 \text{ моль.}$$

В исходном растворе:

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

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

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



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

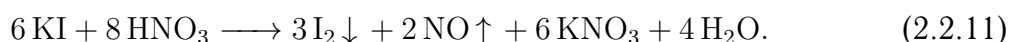
$$n(\text{AgI}) = n(\text{AgNO}_3) = 0,3 \text{ моль;}$$

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

$$n(\text{KI})_{\text{прореаг.}} = n(\text{AgNO}_3) = 0,3 \text{ моль;}$$

$$n(\text{KI})_{\text{непрореаг.}} = 0,3 - 0,375 = 0,075 \text{ моль.}$$

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



$$n(\text{KI})_{\text{прореаг.}} = n(\text{AgNO}_3) = 0,3 \text{ моль;}$$

$$n(\text{KI})_{\text{непрореаг.}} = 0,3 - 0,375 = 0,075 \text{ моль;}$$

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

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

$$n(\text{KNO}_3) = 0,3 + 0,075 = 0,375 \text{ моль;}$$

$$m(\text{KNO}_3) = n \cdot M = 0,375 \cdot 101 = 37,875 \text{ г;}$$

$$\begin{aligned} m(\text{р-ра}) &= m(\text{Ag}) + m(\text{р-ра HNO}_3) - m(\text{NO})_{\text{по(2.2.10)}} + m(\text{р-ра KI}) - m(\text{AgI}) - \\ &\quad - m(\text{I}_2) - m(\text{NO})_{\text{по(2.2.11)}} = 0,3 \cdot 108 + 90 + 415 - 70,5 - 254 \cdot 0,0375 - \\ &\quad - 30 \cdot (0,1 + 0,025) = 453,625 \text{ г;} \end{aligned}$$

$$\omega(\text{KNO}_3) = \frac{37,875}{453,625} = 0,08349 \text{ или } 8,35\%.$$

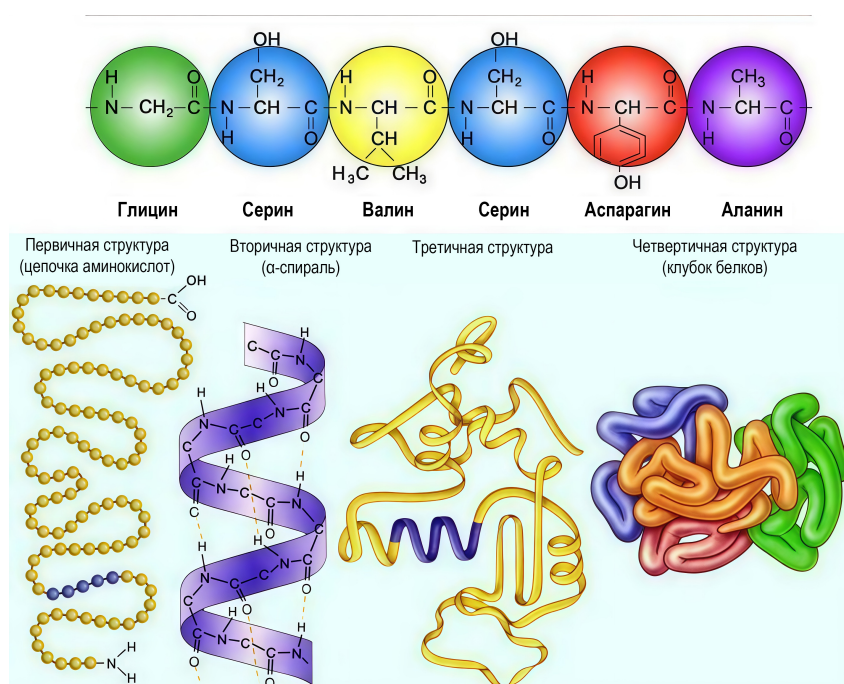
**Ответ:** 8,35.

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

*Темы: органическая химия, массовая доля элемента, биохимия.*

## Условие

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



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

**Задание 1.** (5 баллов) Некоторая белокобразующая аминокислота содержит 64,71% углерода, 5,88% водорода, 15,69% кислорода. Определите молекулярную формулу аминокислоты. Запишите ее в формате  $C_1H_2O_3N_4$ .

## Решение

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

Молекулярная формула аминокислоты —  $C_{11}H_{12}O_2N_2$ .

**Ответ:**  $C_{11}H_{12}O_2N_2$ .

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

**Решение**

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

Молекулярная формула аминокислоты —  $C_{11}H_{12}O_2N_2$ .

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

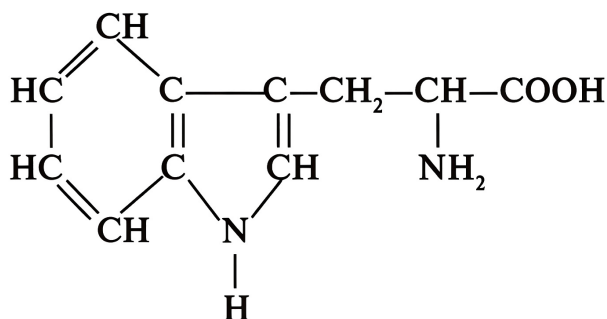


Рис. 2.2.1

**Ответ:** триптофан.

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

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

В ответе укажите только номер реакции.

**Ответ:** 3.

### **Задача 2.2.4.3. Осмос в биологических системах (20 баллов)**

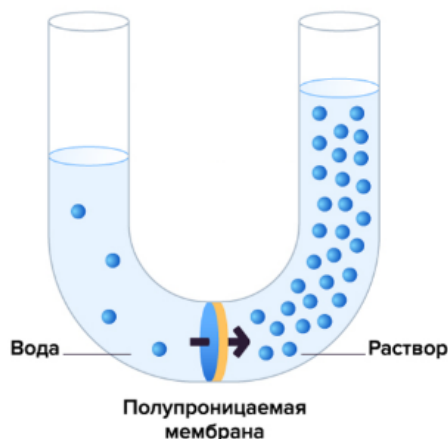
Темы: концентрации, растворы, осмос.

**Условие**

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



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



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

$$\pi = CRT,$$

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

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

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

### **Решение**

Количество вещества мочевины:

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

соответственно молярная концентрация раствора

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

Осмотическое давление  $\pi = CRT = 0,44 \cdot 8,314 \cdot (273 + 20) = 1\,072 \text{ кПа.}$

**Ответ:** 1 072. Диапазон 1 069–1 075.

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



Рассчитайте массовую долю хлорида натрия в разбавленном растворе, осмотическое давление которого при температуре 37 °С составляет 749 кПа (плотность примите  $\rho = 1\,000 \text{ г/л}$ ). Ответ приведите в процентах с точностью до сотых.

### **Решение**

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

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

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

Тогда концентрация хлорида натрия составляет:

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

тогда масса соли в 1 л раствора

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

Массовая доля в растворе:

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

**Ответ:** 0,85. Диапазон 0,81–0,89.

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

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

### **Решение**

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

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

Молярная концентрация раствора полимера составляет

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

то есть количество вещества полимера

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

Тогда молекулярная масса

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

**Ответ:** 81,6. Диапазон 79,8–82,2.

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

Темы: количество вещества, термохимия, электролитическая диссоциация.

#### **Условие**

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

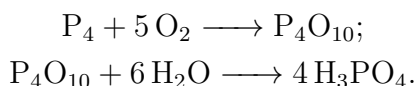
встретить в составе мармеладов, сиропов и напитков, хлебобулочных изделий, сыров и плавленых сырков.

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

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

### Решение

Запишем уравнения происходящих реакций:



Масса фосфорной кислоты:

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

Количество вещества фосфорной кислоты:

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

что соответствует расчетному количеству вещества кислорода

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

Объем кислорода

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

объем воздуха

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

**Ответ:** 8 163. Диапазон 7 700–8 600.

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

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

### Решение

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

$$\begin{aligned}\Delta_r Q &= \sum n_i Q_f(\text{прод}) - \sum n_j Q_f(\text{реаг}); \\ \Delta_{r1} Q &= Q_f(P_4 O_{10(тв)}) - Q_f(P_{4(тв)}) - 5Q_f(O_{2(г)}); \\ \Delta_{r2} Q &= 4Q_f(H_3PO_{4(ж)}) - 6Q_f(H_2 O_{(ж)}) - Q_f(P_4 O_{10(тв)}).\end{aligned}$$

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

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

В расчете на 4 моль фосфорной кислоты

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

Тогда

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

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

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



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

**Решение**

Запишем уравнение диссоциации фосфорной кислоты по первой ступени:



Выражение для константы диссоциации:

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

где в квадратных скобках указаны равновесные концентрации. Тогда

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

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

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

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

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

**Ответ:** 1.

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

Тема: химики России.

**Условие**

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

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

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

Назовите этого ученого:

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

**Ответ:** Г.

### 2.2.5. Третья волна. Задачи 8–9 класса

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

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

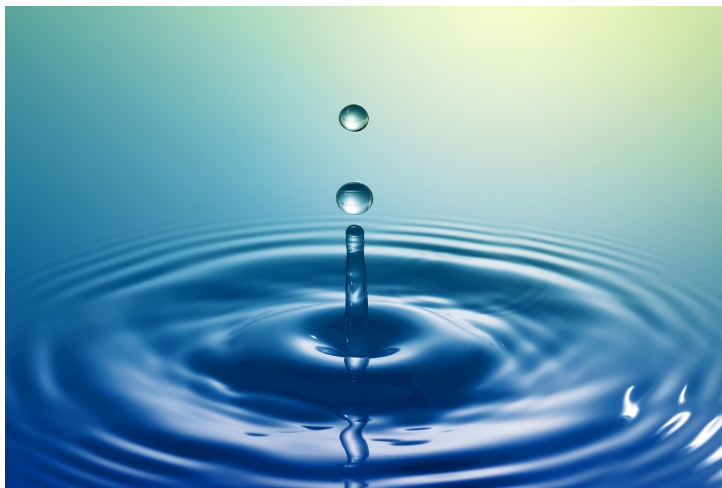
Темы: неорганическая химия, количество вещества, расчет по уравнению реакции.

#### ***Условие***

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

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

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

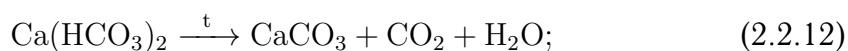


Для устранения временной (гидрокарбонатной) жесткости 1 л воды, содержащей катионы кальция и магния, прокипятили в течение длительного времени. При этом образовался осадок массой 14,2 мг и выделился углекислый газ объемом 3,36 мл (н. у.).

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

### Решение

При нагревании гидрокарбонаты разлагаются:



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

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

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

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

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

$$x = 0,1 \text{ ммоль}, y = 0,05 \text{ ммоль}.$$

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



**Ответ:** 4.

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

**Решение**

Продолжая решения предыдущего задания, получим:

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

**Ответ:** 1,2. Диапазон 1,2–1,4.

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

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

В ответе приведите цифру, соответствующую типу воды.

**Решение**

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

**Ответ:** 2.

### **Задача 2.2.5.2. Питательный раствор для растений (20 баллов)**

*Темы: смеси веществ, массовая доля, количество вещества.*

**Условие**



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

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

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

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

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

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

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

### **Решение**

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

$$\begin{aligned} n(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2) &= \frac{1}{164} = 0,006\,097\,5 \text{ моль} \approx 0,0061 \text{ моль}; \\ m(\text{Ca}) &= n \cdot M = 0,006\,097\,5 \cdot 40 = 0,2439 \text{ г}; \\ m(\text{раствора}) &= V \cdot \rho = 1\,000 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = 1\,000 \text{ г}; \\ \omega(\text{Ca}) &= \frac{0,2439 \cdot 100}{1\,000} = 0,024\,39\% \approx 0,024\%. \end{aligned}$$

**Ответ:**  $0,024 \pm 0,001$ .

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

**Решение**

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

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

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

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

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

или, с учетом округления:

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

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

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

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

**Ответ:**  $0,023 \pm 0,001$ .

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

**Решение**

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

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

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

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

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

**Ответ:**  $0,005 \pm 0,001$ .

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

**Решение**

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

а затем суммарную массу элемента азота:

$$\begin{aligned}n(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2) &= \frac{1}{164} = 0,006\,097\,5 \text{ моль} \approx 0,006\,1 \text{ моль}; \\n(\text{KNO}_3) &= \frac{0,25}{101} = 0,002\,475\,2 \text{ моль} \approx 0,0025 \text{ моль}; \\n(\text{N}) &= 0,006\,097\,5 \cdot 2 + 0,002\,475\,2 = 0,014\,670\,2 \approx 0,0147 \text{ моль}\end{aligned}$$

или, с учетом округления:

$$\begin{aligned}n(\text{N}) &= 0,0061 \cdot 2 + 0,0025 = 0,0147 \text{ моль}; \\m(\text{N}) &= n \cdot M = 0,0147 \cdot 14 = 0,2058 \text{ г}; \\m(\text{раствора}) &= V \cdot \rho = 1\,000 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = 1\,000 \text{ г}; \\\omega(\text{N}) &= \frac{0,2058 \cdot 100}{1\,000} = 0,02058\% \approx 0,021\%.\end{aligned}$$

**Ответ:**  $0,021 \pm 0,001$ .

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

### **Решение**

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

$$\begin{aligned}n(\text{KH}_2\text{PO}_4) &= \frac{0,25}{136} = 0,001\,838\,2 \text{ моль} \approx 0,0018 \text{ моль}; \\m(\text{P}) &= n \cdot M = 0,001\,838\,2 \cdot 31 = 0,056\,984\,2 \approx 0,057 \text{ г}; \\m(\text{раствора}) &= V \cdot \rho = 1\,000 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = 1\,000 \text{ г}; \\\omega(\text{P}) &= \frac{0,057 \cdot 100}{1\,000} = 0,0057\% \approx 0,006\%.\end{aligned}$$

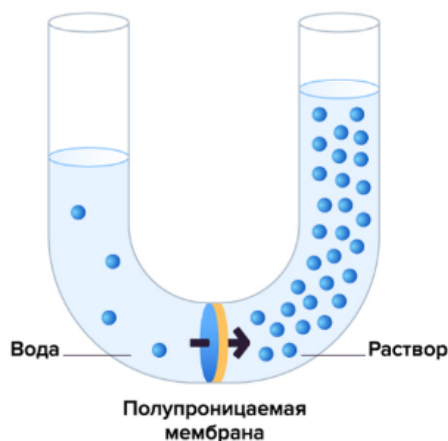
**Ответ:**  $0,006 \pm 0,001$ .

### **Задача 2.2.5.3. Осмос в биологических системах (20 баллов)**

*Темы: концентрации, растворы, осмос.*

#### **Условие**

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



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

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

**Задание 1.** (6 баллов) Рассчитайте массу поваренной соли, необходимую для приготовления 1,75 л рассола для засаливания огурцов (плотность  $\rho = 1\,041$  г/л), массовая доля соли в котором составляет 6,0%. Ответ приведите в граммах с точностью до десятых.

### Решение

Рассчитаем массу раствора  $m_{\text{р-ра}} = \rho V = 1\,041 \cdot 1,75 = 1821,8$  г.

Масса соли составляет:

$$m(\text{NaCl}) = m_{\text{р-ра}} \omega(\text{NaCl}) = 1\,821,8 \cdot 0,06 = 109,3 \text{ г.}$$

**Ответ:** 109,3. Диапазон 109–110.

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

$$\pi = CRT,$$

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

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



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

### **Решение**

Рассчитаем массу 1 л раствора:

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

Масса глюкозы составляет:

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

Количество вещества глюкозы:

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

соответственно молярная концентрация раствора

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

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

**Ответ:** 1 423. Диапазон 1 403–1 443.

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

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

### **Решение**

Молярная концентрация раствора полимера:

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

то есть количество вещества полимера:

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

Тогда молярная масса

$$M = \frac{m}{n} = \frac{6,00}{0,534} \cdot 1\,000 = 11\,236 \text{ кг/моль}.$$

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

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

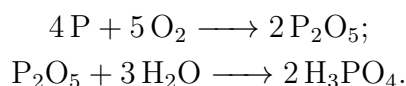
Темы: количество вещества, термохимия, электролитическая диссоциация.

#### **Условие**

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

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

Этот процесс упрощенно можно описать следующими реакциями:



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

### Решение

В расчете на один час количество вещества фосфора составляет

$$n(P) = \frac{m}{M} = \frac{3\,750 \cdot 0,988}{31} = 119,52 \text{ кмоль},$$

тогда

$$n_{\text{теор}}(\text{O}_2) = \frac{5}{4}n(P) = 149,40 \text{ кмоль};$$

$$n_{\text{практ}}(\text{O}_2) = 2n_{\text{теор}}(\text{O}_2) = 2 \cdot 149,40 = 298,8 \text{ кмоль}.$$

Объем кислорода:

$$V(\text{O}_2) = n_{\text{практ}}(\text{O}_2)V_0 = 298,8 \cdot 1\,000 \cdot 22,4 = 6\,693\,120 \text{ л},$$

объем воздуха

$$V_{\text{возд}} = \frac{V(\text{O}_2)}{\chi(\text{O}_2)} = \frac{6\,693\,120}{0,21 \cdot 1\,000} = 31\,872 \text{ м}^3.$$

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

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

### Решение

Количество вещества фосфорной кислоты соответствует количеству фосфора  $n(\text{H}_3\text{PO}_4) = n(P) = 119,52 \text{ кмоль/ч}$ , тогда:

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = n(\text{H}_3\text{PO}_4)M = 119,52 \cdot (3 + 31 + 16 \cdot 4) = 11\,713 \text{ кг/ч};$$

$$m_{\text{р-ра}}(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{\omega(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{11\,713}{0,80} = 14\,641 \text{ кг/ч}.$$

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

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



**Решение**

Количество теплоты, выделяющейся при сгорании фосфора, составляет

$$Q = Q_P n(P) = 119,52 \cdot 1\,764 = 210\,833 \text{ МДж/ч},$$

тогда

$$n(C) = \frac{Q}{Q_C} = \frac{210\,833 \cdot 1\,000}{394} = 535\,110 \text{ моль/ч};$$

$$m(C) = n(C)M = 535\,110 \cdot 12 = 6\,421 \text{ кг/ч};$$

$$m_{\text{уголь}} = \frac{m(C)}{\omega(C)} = \frac{6\,421}{0,90} = 6\,620 \text{ кг/ч}.$$

**Ответ:** 6 620. Диапазон 6 616–6 624.

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

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



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

**Решение**

Запишем уравнение диссоциации фосфорной кислоты по первой ступени:



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

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

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

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

**Ответ:** 7,5.

### **Задача 2.2.5.5. Ученый (10 баллов)**

Тема: химики России.

#### **Условие**

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

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

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

Назовите этого ученого:

- A. Федор Федорович Бейльштейн;
- B. Николай Николаевич Бекетов;
- C. Александр Порфирьевич Бородин;
- D. Владимир Иванович Вернадский;

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

**Ответ:** В.

## 2.2.6. Третья волна. Задачи 10–11 класса

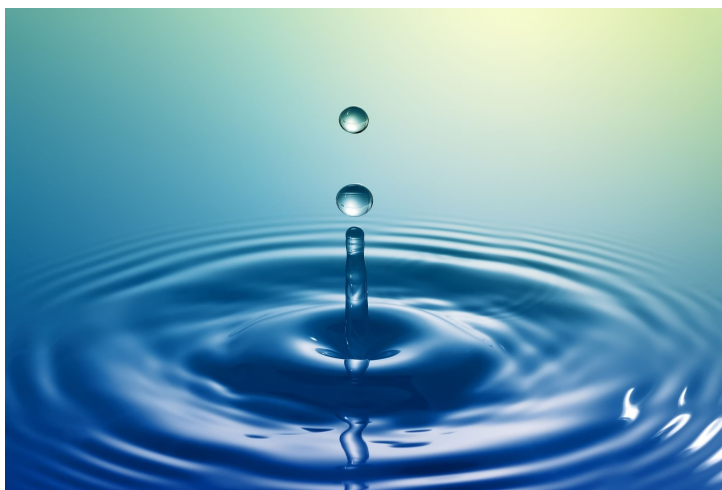
Задачи третьей волны предметного тура по химии за 10–11 класс открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contests.yandex.ru/contest/63486/enter/>.

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

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

#### ***Условие***

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



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

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

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

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

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

где

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

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

**Решение**

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

Средний объем титранта, пошедшего на титрование, составляет

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

Массу кальция определяем по формуле:

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

**Ответ:** 5,6. Диапазон 5,4–5,8.

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

**Решение**

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

Средний объем титранта, пошедшего на титрование, составляет

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

Массу магния определяем по формуле:

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

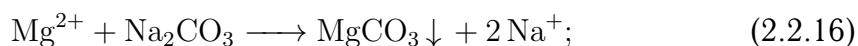
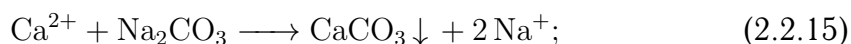
**Ответ:** 1,92. Диапазон 1,90–1,94.

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

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

### Решение

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



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

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

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

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

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

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

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

**Ответ:** 259. Диапазон 258–260.

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

### Решение

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

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

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

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

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

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

$x = 0,2$  ммоль,  $y = 0,1$  ммоль.

$$n(\text{Ca}^{2+}) = n(\text{CaCO}_3) = 0,2 \text{ ммоль};$$

$$n(\text{Mg}^{2+}) = n(\text{MgCO}_3) = 0,1 \text{ ммоль};$$

$$m(\text{Ca}^{2+}) = n \cdot M = 0,2 \cdot 40 = 8 \text{ мг};$$

$$m(\text{Mg}^{2+}) = n \cdot M = 0,1 \cdot 24 = 2,4 \text{ мг};$$

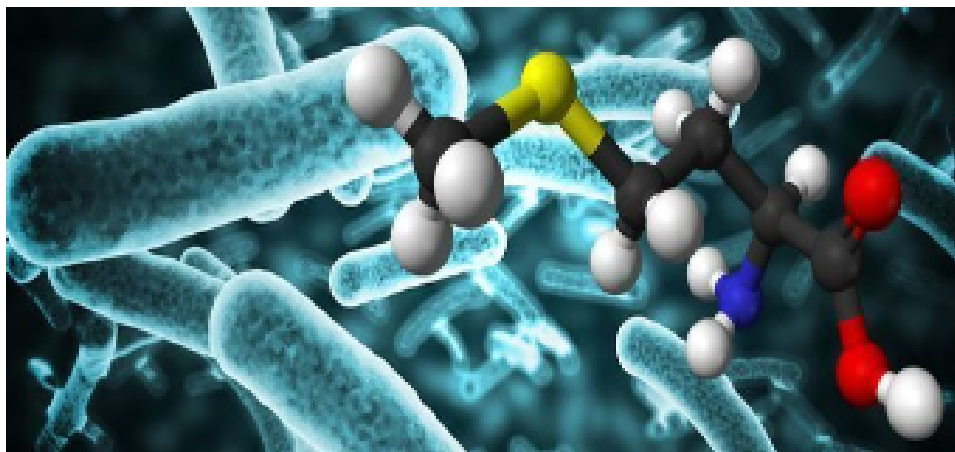
$$m(\text{Ca}^{2+}) + m(\text{Mg}^{2+}) = 8 + 2,4 = 10,4 \text{ мг}.$$

**Ответ:** 10,4. Диапазон 10,2–10,6.

### **Задача 2.2.6.2. Аминокислоты в биотехнологиях (15 баллов)**

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

#### **Условие**



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

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

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

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

### Решение

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

$$n(\text{CO}_2) = n(\text{C}) = \frac{11,2}{22,4} = 0,5 \text{ моль}; m(\text{C}) = n \cdot M = 0,5 \cdot 12 = 6 \text{ г};$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{9}{18} = 0,5 \text{ моль}; n(\text{H}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ моль};$$

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

$$n(\text{N}_2) = \frac{1,12}{22,4} = 0,05 \text{ моль}; n(\text{N}) = 2 \cdot n(\text{N}_2) = 2 \cdot 0,05 = 0,1 \text{ моль};$$

$$m(\text{N}) = n \cdot M = 0,1 \cdot 14 = 1,4 \text{ г};$$

$$m(\text{O}) = 10,8 - 6 - 1 - 1,4 = 2,4 \text{ г};$$

$$n(\text{O}) = \frac{2,4}{16} = 0,15 \text{ моль};$$

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) : n(\text{N}) = 0,5 : 1 : 0,15 : 0,1 = 5 : 10 : 1,5 : 1 (\times 2);$$

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) : n(\text{N}) = 10 : 20 : 3 : 2.$$

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

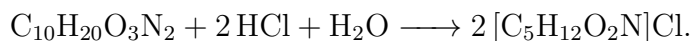
Молекулярная масса дипептида  $M(\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_3\text{N}_2) = 216 \text{ г/моль}$ .

**Ответ:** 216. Диапазон 215–217.

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

### Решение

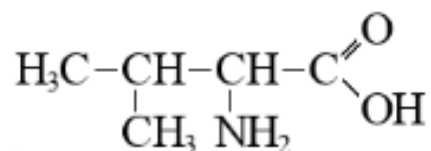
При гидролизе дипептида  $\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_3\text{N}_2$  образуется только одна соль, следовательно, дипептид состоит из одинаковых аминокислот, содержащих по 5 атомов углерода.



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

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





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

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

**Ответ:** валин (принимать Валин / ВАЛИН).

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

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

В ответе укажите только номер реакции.

**Решение**

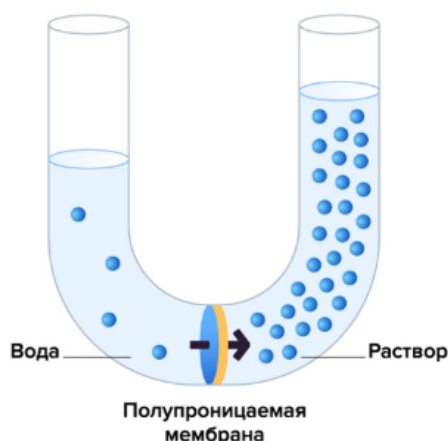
Фрагмент белка, то есть пептид, можно обнаружить с помощью биуретовой реакции — качественной реакции на пептидную связь.

**Ответ:** 2.

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

Темы: концентрации, растворы, осмос.

### Условие



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

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

$$\pi = CRT,$$

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

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

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

**Решение**

Количество вещества мочевины:

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

соответственно молярная концентрация раствора

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

Осмотическое давление  $\pi = CRT = 0,42 \cdot 8,314 \cdot (273 + 22) = 1\,030 \text{ кПа}$ .

**Ответ:** 1 030. Диапазон 1 015–1 045.

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

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



Рассчитайте массовую долю хлорида натрия в разбавленном растворе, осмотическое давление которого при температуре 37 °С составляет 6 661 кПа (плотность примитер  $\rho = 1\,050 \text{ г/л}$ ). Ответ запишите в процентах с точностью до десятых.

**Решение**

Рассчитаем концентрацию частиц в растворе исходя из величины осмотического давления:

$$C = \frac{\pi}{RT} = \frac{6\,661}{8,314 \cdot (273 + 37)} = 2,58 \text{ моль/л.}$$

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

Тогда концентрация хлорида натрия составляет:

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

а масса соли в 1 л раствора:

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

Массовая доля в растворе

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

**Ответ:** 7,2. Диапазон 7,0–7,4.

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

Установите молекулярную массу поливинилхлорида, если разность высот жидкости в осмометре для его раствора в ацетоне, содержащего 0,2 г в 100 мл раствора, составляет 8,1 см при 25 °С. Ответ запишите в килограммах на моль (кг/моль) с точностью до десятых. Плотность ацетона и раствора 791 кг/м<sup>3</sup>.

### **Решение**

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

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

Молярная концентрация раствора полимера составляет

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

то есть количество вещества полимера

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

Тогда молекулярная масса

$$M = \frac{m}{n} = \frac{0,2}{0,025} = 8 \text{ кг/моль.}$$

**Ответ:** 8. Диапазон 7,5–8,3.

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

Темы: количество вещества, термохимия, химическое равновесие.

### Условие

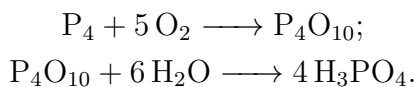
Ортофосфорная кислота используется в самых разных областях — в производстве удобрений и чистящих средств, для деревообработки и очистки металла от ржавчины, в стоматологии для реставрации зубов и в ювелирном деле при пайке. Также она зарегистрирована в качестве пищевой добавки Е338, которую можно встретить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

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

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

### Решение

Запишем уравнения происходящих реакций:



Масса фосфорной кислоты:

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

Количество вещества фосфорной кислоты:

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

что соответствует расчетному количеству вещества кислорода

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

Объем кислорода

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

объем воздуха

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

**Ответ:** 9 796. Диапазон 9 000–10 600.

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

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

### Решение

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

$$\begin{aligned}\Delta_r Q &= \sum n_i Q_f(\text{прод}) - \sum n_j Q_f(\text{реаг}); \\ \Delta_{r1} Q &= Q_f(P_4 O_{10(тв)}) - Q_f(P_{4(тв)}) - 5Q_f(O_{2(г)}); \\ \Delta_{r2} Q &= 4Q_f(H_3PO_{4(ж)}) - 6Q_f(H_2 O_{(ж)}) - Q_f(P_4 O_{10(тв)}).\end{aligned}$$

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

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

В расчете на 4 моль фосфорной кислоты

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

Тогда

$$Q = Q_R \cdot \frac{n(H_3PO_4)}{4} = 3\,352,62 \cdot \frac{36,73}{4} = 30\,785 \text{ МДж}.$$

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

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



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

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

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

### Решение

Запишем уравнение диссоциации фосфорной кислоты по первой ступени:



Выражение для константы диссоциации:

$$K_I = \frac{[H_2PO_4^-][H^+]}{[H_3PO_4]},$$

где в квадратных скобках указаны равновесные концентрации.

Тогда

$$[H_2PO_4^-] = [H^+], [H_3PO_4] = C_0 - [H^+];$$

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

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

$$[H^+] = 0,071 \text{ моль/л},$$

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

**Ответ:** 1,1.

### Задача 2.2.6.5. Ученый (10 баллов)

Тема: химики России.

#### Условие

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

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

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

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

Назовите этого ученого:

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

**Ответ:** В.

## 2.2.7. Четвертая волна. Задачи 8–9 класса

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

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

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



### Условие

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



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

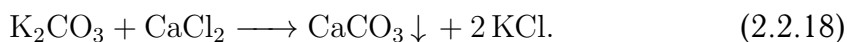
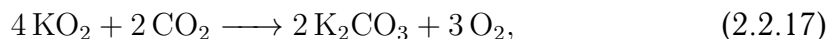
Современные технологии, используемые на борту Международной космической станции (МКС) и ранее на космической станции «Мир», используют многообразные цеолитовые поглотители углекислоты. Цеолиты представляют собой пористые минералы, которые способны эффективно поглощать молекулы углекислого газа. Регенерация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

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

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

**Решение**

Составим уравнения протекающих реакций:



Определяем количество вещества надпероксида калия:

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

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

$$n(\text{CO}_2) = \frac{1}{2}n(\text{K}_2\text{O}_2) = \frac{0,5}{2} = 0,25 \text{ моль};$$

$$V(\text{CO}_2) = n \cdot V_m = 0,25 \cdot 22,4 = 5,6 \text{ л}.$$

**Ответ:** 5,6. Диапазон 5,5–5,6.

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

**Решение**

По уравнению реакции 2.2.17 определяем количество вещества кислорода:

$$n(\text{O}_2) = \frac{3}{4}n(\text{KO}_2) = \frac{3 \cdot 0,5}{4} = 0,375 \text{ моль};$$

$$V(\text{O}_2) = n \cdot V_m = 0,375 \cdot 22,4 = 8,4 \text{ л}.$$

**Ответ:** 8,4. Диапазон 8,3–8,5.

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

**Решение**

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

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

$$n(\text{K}_2\text{CO}_3) = n(\text{CO}_2) = 0,25 \text{ моль};$$

$$m(\text{р-ра CaCl}_2) = V \cdot \rho = 200 \cdot 1,11 = 222 \text{ г};$$

$$m(\text{CaCl}_2) = 222 \cdot 0,15 = 33,3 \text{ г};$$

$$n(\text{CaCl}_2) = \frac{m}{M} = \frac{33,3}{111} = 0,3 \text{ моль};$$

$$\text{K}_2\text{CO}_3 - \text{в недостатке}.$$

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

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

**Ответ:** 25.

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

**Решение**

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

**Ответ:** 11,2. Диапазон 11–11,3.

### **Задача 2.2.7.2. Питательный раствор для растений (20 баллов)**

*Темы: смеси веществ, массовая доля, количество вещества.*

**Условие**

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

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



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

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

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

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

### Решение

Для определения массы  $KNO_3$  определим количество калия:

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

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

**Ответ:** 518. Диапазон 505–518.

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

### Решение

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

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

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

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

**Ответ:** 936.

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

**Решение**

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

$$\begin{aligned} n(\text{Mg}^{2+}) &= \frac{48}{24} = 2 \text{ ммоль}; \\ n(\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}) &= n(\text{Mg}^{2+}) = 2 \text{ ммоль}; \\ m(\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}) &= n \cdot M = 2 \cdot 246 = 492 \text{ мг}. \end{aligned}$$

**Ответ:** 492.

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

**Решение**

Для определения массы  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  определим количество ионов аммония  $\text{NH}_4^+$ :

$$\begin{aligned} n(\text{NH}_4^+) &= \frac{15}{18} = 0,8333 \text{ ммоль} \approx 0,83 \text{ ммоль}; \\ n(\text{NH}_4\text{NO}_3) &= n(\text{NH}_4^+) = 0,83 \text{ ммоль}; \\ m(\text{KNO}_3) &= n \cdot M = 0,83333 \cdot 80 = 67 \text{ мг (без округления)}; \\ m(\text{KNO}_3) &= n \cdot M = 0,83333 \cdot 80 = 66 \text{ мг (с округлением)}. \end{aligned}$$

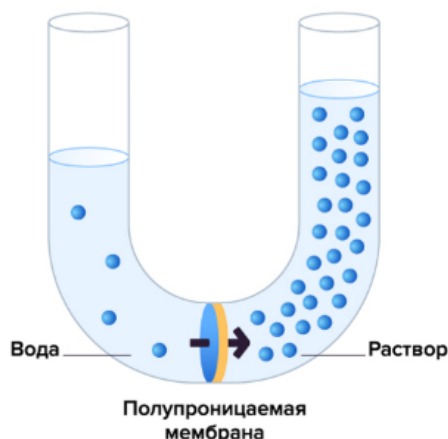
**Ответ:**  $66,5 \pm 0,5$ .

### **Задача 2.2.7.3. Осмос в биологических системах (20 баллов)**

Темы: концентрации, растворы, осмос.

**Условие**

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



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

**Задание 1.** (6 баллов) Рассчитайте массу поваренной соли, необходимую для приготовления 1,25 л рассола для засаливания огурцов (плотность  $\rho = 1\,061$  г/л), массовая доля соли в котором составляет 8,5%. Ответ приведите в граммах с точностью до десятых.

### Решение

Рассчитаем массу раствора  $m_{\text{р-ра}} = \rho V = 1\,061 \cdot 1,25 = 1\,326$  г.

Масса соли составляет:

$$m(\text{NaCl}) = m_{\text{р-ра}} \omega(\text{NaCl}) = 1\,326 \cdot 0,085 = 112,7 \text{ г.}$$

**Ответ:** 112,7. Диапазон 112–113.

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

$$\pi = CRT,$$

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

Это открытие было отмечено первой Нобелевской премией по химии.

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

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



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

### **Решение**

Рассчитаем массу 1 л раствора:

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

Масса глюкозы составляет:

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

Количество вещества глюкозы:

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

соответственно молярная концентрация раствора

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

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

**Ответ:** 6 334. Диапазон 6 314–6 354.

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

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

### **Решение**

Молярная концентрация раствора полимера:

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

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

Тогда молярная масса

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

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

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

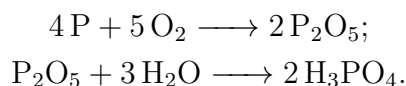
Темы: количество вещества, термохимия, электролитическая диссоциация.

#### **Условие**

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

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

Этот процесс упрощенно можно описать следующими реакциями:



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



**Решение**

В расчете на один час количество вещества фосфора составляет

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

тогда

$$\begin{aligned} n_{\text{теор}}(\text{O}_2) &= \frac{5}{4}n(P) = 112,11 \text{ кмоль}; \\ n_{\text{практ}}(\text{O}_2) &= 2n_{\text{теор}}(\text{O}_2) = 2 \cdot 112,11 = 224,22 \text{ кмоль}. \end{aligned}$$

Объем кислорода:

$$V(\text{O}_2) = n_{\text{практ}}(\text{O}_2)V_0 = 224,22 \cdot 1000 \cdot 22,4 = 5\,022\,658 \text{ л},$$

объем воздуха

$$V_{\text{возд}} = \frac{V(\text{O}_2)}{\chi(\text{O}_2)} = \frac{5\,022\,658}{0,21 \cdot 1000} = 23\,917 \text{ м}^3.$$

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

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

**Решение**

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

$$\begin{aligned} m(\text{H}_3\text{PO}_4) &= n(\text{H}_3\text{PO}_4)M = 89,69 \cdot (3 + 31 + 16 \cdot 4) = 8\,789,62 \text{ кг/ч}; \\ m_{\text{р-ра}}(\text{H}_3\text{PO}_4) &= \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{\omega(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{8\,789,62}{0,70} = 12\,557 \text{ кг/ч}. \end{aligned}$$

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

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

**Решение**

Количество теплоты, выделяющейся при сгорании фосфора, составляет

$$Q = Q_P n(P) = 89,69 \cdot 1\,764 = 158\,213 \text{ МДж/ч},$$

тогда

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

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

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

**Ответ:** 5 354. Диапазон 5 350–5 358.

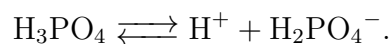
**Задание 4.** (6 баллов) В качестве пищевой добавки ортофосфорная кислота выступает регулятором кислотности и консервантом: кислая среда препятствует размножению микроорганизмов и порче продукта. Именно наличие фосфорной кислоты в составе обуславливает способность газированных напитков растворять ржавчину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



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

### Решение

Запишем уравнение диссоциации фосфорной кислоты по первой ступени:



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

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

В расчете на 1 л раствора  $n_0(\text{H}_3\text{PO}_4) = CV = 0,02 \cdot 1 = 0,02$  моль,

$$\begin{aligned} n(\text{H}^+) &= n(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = \alpha_I n_0(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,46 \cdot 0,02 = \\ &= 0,0092 \text{ моль} = 9,2 \text{ ммоль}. \end{aligned}$$

**Ответ:** 9,2.

### **Задача 2.2.7.5. Химию, как и любую науку, делают люди (10 баллов)**

Тема: химики России.

#### **Условие**

Этого выдающегося ученого однажды спросили, кто такой исследователь. «В Солнечной системе, затерянной в спиральных рукавах одной из миллионов галактик, на одной из десятков миллионов планет стоит существо и пытается слабым взором охватить Вселенную. Почему ему это удастся? В чем сила этого слабого обитателя затерянной в мироздании планеты? Я думаю, в вечном беспокойстве», — ответил академик. Пожалуй, только такой «беспокойный» человек мог охватить так много — от био- и геохимии до химии космоса. В начале карьеры этот ученый работал военным врачом и даже учился в двух университетах одновременно: в Военно-медицинской академии и на химфаке Ленинградского университета. Позднее он станет химиком, ядерщиком и даже планетологом.

Под руководством своего наставника В. Вернадского ученый начнет первое в мире исследование химического состава морских организмов. Он заложит биостанцию в Мурманске и проведет экспедицию по Баренцеву и Белому морям — в результате чего покажет, что живые организмы являются необходимым этапом круговорота элементов. Позднее он изучит влияние эволюции на изменение состава организмов и обоснует биогеохимический метод поиска полезных ископаемых.

Впоследствии он займется разработкой аналитических методов определения следов химических элементов в миллионных долях процента и меньше. Исследователь станет участником атомного проекта под руководством И. Курчатова, анализируя уран, тяжелую воду и другие материалы. Этот ученый станет основателем первой в России кафедры геохимии, организатором и первым директором Института геохимии и аналитической химии. Здесь он будет заниматься геохимией редких элементов, определит средние составы главных пород Земли, а после станет основоположником космохимии. Под его руководством определят состав лунного грунта, доставленного автоматическими станциями «Луна-16» и «Луна-20», а также состав атмосферы Венеры.

Имя этого ученого присвоено Институту геохимии, горному массиву на Луне и кратеру на Марсе, а также в его честь назван минерал, найденный на Кольском полуострове.

Назовите этого ученого:

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

Ж. Алексей Евграфович Фаворский.

Ответ: С.

## 2.2.8. Четвертая волна. Задачи 10–11 класса

Задачи четвертой волны предметного тура по химии за 10–11 класс открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контеcт: <https://contest.yandex.ru/contest/63487/enter/>.

### ***Задача 2.2.8.1. Как выжить в космосе? (30 баллов)***

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

#### ***Условие***

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

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



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

**Задание 1.** (7 баллов) Для получения надпероксида калия, используемого для регенерации воздуха в замкнутом пространстве, расплавленный калий сожгли в атмосфере с избытком кислорода. Оказалось, что в результате реакции кроме надпероксида калия образовался и пероксид калия. В образце смеси пероксида и надпероксида калия число атомов калия составило  $7,224 \cdot 10^{23}$ , а атомов кислорода —  $1,204 \cdot 10^{24}$ .

Определите массовую долю (в процентах) надпероксида калия в смеси с пероксидом (ответ округлите до целых).

### Решение

Определим количество вещества атомов калия и кислорода:

$$n(K) = \frac{7,224 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 1,2 \text{ моль};$$

$$n(O) = \frac{1,204 \cdot 10^{24}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 2 \text{ моль}.$$

Пусть  $n(KO_2) = x$  моль, а  $n(K_2O_2) = y$  моль, тогда:

$$\begin{cases} x + 2y = 1,2, \\ 2x + 2y = 2, \end{cases} \quad (2.2.19)$$

$x = 0,8$  моль,  $y = 0,2$  моль.

$$m_{KO_2} = n \cdot M = 0,8 \cdot 71 = 56,8 \text{ г};$$

$$m_{K_2O_2} = n \cdot M = 0,2 \cdot 110 = 22 \text{ г};$$

$$m_{\text{смеси}} = 56,8 + 22 = 78,8 \text{ г};$$

$$\omega_{KO_2} = \frac{56,8}{78,8} = 0,7208 \text{ или } 72\%.$$

**Ответ:** 72. Диапазон 71–73.

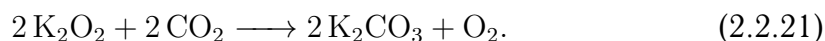
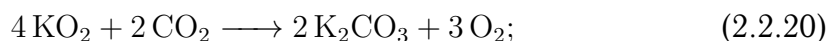
**Задание 2.** (7 баллов) Определите, какой объем углекислого газа (в литрах) может поглотиться смесью надпероксида калия и пероксида калия массой 62,3 г при стандартных условиях. Массовая доля надпероксида калия в смеси с пероксидом составляет 91,2% (ответ округлите до целого числа).

**Решение**

Определяем массы и количества надпероксида калия и пероксида калия в смеси:

$$\begin{aligned} m(\text{KO}_2) &= 62,3 \cdot 0,912 = 56,8176 \approx 56,8 \text{ г;} \\ m(\text{K}_2\text{O}_2) &= 62,3 - 56,8176 = 5,4824 \approx 5,5 \text{ г;} \\ n(\text{KO}_2) &= \frac{m}{M} = \frac{56,8}{71} = 0,8 \text{ моль;} \\ n(\text{K}_2\text{O}_2) &= \frac{m}{M} = \frac{5,5}{110} = 0,05 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Составим уравнения протекающих реакций:



По уравнениям реакций 2.2.20, 2.2.21 определяем количество вещества углекислого газа, а затем его объем при нормальных условиях.

По уравнению 2.2.20:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{1}{2}n(\text{KO}_2) = \frac{0,8}{2} = 0,4 \text{ моль.}$$

По уравнению 2.2.21:

$$\begin{aligned} n(\text{CO}_2) &= n(\text{K}_2\text{O}_2) = 0,05 \text{ моль;} \\ V(\text{CO}_2) &= n \cdot V_m = (0,4 + 0,05) \cdot 22,4 = 10,08 \text{ л.} \end{aligned}$$

В пересчете на стандартные условия (298 К) это составит:

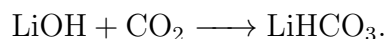
$$V(\text{CO}_2) = \frac{V_0 \cdot T_1}{T_0} = \frac{10,08 \cdot 298}{273} = 11 \text{ л.}$$

**Ответ:** 11.

**Задание 3.** (6 баллов) Какая минимальная масса гидроксида лития может поглотить 11,2 л углекислого газа (н. у.) (ответ округлите до целых).

**Решение**

Взаимодействие гидроксида лития с углекислым газом при недостатке гидроксида лития описывается уравнением:



Определяем количества углекислого газа:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{V}{V_m} = \frac{11,2}{22,4} = 0,5 \text{ моль.}$$

При соотношении веществ 1 : 1 имеем:

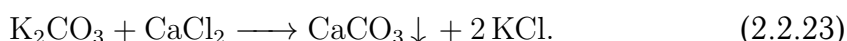
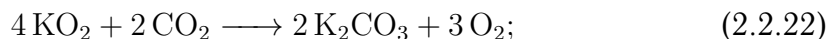
$$\begin{aligned} n(\text{LiOH}) &= n(\text{CO}_2) = 0,5 \text{ моль;} \\ m(\text{LiOH}) &= n \cdot M = 0,5 \cdot 24 = 12 \text{ г.} \end{aligned}$$

**Ответ:** 12. Диапазон 11–13.

**Задание 4.** (10 баллов) Супероксид калия массой 85,2 г прореагировал с избытком углекислого газа. После завершения процесса образовавшееся твердое вещество растворили в 200 мл воды и добавили 300 мл 20%-го раствора хлорида кальция плотностью 1,181 г/мл. Определите массовую долю хлорида калия (в процентах) в полученном растворе (ответ округлите до десятых).

**Решение**

Составим уравнения протекающих реакций:



$$n(\text{KO}_2) = \frac{m}{M} = \frac{85,2}{71} = 1,2 \text{ моль.}$$

Для того чтобы рассчитать массы хлорида калия и карбоната кальция, выпадающего в виде белого осадка, предварительно нужно определить избыток/недостаток реагирующих веществ.

$$\begin{aligned} n(\text{K}_2\text{CO}_3) &= \frac{1}{2}n(\text{KO}_2) = \frac{1,2}{2} = 0,6 \text{ моль;} \\ m(\text{р-ра CaCl}_2) &= V \cdot \rho = 300 \cdot 1,181 = 354,3 \text{ г;} \\ m(\text{CaCl}_2) &= 354,3 \cdot 0,2 = 70,86 \text{ г;} \\ n(\text{CaCl}_2) &= \frac{m}{M} = \frac{70,86}{111} = 0,638 \text{ моль — избыток;} \\ \text{AK}_2\text{CO}_3 &\text{ — в недостатке.} \end{aligned}$$

Количество вещества карбоната кальция, выпавшего в осадок, по уравнению реакции составляет:

$$\begin{aligned} n(\text{CaCO}_3) &= n(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,6 \text{ моль;} \\ m(\text{CaCO}_3) &= n \cdot M = 0,6 \cdot 100 = 60 \text{ г;} \\ n(\text{KCl}) &= 2 \cdot n(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,6 \cdot 2 = 1,2 \text{ моль;} \\ m(\text{KCl}) &= n \cdot M = 1,2 \cdot 74,5 = 89,4 \text{ г.} \end{aligned}$$

Определяем массу и массовую долю раствора:

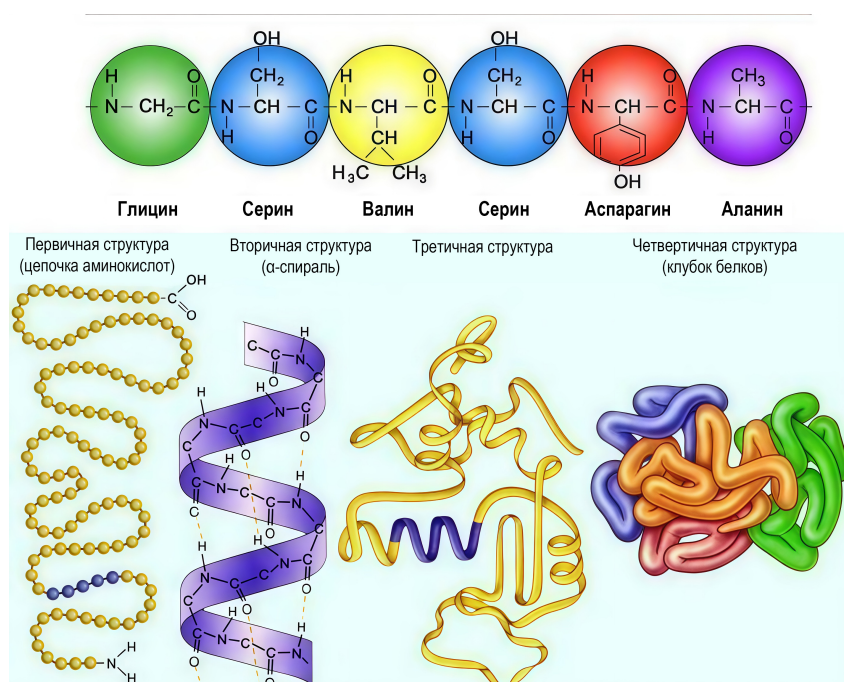
$$\begin{aligned} m(\text{р-ра}) &= m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{K}_2\text{CO}_3) + m(\text{р-ра CaCl}_2) - m(\text{CaCO}_3) = \\ &= 200 + 0,6 \cdot 138 + 354,3 \text{ г} - 60 = 577,1 \text{ г;} \\ \omega(\text{KCl}) &= 15,49 \approx 15,5\%. \end{aligned}$$

**Ответ:** 15,5. Диапазон 15,2–15,8.

**Задача 2.2.8.2. Аминокислоты — «кирпичики» белковых молекул (20 баллов)**

Темы: органическая химия, массовая доля элемента, биохимия.

## Условие



Аминокислоты играют ключевую роль в различных биотехнологических приложениях, и их использование в фармацевтической промышленности становится все более актуальным. Эти природные соединения обладают множеством полезных свойств, например, аминокислоты могут использоваться в качестве добавок к растворителям для улучшения процессов очистки белков, что является важным этапом в производстве биофармацевтических препаратов.

Одним из интересных аспектов аминокислот является их способность повышать внутриклеточное осмотическое давление, что позволяет клеткам адаптироваться к высоким концентрациям солей в окружающей среде. Эти свойства делают аминокислоты незаменимыми в биотехнологии, особенно когда речь идет о стабилизации белков.

Стабилизация белков — это важная задача, поскольку многие белки теряют свою активность при изменении условий окружающей среды, а добавление аминокислот помогает сохранить активную форму белков, предотвращая их денатурацию.

Таким образом, аминокислоты становятся неотъемлемой частью современных биотехнологий. Их применение охватывает широкий спектр областей, включая производство вакцин, терапевтических белков и других биофармацевтических препаратов. Исследования в этой области продолжаются, и, вероятно, в будущем мы увидим новые применения аминокислот, которые откроют дополнительные горизонты в биотехнологии и фармацевтике.

В процессе исследования некоторая аминокислота массой 17,4 г была подвергнута термическому разложению. Продукты сгорания были направлены последовательно через слой пентаоксида фосфора, в результате масса твердого вещества увеличилась на 12,6 г. Оставшиеся газообразные продукты были пропущены через избыток известковой воды. В результате образовался осадок, масса которого составила 60 г и 4,48 л газа (н.у.), образовавшегося в процессе горения, не поглотилась. Определите аминокислоту.



**Задание 1.** (8 баллов) Определите молекулярную формулу аминокислоты. Запишите ее в формате  $C_1H_2O_3N_4$ .

**Решение**

Определим количества веществ, образующихся в результате термического разложения аминокислоты и количества элементов, входящих в ее состав.

В процессе термического разложения аминокислот образуется углекислый газ, вода, а для серосодержащих аминокислот еще и сероводород. При пропускании газообразной смеси над пентаоксидом фосфора с ним реагирует вода с образованием фосфорной кислоты, следовательно, увеличение массы твердого вещества обусловлено водой:

$$\begin{aligned} P_2O_5 + 3 H_2O &\longrightarrow 2 H_3PO_4; \\ n(H_2O) &= \frac{12,6}{18} = 0,7 \text{ моль}; \\ n(H) &= 2 \cdot n(H_2O) = 2 \cdot 0,7 = 1,4 \text{ моль}; \\ m(H) &= n \cdot M = 1 \cdot 1 = 1,4 \text{ г}. \end{aligned}$$

Известковая вода, представляющая собой раствор гидроксида кальция, связывает углекислый газ в нерастворимый карбонат кальция:

$$\begin{aligned} Ca(OH)_2 + CO_2 &\longrightarrow CaCO_3 \downarrow + H_2O; \\ n(CaCO_3) &= \frac{60}{100} = 0,6 \text{ моль}; \\ n(CO_2) &= n(CaCO_3) = 0,6 \text{ моль}; \\ m(C) &= n \cdot M = 0,6 \cdot 12 = 7,2 \text{ г}. \end{aligned}$$

Непоглотившийся известковой водой газ — это инертный азот, его количество составляет:

$$\begin{aligned} n(N_2) &= \frac{4,48}{22,4} = 0,2 \text{ моль}; \\ n(N) &= 2 \cdot n(N_2) = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ моль}; \\ m(N) &= n \cdot M = 0,4 \cdot 14 = 5,6 \text{ г}. \end{aligned}$$

В аминокислотах содержится кислород, определяем его массу:

$$\begin{aligned} m(O) &= 17,4 - 7,2 - 1,4 - 5,6 = 3,2 \text{ г}; \\ n(O) &= \frac{3,2}{16} = 0,2 \text{ моль}; \\ n(C) : n(H) : n(O) : n(N) &= 0,6 : 1,4 : 0,2 : 0,4 = 3 : 7 : 1 : 2 (\times 2). \end{aligned}$$

Элементарная формула —  $C_3H_7ON_2$  — такой аминокислоты не существует,

$$\begin{aligned} n(C) : n(H) : n(O) : n(N) &= 3 : 7 : 1 : 2 (\times 2); \\ n(C) : n(H) : n(O) : n(N) &= 6 : 14 : 2 : 4. \end{aligned}$$

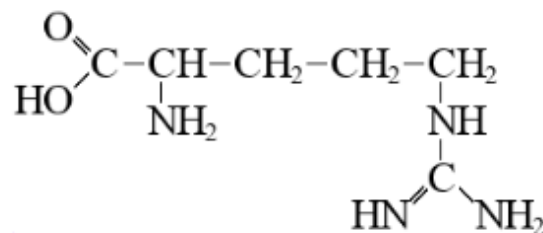
Молекулярная формула аминокислоты —  $C_6H_{14}O_2N_4$ .

**Ответ:**  $C_6H_{14}O_2N_4$ .

**Задание 2.** (5 баллов) Запишите тривиальное название данной аминокислоты.

**Решение**

Аминокислота, имеющая брутто-формулу  $C_6H_{14}O_2N_4$  — аргинин.



Аргинин интересен тем, что это аминокислота, которая является эффективным реагентом для рефолдинга рекомбинантных белков. Этот процесс, в котором белки возвращаются к своей вторичной и третичной структуре после денатурации. Аргинин способствует этому процессу, подавляя агрегацию белков и тем самым повышая эффективность рефолдинга. Уникальные свойства делают его ценным инструментом в исследованиях и разработке новых белков, особенно в фармацевтическом контексте. Кроме того, аргинин способствует сольюбилизации белков, которые находятся в рыхлых телах включения, что значительно упрощает процесс получения активных белков. Это особенно важно для разработки терапевтических белков.

**Ответ:** аргинин.

**Задание 3.** (2 балла) Какой является данная аминокислота с точки зрения синтеза в организме человека:

- 0.1. заменимой,
- 0.2. незаменимой.

В ответе укажите только цифру.

**Решение**

По значению для организма человека аминокислоты разделяют на заменимые и незаменимые. Заменимые аминокислоты — это те, которые организм может производить самостоятельно из других аминокислот и веществ, поступающих в организм. Незаменимые аминокислоты — необходимые аминокислоты, которые не могут быть синтезированы в организме. Для человека незаменимыми являются: валин, лейцин, изолейцин, метионин, триптофан, фенилаланин, треонин, лизин и гистидин.

Аргинин — **заменимая** аминокислота для организма человека.

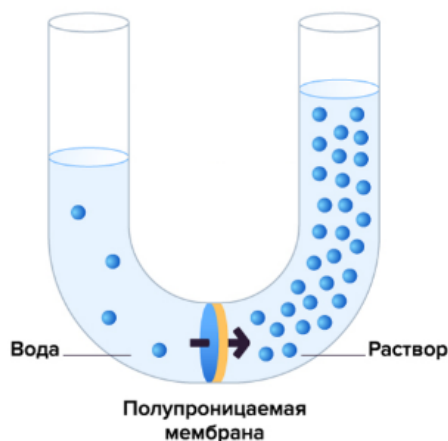
**Ответ:** 1.

### **Задача 2.2.8.3. Осмос в биологических системах (20 баллов)**

Темы: концентрации, растворы, осмос.

### Условие

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



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

$$\pi = CRT,$$

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

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

**Задание 1.** (6 баллов) При температуре 25 °С рассчитайте осмотическое давление раствора удобрения (250 г мочевины в 7,5 л воды). Ответ запишите в килопаскалях (кПа) с точностью до целых.

**Решение**

Количество вещества мочевины:

$$n(\text{NH}_2\text{CONH}_2) = \frac{m(\text{NH}_2\text{CONH}_2)}{M} = \frac{250}{16 \cdot 2 + 28} = 4,17 \text{ моль},$$

соответственно молярная концентрация раствора

$$C(\text{NH}_2\text{CONH}_2) = \frac{n(\text{NH}_2\text{CONH}_2)}{V} = \frac{4,17}{7,5} = 0,56 \text{ моль/л}.$$

Осмотическое давление  $\pi = CRT = 0,56 \cdot 8,314 \cdot (273 + 25) = 1\,387 \text{ кПа}$ .

**Ответ:** 1 387. Диапазон 1 350–1 400.

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



Рассчитайте массовую долю хлорида натрия в разбавленном растворе, осмотическое давление которого при температуре 37 °С составляет 5 199 кПа (плотность примите  $\rho = 1\,035 \text{ г/л}$ ). Ответ запишите в процентах с точностью до сотых.

**Решение**

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

$$C = \frac{\pi}{RT} = \frac{5\,199}{8,314 \cdot (273 + 37)} = 2,02 \text{ моль/л}.$$

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

Тогда концентрация хлорида натрия составляет:

$$C(\text{NaCl}) = \frac{C}{2} = \frac{2,02}{2} = 1,01 \text{ моль/л},$$

а масса соли в 1 л раствора:

$$m(\text{NaCl}) = n(\text{NaCl}) \cdot M = C(\text{NaCl}) \cdot V \cdot M = 1,01 \cdot 1 \cdot (23 + 35,5) = 59,09 \text{ г.}$$

Массовая доля в растворе

$$\omega = \frac{m_{\text{NaCl}}}{m_{\text{р-ра}}} = \frac{59,09}{1 \cdot 1035} \cdot 100 = 5,7\%.$$

**Ответ:** 5,7. Диапазон 5,5–5,9.

**Задание 3.** (7 баллов) Измерение осмотического давления является одним из распространенных методов определения молекулярной массы полимера, влияющей на его свойства. Например, полипропилен с высокой молекулярной массой обладает более высокими показателями предела прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве, ударной вязкости при изгибе и растяжении. Мембранный осмометр основан на измерении разности давлений — например, по разности высот в капиллярах раствора и растворителя, поскольку гидростатическое давление уравнивает осмотическое.

Установите молекулярную массу полипропилена, если разность высот жидкости в осмометре для его раствора в тетралине, содержащего 2,5 г в 250 мл раствора, составляет 2,1 см при 20 °С. Ответ выразите в килограммах на моль (кг/моль) с точностью до целых. Плотность тетралина и раствора 973 кг/м<sup>3</sup>.

### **Решение**

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

$$\pi = CRT = \rho g \Delta h = 973 \cdot 9,8 \cdot (2,1 \cdot 10^{-2}) = 200 \text{ Па.}$$

Молярная концентрация раствора полимера составляет

$$C = \frac{\pi}{RT} = \frac{200}{8,314 \cdot (273 + 20)} = 0,082 \text{ моль/м}^3,$$

то есть количество вещества полимера

$$n = CV = 0,082 \cdot \frac{0,1}{1000} = 0,008 \text{ ммоль.}$$

Тогда молекулярная масса

$$M = \frac{m}{n} = \frac{2,5}{0,008} = 312,5 \text{ кг/моль.}$$

**Ответ:** 312,5. Диапазон 290–320.

### **Задача 2.2.8.4. Е338: производство и применение (25 баллов)**

Темы: количество вещества, термохимия, химическое равновесие.

### Условие

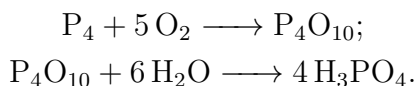
Ортофосфорная кислота используется в самых разных областях — в производстве удобрений и чистящих средств, для деревообработки и очистки металла от ржавчины, в стоматологии для реставрации зубов и в ювелирном деле при пайке. Также она зарегистрирована в качестве пищевой добавки Е338, которую можно встретить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

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

**Задание 1.** (8 баллов) При нормальных условиях рассчитайте объем воздуха, который необходимо подавать в башню (камеру сжигания) в 1 ч для сжигания фосфора, если известно, что расход образующегося в башне 70%-го раствора фосфорной кислоты составляет 2 200 кг/ч. Ответ приведите в кубических метрах с точностью до целых. Учтите, что для предотвращения образования оксида фосфора (III) в башню подают двукратный избыток воздуха по сравнению с расчетным количеством.

### Решение

Запишем уравнения происходящих реакций:



Масса фосфорной кислоты:

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = m_{\text{р-ра}} \omega_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 2\,200 \cdot 0,70 = 1\,540 \text{ кг/ч.}$$

Количество вещества фосфорной кислоты:

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{M} = \frac{1\,540}{3 + 31 + 16 \cdot 4} = 15,71 \text{ кмоль/ч,}$$

что соответствует расчетному количеству вещества кислорода

$$\begin{aligned} n_{\text{теор}}(\text{O}_2) &= \frac{5}{4} n(\text{H}_3\text{PO}_4) = 19,64 \text{ кмоль/ч;} \\ n_{\text{практ}}(\text{O}_2) &= 2n_{\text{теор}}(\text{O}_2) = 2 \cdot 19,64 = 39,28 \text{ кмоль/ч.} \end{aligned}$$

Объем кислорода

$$V(\text{O}_2) = n_{\text{практ}}(\text{O}_2) V_0 = 39,28 \cdot 1\,000 \cdot 22,4 = 880\,000 \text{ л,}$$

объем воздуха

$$V_{\text{возд}} = \frac{V(\text{O}_2)}{\chi(\text{O}_2)} = \frac{880\,000}{0,21 \cdot 1\,000} = 4\,190 \text{ м}^3.$$

**Ответ:** 4 190. Диапазон 3 890–4 490.

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

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

### Решение

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

$$\begin{aligned}\Delta_r Q &= \sum n_i Q_f(\text{прод}) - \sum n_j Q_f(\text{реаг}); \\ \Delta_{r1} Q &= Q_f(P_4 O_{10(тв)}) - Q_f(P_{4(тв)}) - 5Q_f(O_{2(г)}); \\ \Delta_{r2} Q &= 4Q_f(H_3PO_{4(ж)}) - 6Q_f(H_2 O_{(ж)}) - Q_f(P_4 O_{10(тв)}).\end{aligned}$$

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

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

В расчете на 4 моль фосфорной кислоты

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

Тогда

$$Q = Q_R \cdot \frac{n(H_3PO_4)}{4} = 3\,352,62 \cdot \frac{15,71}{4} = 13\,167 \text{ МДж}.$$

**Ответ:** 13 167. Диапазон 13 080–13 250.

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



Рассчитайте  $pH$  0,35 моль/л раствора фосфорной кислоты с точностью до десятых, если известно, что константа диссоциации кислоты по первой ступени составляет  $7,52 \cdot 10^{-3}$ , а диссоциацией по второй и третьей ступени можно пренебречь.

### Решение

Запишем уравнение диссоциации фосфорной кислоты по первой ступени:



Выражение для константы диссоциации:

$$K_I = \frac{[H_2PO_4^-][H^+]}{[H_3PO_4]},$$

где в квадратных скобках указаны равновесные концентрации.

Тогда

$$[H_2PO_4^-] = [H^+], [H_3PO_4] = C_0 - [H^+];$$

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

Решение уравнения при  $C_0 = 0,35$  моль/л позволяет найти

$$[H^+] = 0,051 \text{ моль/л},$$

откуда  $pH = -\lg([H^+]) \approx 1,3$ .

**Ответ:** 1,3.

### Задача 2.2.8.5. Химию, как и любую науку, делают люди (10 баллов)

Тема: химики России.

#### Условие

Этого выдающегося ученого однажды спросили, кто такой исследователь. «В Солнечной системе, затерянной в спиралях одной из миллионов галактик, на одной из десятков миллионов планет стоит существо и пытается слабым взором охватить Вселенную. Почему ему это удастся? В чем сила этого слабого обитателя затерянной в мироздании планеты? Я думаю, в вечном беспокойстве», — ответил академик. Пожалуй, только такой «беспокойный» человек мог охватить так много — от био- и геохимии до химии космоса. В начале карьеры этот ученый работал военным врачом и даже учился в двух университетах одновременно: в Военно-медицинской академии и на химфаке Ленинградского университета. Позднее он станет химиком, ядерщиком и даже планетологом.

Под руководством своего наставника В. Вернадского ученый начнет первое в мире исследование химического состава морских организмов. Он заложит биостанцию



в Мурманске и проведет экспедицию по Баренцеву и Белому морям — в результате чего покажет, что живые организмы являются необходимым этапом круговорота элементов. Позднее он изучит влияние эволюции на изменение состава организмов и обоснует биогеохимический метод поиска полезных ископаемых.

Впоследствии он займется разработкой аналитических методов определения следов химических элементов в миллионных долях процента и меньше. Исследователь станет участником атомного проекта под руководством И. Курчатова, анализируя уран, тяжелую воду и другие материалы. Этот ученый станет основателем первой в России кафедры геохимии, организатором и первым директором Института геохимии и аналитической химии. Здесь он будет заниматься геохимией редких элементов, определит средние составы главных пород Земли, а после станет основоположником космохимии. Под его руководством определяют состав лунного грунта, доставленного автоматическими станциями «Луна-16» и «Луна-20», а также состав атмосферы Венеры.

Имя этого ученого присвоено Институту геохимии, горному массиву на Луне и кратеру на Марсе, а также в его честь назван минерал, найденный на Кольском полуострове.

Назовите этого ученого:

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

**Ответ:** С.

## 2.3. Предметный тур. Биология

### 2.3.1. Первая волна. Задачи 8–9 класса

Задачи первой волны предметного тура по биологии за 8–9 открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/63554/enter/>.

#### ***Задача 2.3.1.1. Адаптационные свойства растений (10 баллов)***

*Тема: биология растений.*

##### ***Условие***

Считается, что первые высшие растения на планете появились около 450 млн лет назад.

Растения существуют на планете повсеместно, а число разнообразных видов, описанных учеными на сегодняшний день, насчитывает более 8,5 млн уникальных наименований.

В течение долгого времени в процессе роста и развития одни виды растений изменялись, адаптируясь к условиям окружающей среды, тогда как другие не успевали приспособиться к изменяющейся окружающей среде и исчезали бесследно.

Выберите признаки, характерные для растений класса Хвощевидные:

1. процесс фотосинтеза происходит во всех частях растения, включая стебель;
2. в прошлом растения были представлены травянистыми и древесными формами;
3. процесс фотосинтеза не характерен для данных растений;
4. в современном мире присутствуют только древесные формы растений;
5. процесс фотосинтеза происходит исключительно в листьях растения.

##### ***Решение***

Растения класса Хвощевидные имеют характерные особенности. Так, в прошлом данные растения были представлены в том числе и древесными формами. Процесс фотосинтеза происходит в том числе и в мясистом зеленом стебле данных растений.

**Ответ:** 1, 2.

#### ***Задача 2.3.1.2. Строение глаза (15 баллов)***

*Тема: анатомия.*

**Условие**

Школьник Иван увлекается моделированием. На биологии он увидел модель строения глаза и разработал анатомический конструктор, напечатав на 3D-принтере детали и собрав полноценную модель. Но для представления проекта на конкурсе необходимо дополнить изделие описанием и презентационными материалами.

Помогите Ивану разобраться с функциями каждого элемента строения глаза, сопоставив предложенные термины и их описания.

В ответ занесите цифру соответствующего термина в порядке возрастания и соответствующую описанию букву в формате 1 — А, 2 — В, 3 — С.

- |               |   |
|---------------|---|
| 1. Склера.    | А. Состоит из пигментированных клеток и мышц, которые изменяют размер центрального отверстия для контроля светового потока. |
| 2. Зрачок.    | В. Внутренняя оболочка глаза, где световые сигналы преобразуются в электрические импульсы для передачи в мозг.              |
| 3. Хрусталик. | С. Отвечает за точную фокусировку световых лучей на светочувствительной поверхности.  |
| 4. Радужка.   | Д. Представляет собой плотную защитную оболочку глаза, обеспечивающую его механическую поддержку.                           |
| 5. Сетчатка.  | Е. Регулирует поток света, проходящего внутрь глаза, изменяя свой диаметр в зависимости от интенсивности освещения.         |

**Ответ:** 1 — D, 2 — E, 3 — C, 4 — A, 5 — B.

**Задача 2.3.1.3. Типы питания (20 баллов)**

Тема: микробиология.

**Условие**

Прочитайте текст и выберите верный термин.

В ответ занесите буквы выбранных терминов в порядке от начала текста к концу без пробелов и запятых, например, «АБВАБВАБВВ».

**А. Гетеротрофное / Б. Автотрофное / В. Литотрофное** питание является типом питания, при котором организмы получают необходимые вещества и энергию из органических соединений, **А. синтезируемых / Б. разлагаемых / В. биоразлагаемых** другими организмами. **А. Гетеротрофы / Б. автотрофы / В. литотрофы**, к которым относятся животные, грибы и многие бактерии, **А. способны / Б. не способны** самостоятельно синтезировать органические вещества из неорганических, в отличие от **А. гетеротрофов / Б. автотрофов / В. литотрофов**, таких как растения и некоторые бактерии. **А. Гетеротрофное / Б. Автотрофное / В. Литотрофное** питание включает различные процессы, такие как фагоцитоз, осмотрофию. Например, животные поглощают пищу через пищеварительный тракт, где

происходит ее **А. ферментативное расщепление / Б. накопление / В. ферментативный синтез** до молекул, пригодных для усвоения. Грибы и сапротрофные **А. бактерии / Б. вирусы / В. простейшие** выделяют экзоферменты для внешнего **А. расщепления / Б. синтеза / В. перераспределения** органики, а затем абсорбируют образовавшиеся простые вещества. **А. Гетеротрофы / Б. автотрофы / В. литотрофы** играют важную роль в экосистемах, обеспечивая круговорот органического вещества и энергии.

### **Решение**

**Гетеротрофное** / автотрофное / литотрофное питание является типом питания, при котором организмы получают необходимые вещества и энергию из органических соединений, **синтезируемых** / разлагаемых / биоразлагаемых другими организмами. **Гетеротрофы** / автотрофы / литотрофы, к которым относятся животные, грибы и многие бактерии, способны / **не способны** самостоятельно синтезировать органические вещества из неорганических, в отличие от гетеротрофов / **автотрофов** / литотрофов, таких как растения и некоторые бактерии. **Гетеротрофное** / автотрофное / литотрофное питание включает различные процессы, такие как фагоцитоз, осмотрофию. Например, животные поглощают пищу через пищеварительный тракт, где происходит ее **ферментативное расщепление** / накопление / ферментативный синтез до молекул, пригодных для усвоения. Грибы и сапротрофные **бактерии** / вирусы / простейшие выделяют экзоферменты для внешнего **расщепления** / синтеза / перераспределения органики, а затем абсорбируют образовавшиеся простые вещества. **Гетеротрофы** / автотрофы / литотрофы играют важную роль в экосистемах, обеспечивая круговорот органического вещества и энергии.

**Ответ:** АААББААААА.

### **Задача 2.3.1.4. Формула цветка (10 баллов)**

*Тема: биология растений.*

#### **Условие**

В лаборатории «Агробιοтехнологии» вывели новый сорт декоративного растения.

Известно, что это цветок растения семейства Гвоздичные, который имеет следующие характеристики:

- чашелистиков пять, они свободные;
- лепестков пять, они свободные;
- тычинок десять, они свободные;
- гинецей один, состоящий из пяти сросшихся плодолистиков.

Составьте формулу цветка для данного растения.

#### **Справочный материал**

Формула цветка — это упрощенное обозначение строения цветка, которое позволяет быстро определить основные элементы его строения.

Основные компоненты формулы цветка: чашечка (C) — обозначается буквой C и количеством чашелистиков, венчик (C0) — обозначается буквой C и цифрой ноль C0 и количеством лепестков, тычинки (A) — обозначаются буквой A и количеством тычинок, гинецей (G) — обозначается буквой G и количеством плодолистиков. Свободные элементы обозначаются простыми числами. Сросшиеся элементы обозначаются числами в скобках.

### **Решение**

Пользуясь текстом задачи и справочным материалов, составим формулу цветка.

**Ответ:** C5C05A10G(5).

## **Задача 2.3.1.5. Нейродегенеративные заболевания (10 баллов)**

*Тема: физиология человека и животных.*

### **Условие**

Группа ученых из Калифорнийского университета в Беркли обследовала 26 пожилых людей и установила, что хронический дефицит сна связан с ухудшением превращения кратковременных воспоминаний в долговременную память и сопровождается накоплением в мозгу бета-амилоидов, белков, обнаруживаемых в мозгу пациентов с деменцией альцгеймеровского типа. Болезнь Альцгеймера в частности и нейродегенеративные заболевания в целом представляют собой группу расстройств, характеризующихся прогрессивной дегенерацией или гибелью нервных клеток. Эти заболевания имеют значительное влияние на качество жизни пациентов и представляют собой серьезную медицинскую проблему. Современные исследования направлены на понимание причин, механизмов и возможных методов лечения этих заболеваний.

Какие из следующих утверждений о нейродегенеративных заболеваниях верны? Выберите верные ответы.

1. Болезнь Альцгеймера является примером нейродегенеративного заболевания.
2. Нейродегенеративные заболевания всегда связаны с генетическими мутациями.
3. Болезнь Паркинсона характеризуется утратой дофамин-продуцирующих нейронов.
4. Боковой амиотрофический склероз (БАС) влияет на двигательные нейроны и может привести к параличу.
5. Нейродегенеративные заболевания могут быть вызваны прионами.
6. Рассеянный склероз — это нейродегенеративное заболевание, которое поражает миелиновую оболочку нервных волокон.
7. Нейродегенеративные заболевания не могут быть диагностированы с помощью нейровизуализации.

**Ответ:** 1, 3, 4, 5, 6.

### **Задача 2.3.1.6. Глубоководные адаптации (9 баллов)**

Тема: зоология позвоночных.

#### **Условие**

Морские животные могут погружаться на достаточно большую глубину для ловли добычи, рекордсмены среди млекопитающих — зубатые киты клюворылы — смогли опуститься на глубину 2 992 м, а южные морские слоны достигли отметки в 2 388 м ниже уровня моря. Недавно самка кожистой черепахи установила рекорд в 1 344 м, предыдущий рекорд в 1 280 м держался почти 20 лет! Какие адаптации помогли достичь черепахе таких результатов?

1. Могут задерживать дыхание на 90 мин.
2. Гибкие панцири сжимаются и расширяются при изменении давления, что обеспечивает защиту во время погружений и подъема на поверхность.
3. Способны дышать через кожу, что помогает им получать кислород на большой глубине.
4. В холодной воде способны поддерживать более высокую по сравнению с окружающей средой температуру тела.
5. Обладают особыми железами, выделяющими свет для привлечения добычи в темноте.
6. Могут впадать в анабиоз на глубине, что позволяет им переживать экстремальные условия.

**Ответ:** 1, 2, 4.

### **Задача 2.3.1.7. Прионы (9 баллов)**

Тема: физиология человека и животных.

#### **Условие**

Прионы — это белки с аномальной третичной структурой, которые могут вызывать нейродегенеративные заболевания у животных и человека, такие как губчатая энцефалопатия крупного рогатого скота (коровье бешенство) и болезнь Крейтцфельдта – Якоба у людей. Прионы также обладают способностью изменять нормальные белки, присутствующие в организме, в патогенные формы.

Какие особенности прионов можно выделить? Выберите верные ответы.

1. Длительный инкубационный период, в течение которого симптомы не проявляются, но прионы уже могут распространяться и накапливаться в организме.
2. Способны к самостоятельному размножению без участия клетки-хозяина.
3. Невозможность лечения, они неизбежно приводят к летальному исходу.
4. Способны к передаче воздушно-капельным путем
5. Устойчивы к обычным методам дезинфекции, таким как нагревание, радиация и химические агенты.
6. Изменяют ДНК клетки-хозяина при проникновении в организм.

**Ответ:** 1, 3, 5.

### **Задача 2.3.1.8. Биолюминисценция (12 баллов)**

*Тема: зоология.*

#### **Условие**

Глубоководные морские организмы, такие как рыбы-удильщики, кальмары и некоторые виды медуз, обладают специальными органами — **фотофорами**, которые способны испускать свет. Свечение возможно благодаря преобразованию химической энергии в энергию света и называется биолюминесценцией. В процессе задействованы субстраты-люциферины и ферменты люциферазы.

Для чего животные могут использовать фотофоры? Выберите верные ответы.

Стоит отметить, что существует вариант использования не фотофоров, но ламп освещения для того, чтобы скрывать из вида самолеты и даже целые корабли.

1. Защита от ультрафиолетового излучения: фотофоры помогают поглощать ультрафиолетовые лучи, предотвращая повреждение ДНК и клеток.
2. Ориентация в пространстве: фотофоры обеспечивают свет для ориентации в темных водах океана, помогая животным находить дорогу.
3. Поиск пищи на поверхности: фотофоры позволяют глубоководным организмам находить пищу на поверхности воды.
4. Маскировка (контросвечение): некоторые рыбы, такие как серебристая акула, используют фотофоры для создания эффекта контросвечения. Это помогает им скрываться от хищников.
5. Привлечение добычи: рыбы-удильщики используют фотофоры в виде светящихся «удочек» для привлечения добычи. Свет приманивает мелких рыб и других морских обитателей, которых удильщик затем захватывает.
6. Коммуникация и привлечение партнера: некоторые виды кальмаров, такие как кальмар-вампир, используют биолюминесценцию для коммуникации с другими особями своего вида.

**Ответ:** 4, 5, 6.

### **Задача 2.3.1.9. Селекционер картофеля (5 баллов)**

*Тема: ученые.*

#### **Условие**

Этот человек был выдающимся ученым-агрономом, сыгравшим ключевую роль в развитии сельского хозяйства XX века. С ранних лет проявлял интерес к растениеводству, что предопределило его дальнейший путь в науке. Он окончил земледельческую и лесную академию, после чего начал свою профессиональную деятельность, сосредоточив внимание на селекции картофеля. Одним из главных достижений стало выведение новых сортов картофеля, которые отличались высокой урожайностью,

устойчивостью к заболеваниям и неблагоприятным климатическим условиям. Наиболее известным стал сорт картофеля, названный в его честь, который получил широкое признание благодаря своей устойчивости к фитофторозу и отличным вкусовым качествам. Этот сорт сыграл значительную роль в повышении продуктивности картофелеводства, что способствовало укреплению продовольственной безопасности страны. Кроме того, он проводил обширные исследования в области агротехники и физиологии картофеля. Его работы по оптимизации методов выращивания и ухода за картофелем, а также по изучению физиологических процессов, происходящих в растениях, стали важным вкладом в агрономическую науку. Эти исследования легли в основу многих последующих научных трудов и практических рекомендаций для фермеров и агрономов.

Назовите этого ученого.

1. Алексей Николаевич Бах (1857–1946).
2. Юрий Анатольевич Овчинников (1934–1988).
3. Александр Георгиевич Лорх (1889–1960).
4. Илья Григорьевич Борщов (1833–1878).
5. Александр Николаевич Северцов (1866–1936).
6. Петр Петрович Ширшов (1905–1953).

**Ответ:** 3.

### 2.3.2. Первая волна. Задачи 10–11 класса

Задачи первой волны предметного тура по биологии за 10–11 класс открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/63550/enter/>.

#### **Задача 2.3.2.1. Морские свинки (10 баллов)**

*Тема: генетика.*

##### **Условие**

В лаборатории генетики живут морские свинки Макс и Мира. Их первое потомство имело равномерно темный окрас, однако в пропорции 1:1 произошло распределение на гладкую и розеточную шерсть. При этом известно, что Мира имеет светлую гладкую шерстку. Каков генотип Макса, если темный оттенок и гладкая шерстка характерны для доминантных генов?

Гены, кодирующие доминантные признаки, обозначаются прописными буквами — *A*, *B*, аллельные им гены, кодирующие рецессивные признаки, обозначаются строчными буквами — *a*, *b*.

Для составления схем скрещивания воспользуйтесь решеткой Пеннета (таблица 2.3.1), где вдоль одной стороны расположены женские гаметы, а вдоль другой — мужские. Внутри таблицы размещают варианты генотипов, получаемых при скрещивании.



Таблица 2.3.1. Решетка Пеннета

♂				
♀				

Выберите правильный вариант ответа:

1.  $aaBb$ ;
2.  $aaBB$ ;
3.  $AAbb$ ;
4.  $AABB$ .

### Решение

Темный оттенок и гладкая шерстка — доминантные гены, значит, обозначим их как  $A$  и  $B$ .

Мира имеет светлую гладкую шерстку, то есть  $aaBB$  или  $aaBb$ .

Гены, кодирующие доминантные признаки, обозначаются прописными буквами —  $A$ ,  $B$ , аллельные им гены, кодирующие рецессивные признаки, обозначаются строчными буквами —  $a$ ,  $b$ .

Для составления схем скрещивания воспользуемся решеткой Пеннета (таблица 2.3.1), где вдоль одной стороны расположены женские гаметы, а вдоль другой — мужские, внутри таблицы размещают варианты генотипов, получаемых при скрещивании.

В первом поколении особи единообразны по окрасу, это значит, что у Макса темная шерстка и генотип  $AA$ . Тогда у всех особей первого поколения генотип  $Aa$  и темная шерстка.

Разделение на розеточную и гладкую шерсть в пропорции 1 : 1 говорит о том, что по второй аллели генотип Макса  $bb$ .

Проверим на решетке Пеннета (таблица 2.3.1):

#### Вариант А

Мира —  $aaBB$ .

Макс —  $AAbb$ .

Таблица 2.3.2

$M \times M$	$Ab$
$aB$	$AaBb$

Поклоение единообразно, условию задачи не соответствует.

#### Вариант Б

Мира —  $aaBb$ .

Макс —  $AAbb$ .

Таблица 2.3.3

$M \times M$	$Ab$	
$aB$	$AaBb$	Темная, гладкая
$ab$	$Aabb$	Темная, розеточная
$aB$	$AaBb$	Темная, гладкая
$ab$	$Aabb$	Темная, розеточная

Распределение верное, условию задачи соответствует.

**Ответ:** 3.

### **Задача 2.3.2.2. Клетки и процессы (12 баллов)**

Тема: цитология.

#### **Условие**

Клетка — целостная элементарная единица со сложной структурой, характерная для всех живых организмов.

Клетки, сходные по функциям и строению, могут образовывать ткани, которые, в свою очередь, могут формировать органы. При этом клетки могут функционировать по-разному, и некоторые процессы характерны для определенных типов клеток и тканей, а также этапов жизненного цикла клетки.

Пользуясь информацией ниже, сопоставьте термины и их определения. В ответ занесите цифру соответствующего термина в порядке возрастания и соответствующую описанию букву в формате 1 — А, 2 — В, 3 — С.

- |               |   |
|---------------|---|
| 1. Эндоцитоз. | А. Программируемая клеточная смерть, являющаяся нормальным и контролируемым процессом в организме, необходимым для поддержания гомеостаза и предотвращения развития опухолей. |
| 2. Апоптоз.   | В. Самопереваривание клетки или ткани, вызванное действием собственных ферментов, высвобожденных при разрушении клеточных мембран.  |
| 3. Автолиз.   | С. Процесс поглощения клеткой крупных частиц или жидкости путем образования везикул из плазматической мембраны.   |

**Ответ:** 1 — С, 2 — А, 3 — В.

### Задача 2.3.2.3. Микромир (15 баллов)

Тема: микробиология.

#### Условие

Прочитайте текст и выберите верный термин из предложенного списка.

В ответ занесите буквы выбранных терминов в порядке от начала текста к концу без пробелов и запятых, например, «АБВАБВАБВВ».

**А. Вирусы / Б. бактерии / В. грибы** представляют собой неклеточные инфекционные агенты, обладающие уникальными биологическими свойствами и способностью **А. инфицировать / Б. декомпозировать / В. интегрировать** все формы жизни, включая животных, растения, грибы, **А. бактерии и археи / Б. вирусы / В. микрогрибы**. Они состоят из **А. гетерогенного / Б. генетического / В. синтетического** материала, заключенного в **А. желатиновую / Б. клеточную / В. белковую** оболочку, называемую **А. матриксом / Б. капсидом / В. кутикулой**.

У некоторых **А. бактерий / Б. вирусов / В. архей** **А. матрикс / Б. капсид / В. кутикула** окружен(а) **А. липидной мембраной / Б. плазмой / В. спорой**, содержащей **А. бактериальные / Б. вирусные / В. растительные** гликопротеины, которые играют ключевую роль в распознавании и проникновении в **А. клетку-хозяина / Б. эксплант / В. клеточное ядро**. **А. Бактерии / Б. вирусы / В. археи** не обладают собственным метаболизмом и не могут размножаться самостоятельно; они нуждаются в **А. клетках-хозяевах / Б. эксплантах / В. клеточном ядре** для **А. синтеза / Б. репликации / В. фотолиза**.

#### Решение

**Вирусы / бактерии / грибы** представляют собой неклеточные инфекционные агенты, обладающие уникальными биологическими свойствами и способностью **инфицировать / декомпозировать / интегрировать** все формы жизни, включая животных, растения, грибы, **бактерии и археи / вирусы / микрогрибы**. Они состоят из гетерогенного / **генетического** / синтетического материала, заключенного в желатиновую / клеточную / **белковую оболочку**, называемую матриксом / **капсидом / кутикулой**. У некоторых бактерий / **вирусов / архей** матрикс / **капсид / кутикула** окружен(а) липидной **мембраной / плазмой / спорой**, содержащей **бактериальные / вирусные / растительные** гликопротеины, которые играют ключевую роль в распознавании и проникновении в **клетку-хозяина / эксплант / клеточное ядро**. Бактерии / **вирусы / археи** не обладают собственным метаболизмом и не могут размножаться самостоятельно; они нуждаются в **клетках-хозяевах / эксплантах / клеточном ядре** для **синтеза / репликации / фотолиза**.

Ответ: АААБВВБББАБАБАБ.

### Задача 2.3.2.4. Расчет клеток (15 баллов)

Тема: микробиология.

**Условие**

Подсчитайте количество эритроцитов в образце крови, используя камеру Горяева.

Для этого выполните следующие шаги:

1. разбавьте кровь физиологическим раствором в соотношении 1 : 200;
2. заполните камеру Горяева разбавленным раствором;
3. подсчитайте количество эритроцитов в пяти больших квадратах камеры Горяева;
4. рассчитайте концентрацию эритроцитов в 1 мл крови.

Известно, что объем одного большого квадрата камеры Горяева составляет 0,004 мм<sup>3</sup>.

В пяти больших квадратах насчитали 250 эритроцитов.

Ответ дайте в количестве клеток на 1 мл.

**Решение**

Количество подсчитанных клеток ( $N$ ) = 250 эритроцитов.

Разведение образца ( $D$ ) — в 200 раз.

Объем одного большого квадрата камеры Горяева ( $V$ ) = 0,004 мм<sup>3</sup>.

Количество подсчитанных больших квадратов ( $n$ ) = 5.

Подставим эти значения в формулу

$$C = \frac{N \times D}{V \times n},$$

получим

$$C = \frac{250 \times 200}{0,004 \times 5} = 2\,500\,000 \text{ клеток/мл.}$$

Таким образом, концентрация эритроцитов в 1 мл крови составляет 2 500 000 клеток/мл.

**Ответ:** 2 500 000.

**Задача 2.3.2.5. Инфекционные заболевания (12 баллов)**

Тема: физиология человека и животных.

**Условие**

Ученые из университета Глазго обнаружили, что заболеваемость гриппом и риновирусом, который вызывает обычную простуду, неравномерно распределена в течение года. Проанализировав более 44 000 случаев респираторных болезней, они пришли к выводу, что два вируса препятствуют распространению друг друга. Вероятно,

именно поэтому во время вспышек гриппа случаев обычной простуды становится меньше.

В целом в дыхательных путях человека может селиться множество патогенных вирусов и бактерий, и логично предположить, что они могут как-то взаимодействовать друг с другом, облегчая соседу захват человеческого тела, или, наоборот, конкурируя с ним за место и другие ресурсы. Известно, например, что вирусные инфекции могут ослаблять иммунитет и готовить почву для бактериальных: так, вирус гриппа «сотрудничает» с бактерией пневмококка.

Многие люди связывают холодную погоду с повышенной вероятностью заболеть простудой. Однако существует ли связь между воздействием холода и возникновением простудных заболеваний?

Какие из следующих утверждений верны?

Выберите верные ответы.

1. Холодная погода сама по себе вызывает простуду.
2. Вирусы, вызывающие простуду, могут распространяться быстрее в холодных и сухих условиях.
3. В зимний период люди чаще находятся в закрытых помещениях, что увеличивает вероятность передачи вирусов.
4. Переохлаждение снижает эффективность иммунной системы, делая человека более уязвимым к инфекциям.
5. Увеличенное потребление витамина С в холодное время года полностью предотвращает простуду.
6. Увлажнители воздуха помогают снизить риск простудных заболеваний в холодное время года.

**Ответ:** 2, 3, 4, 6.

### ***Задача 2.3.2.6. Максимальная продолжительность жизни (10 баллов)***

*Тема: физиология человека и животных.*

**Условие**

Деревья относятся к числу самых долгоживущих организмов на Земле, возраст некоторых из них исчисляется тысячами лет. Так, например, в 2018 году Национальном парке Поллино на юге Италии нашли старейшее дерево Европы — сосну Гельдрейха, возраст которой 1 230 лет.

Неудивительно, что деревья давно привлекают внимание специалистов по старению, которые хотят раскрыть секрет их долголетия и, возможно, использовать его для продления человеческих жизней. Кроме деревьев также можно встретить немало животных-долгожителей.

Сопоставьте самые долгоживущие виды животных с их приблизительной максимальной продолжительностью жизни. В ответ занесите цифру соответствующего вида в порядке возрастания и соответствующую описанию букву в формате 1 — А, 2 — В, 3 — С.

- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 1. Гренландский кит.                  | A. Более 500 лет.   |
| 2. Галапагосская черепаха.            | B. Более 100 лет.   |
| 3. Океанические моллюски-венусы.      | C. Более 200 лет.   |
| 4. Медуза.                            | D. Более 300 лет.   |
| 5. Гигантские трубчатые черви рифтии. | E. Животное способно полностью вернуться к стадии неполовозрелой колонии после достижения половой зрелости как одиночная особь. |

**Ответ:** 1 — C, 2 — B, 3 — A, 4 — E, 5 — D.

### **Задача 2.3.2.7. Восстановление нервных клеток (9 баллов)**

*Тема: физиология человека и животных.*

#### **Условие**

Известно, что нервные клетки, или нейроны, имеют ограниченную способность к восстановлению и регенерации, особенно в центральной нервной системе (ЦНС) у млекопитающих. Однако ученые из Кельнского университета (Германия) обнаружили, что кникус благословенный (*Cnicus benedictus*), растение семейства Астровых, может способствовать восстановлению нервных клеток. Это растение часто встречается вдоль дорог и на пустошах в ряде регионов России, Европы, Азии, Южной и Северной Америки и культивируется в качестве ароматной специи.

В ходе исследований выяснилось, что гликозид кницин, выделенный из кникуса, эффективно способствует росту аксонов в сенсорных нейронах у людей и животных (мышей, крыс и кроликов). Кницин также увеличил среднюю длину нейритов (нейронных отростков) в центральной нервной системе мышей и человека.

По каким причинам нервные клетки не восстанавливаются так легко, как другие клетки?

Выберите верные ответы.

1. Нейроны обладают сложной структурой, включая аксоны и дендриты, которые создают уникальные соединения с другими клетками. Восстановление или замена этих соединений требует переформирования сети, что крайне сложно.
2. Большинство нейронов в ЦНС теряют способность к делению после дифференцировки.
3. В центральной нервной системе присутствуют ингибирующие белки, такие как Nogo-A, и компоненты миелиновой оболочки, которые ограничивают рост аксонов после повреждения.
4. Нервные клетки постоянно замещаются новыми клетками из-за высокой скорости деления нейронов.
5. Восстановление нейронов требует исключительно высокого уровня кислорода, который не может быть обеспечен в ЦНС.

6. Нейроны не могут передавать сигналы после дифференцировки, поэтому их восстановление считается ненужным.
7. Нейронные связи восстанавливаются спонтанно при любых повреждениях, что делает регенерацию избыточной.

**Ответ:** 1, 2, 3.

### ***Задача 2.3.2.8. Стресс (12 баллов)***

*Тема: физиология человека и животных.*

#### ***Условие***

Немецкие ученые выявили физиологическую основу благоприятного влияния прогулок на природе на психическое состояние. Как показала функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ), подобное времяпровождение снижает активацию миндалевидных тел при выполнении психологических стресс-тестов, то есть прогулки на природе напрямую повысили устойчивость мозга к стрессу.

По данным ООН в настоящее время в городах живет 55% населения Земли, а к 2050 году этот показатель возрастет до 68%. Несмотря на многочисленные преимущества, урбанизация негативно сказывается на психическом здоровье — в городской местности тревожность, расстройства настроения, большая депрессия и шизофрения встречаются более чем на 50% чаще, чем в сельской. Нахождение на природе помогает восстанавливать внимание, отходить от стресса, увеличивать емкость рабочей памяти и улучшать физиологические показатели.

Какие механизмы участвуют в стрессовой реакции организма?

Выберите верные ответы.

1. Выброс кортизола из коры надпочечников.
2. Активация симпатической нервной системы.
3. Снижение уровня глюкозы в крови.
4. Увеличение частоты дыхания.
5. Увеличение уровня серотонина.
6. Снижение активности иммунной системы.
7. Активизация парасимпатической нервной системы.

**Ответ:** 1, 2, 4, 6.

### ***Задача 2.3.2.9. Селекционер картофеля (5 баллов)***

*Тема: ученые.*

#### ***Условие***

Этот человек был выдающимся ученым-агрономом, сыгравшим ключевую роль в развитии сельского хозяйства XX века. С ранних лет проявлял интерес к растение-

водству, что предопределило его дальнейший путь в науке. Он окончил земледельческую и лесную академию, после чего начал свою профессиональную деятельность, сосредоточив внимание на селекции картофеля. Одним из главных достижений стало выведение новых сортов картофеля, которые отличались высокой урожайностью, устойчивостью к заболеваниям и неблагоприятным климатическим условиям. Наиболее известным стал сорт картофеля, названный в его честь, который получил широкое признание благодаря своей устойчивости к фитофторозу и отличным вкусовым качествам. Этот сорт сыграл значительную роль в повышении продуктивности картофелеводства, что способствовало укреплению продовольственной безопасности страны. Кроме того, он проводил обширные исследования в области агротехники и физиологии картофеля. Его работы по оптимизации методов выращивания и ухода за картофелем, а также по изучению физиологических процессов, происходящих в растениях, стали важным вкладом в агрономическую науку. Эти исследования легли в основу многих последующих научных трудов и практических рекомендаций для фермеров и агрономов.

1. Алексей Николаевич Бах (1857–1946).
2. Юрий Анатольевич Овчинников (1934–1988).
3. Александр Георгиевич Лорх (1889–1960).
4. Илья Григорьевич Борщов (1833–1878).
5. Александр Николаевич Северцов (1866–1936).
6. Петр Петрович Ширшов (1905–1953).

**Ответ:** 3.

### 2.3.3. Вторая волна. Задачи 8–9 класса

Задачи второй волны предметного тура по биологии за 8–9 открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/63555/enter/>.

#### ***Задача 2.3.3.1. Морфологические особенности растений (10 баллов)***

*Тема: биология растений.*

##### ***Условие***

Морфология растений является важной частью ботаники и позволяет рассмотреть процессы развития растений и их особенности в зависимости от вида и этапа жизненного цикла. Это дает возможность структурировать знания о растениях, выделяя признаки, характерные для определенных видов, либо формируя общие характеристики частей и органов растений.

Выберите элементы, не характерные для описания строения листа растения:

1. ксилема,
2. флоэма,



3. устьица,
4. ключица,
5. эпидерма,
6. мицелий.

### **Решение**

Для строения листа растения характерно наличие устьиц, флоэмы, ксилемы и эпидермы.

Ключица — это кость, связывающая плечевой сустав и грудную кость.

Мицелий — это вегетативное тело грибов и актиномицетов.

**Ответ:** 4, 6.

### **Задача 2.3.3.2. Костные ткани (12 баллов)**

Тема: анатомия.

#### **Условие**

Школьник Иван увлекается биотехнологиями и биомедициной. В биомедицинской научной лаборатории ему выдали для исследования напечатанный на биопринтере фрагмент костной ткани. Костная ткань подразделяется на несколько типов, каждый из которых обладает уникальными характеристиками и выполняет определенные задачи. Для того чтобы понять, фрагмент какой именно ткани получил Иван, помогите ему сопоставить предложенные термины и их описания.

В ответ занесите цифру соответствующего вида в порядке возрастания и соответствующую описанию букву в формате 1 — А, 2 — В, 3 — С.

- |               |  |
|---------------|--|
| 1. Трубчатые. | А. Не соответствуют стандартным формам и обычно имеют сложное строение, сочетающее элементы различных типов костей.                            |
| 2. Губчатые.  | В. Имеют длинную, цилиндрическую форму и содержат полость, заполненную костным мозгом, играя важную роль в поддержке тела и движении.          |
| 3. Плоские.   | С. Состоят из мелких костных трабекул, образующих решетчатую структуру, и встречаются в местах, где необходимо сочетание легкости и прочности. |
| 4. Смешанные. | Д. Имеют широкий, плоский профиль и часто служат для защиты внутренних органов или предоставления поверхностей для мышечного прикрепления.     |

**Ответ:** 1 — В, 2 — С, 3 — Д, 4 — А.

### **Задача 2.3.3.3. Особенности растительных объектов (20 баллов)**

Тема: биология растений.

#### **Условие**

Прочитайте текст и выберите верный термин из предложенных.

В ответ занесите буквы выбранных терминов в порядке от начала текста к концу без пробелов и запятых, например, «АБВАБВАБВВ».

**А. Колос / Б. зонтик / В. початок** является типом соцветия, характерного в том числе для многих **А. плодовых / Б. злаковых / В. цветковых** растений, таких как пшеница, рожь и ячмень. Он состоит из главной оси, на которой расположены мелкие соцветия — **А. початки / Б. корзинки / В. колоски**. Каждый колосок содержит несколько **А. зерен / Б. листков / В. цветков**, окруженных **А. волосистыми / Б. колосковыми / В. завитыми** и цветковыми чешуями, такими как лемма и палея. Эти чешуи защищают развивающиеся цветки, из которых формируются **А. зерновки / Б. корзинки / В. соцветия**. В некоторых случаях на вершинах цветковых чешуй могут присутствовать остистые или щетинковидные выросты, которые способствуют **А. украшению / Б. питанию / В. защите** и распространению семян. **А. Колос / Б. зонтик / В. початок** имеет компактную и экономичную структуру, обеспечивающую эффективное **А. размещение / Б. созревание / В. подсыхание цветков** и семян, а также их защиту от неблагоприятных условий окружающей среды.

#### **Решение**

**Колос / зонтик / початок** является типом соцветия, характерным в том числе для многих плодовых / **злаковых** / цветковых растений, таких как пшеница, рожь и ячмень. Он состоит из главной оси, на которой расположены мелкие соцветия — початки / корзинки / **колоски**. Каждый колосок содержит несколько **зерен** / листков / цветков, окруженных волосистыми / **колосковыми** / завитыми и цветковыми чешуями, такими как лемма и палея. Эти чешуи защищают развивающиеся цветки, из которых формируются **зерновки** / корзинки / соцветия. В некоторых случаях на вершинах цветковых чешуй могут присутствовать остистые или щетинковидные выросты, которые способствуют украшению / питанию / **защите** и распространению семян. **Колос / зонтик / початок** имеет компактную и экономичную структуру, обеспечивающую эффективное **размещение** / созревание / подсыхание цветков и семян, а также их защиту от неблагоприятных условий окружающей среды.

**Ответ:** АБВАБАВАА.

### **Задача 2.3.3.4. Цепи питания (11 баллов)**

Тема: пищевые цепи.

#### **Условие**

В экосистеме озера обитают следующие организмы:

- фитопланктон (водоросли);
- зоопланктон (мелкие ракообразные, питается фитопланктоном);
- мелкая рыба (питается зоопланктоном);
- хищная рыба (питается мелкой рыбой);
- водные птицы (питаются хищной рыбой).

Вычислите, сколько килограммов фитопланктона необходимо для прироста биомассы щуки на 47 кг.

### **Решение**

Пользуясь правилом 10%, рассчитаем массу фитопланктона. Для этого конечную массу щуки разделим на 0,1, получив 10% прироста исходной биомассы на каждом уровне перехода в цепи питания.

$$\frac{47}{0,001} = 47\,000 \text{ кг.}$$

**Ответ:** 47 000 кг.

### **Задача 2.3.3.5. Дальность перелетов (10 баллов)**

Тема: зоология.

#### **Условие**

Перелетные птицы способны преодолевать огромные расстояния при миграциях, среди них, конечно же, можно встретить и рекордсменов по количеству километров, преодолеваемых за год.

Для поддержания полета существуют уникальные механизмы и адаптации, вот некоторые из них:

- альбатросы используют динамическое парение благодаря разнице в скорости ветра на различных высотах над океаном;
- орлы и аисты используют восходящие потоки теплого воздуха для подъема на большие высоты без необходимости активно махать крыльями;
- птицы с обтекаемой формой тела и длинными узкими крыльями, как у стрижей и альбатросов, могут эффективно скользить в воздухе, уменьшая сопротивление воздуха и экономя энергию;
- некоторые птицы способны замедлять свой метаболизм во время долгих полетов, чтобы расходовать меньше энергии, что особенно важно для миграций на большие расстояния.

Портал Statista посчитал самые длинные дистанции. Сопоставьте названия птиц, приведенные ниже, и расстояния в километрах, которые они преодолевают за год.

- |                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 1. Полярная крачка.         | A. 30 000. |
| 2. Серый буревестник.       | B. 96 000. |
| 3. Тонкоклювый буревестник. | C. 18 000. |
| 4. Обыкновенная каменка.    | D. 64 000. |
| 5. Каменка-плешанка.        | E. 43 000. |

**Ответ:** 1 — B, 2 — D, 3 — E, 4 — A, 5 — C.

### ***Задача 2.3.3.6. Продолжительность сна (15 баллов)***

*Тема: физиология человека и животных.*

#### ***Условие***

Перекрестное исследование британских ученых, основанное на данных британского биобанка, показало, что увеличенная продолжительность сна негативно влияет на когнитивное здоровье. Ранний хронотип также негативно сказывался на когнитивных функциях, а средний и поздний хронотипы оказались связаны с лучшими оценками когнитивных функций.

Сон является важным биологическим процессом, необходимым для физического и психического здоровья человека. Во время сна происходят восстановительные процессы, и его недостаток может привести к серьезным последствиям для здоровья.

Какие из следующих утверждений о сне верны?

1. Во время сна мозг полностью отключается и неактивен.
2. Сон делится на несколько стадий, включая фазу быстрого сна (rapid eye movement — REM) и фазу медленного сна (non-rapid eye movement NREM).
3. Недостаток сна может привести к ухудшению когнитивных функций и памяти.
4. Взрослым людям рекомендуется спать 7–9 ч в сутки.
5. Во время сна происходит восстановление и укрепление иммунной системы.
6. Долгий дневной сон является полным эквивалентом ночного сна.
7. Сон необходим для поддержания эмоционального и психологического здоровья.

**Ответ:** 2, 3, 4, 5, 7.

### ***Задача 2.3.3.7. Пересадка почки (9 баллов)***

*Тема: физиология человека и животных.*

#### ***Условие***

В марте 2024 года американские хирурги впервые пересадили почку свиньи живому человеку. Это была свиная генномодифицированная почка EGEN-2784, разработанная компанией eGenesis. Как вы понимаете, по размеру и функциям почка

человека и свиньи достаточно похожа, но функционированию пересаженного органа точно мешают иммунная реакция отторжения трансплантата и вирусы, встроенные в геном животных, для этого геном свиньи был отредактирован с помощью технологии CRISPR (clustered regularly interspaced short palindromic repeats — короткие палиндромные повторы, регулярно расположенные группами).

Какие действия с геномом нужно было выполнить для того, чтобы избежать отторжения почки:

1. нокаут генов, отвечающих за подострое отторжение;
2. добавление человеческих трансгенов;
3. изменение генов, отвечающих за размер органа;
4. увеличение количества митохондрий в клетках почки;
5. инактивацию эндогенных ретровирусов в свином геноме;
6. добавление генов, способствующих ускоренному заживлению ран.

**Ответ:** 1, 2, 5.

### ***Задача 2.3.3.8. Редактирование генома (8 баллов)***

*Тема: генетика.*

#### ***Условие***

В декабре 2023 года управление по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных средств США (FDA) одобрило к применению терапию серповидноклеточной анемии, основанную на системе редактирования генов CRISPR.

CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) — это технология редактирования генов, которая позволяет ученым изменять ДНК с высокой точностью. С ее помощью можно лечить ряд генетических заболеваний.

Какие именно? Выберите верные ответы:

1. Бета-талассемия.
2. Шизофрения.
3. Мускулярная дистрофия Дюшенна.
4. Кистозный фиброз.
5. Гемофилия.
6. Остеоартрит.

**Ответ:** 1, 3, 4, 5.

### ***Задача 2.3.3.9. Исследователь Арктики (5 баллов)***

*Тема: ученые.*

### **Условие**

Этот человек был выдающимся исследователем, океанографом и биологом, чьи открытия существенно расширили знания в области морской биологии и океанографии. Родившись в крестьянской семье в Полтавской губернии, он проявлял способности к науке и исследовательской деятельности с раннего возраста.

Он начал свою научную карьеру с изучения морской флоры и фауны и принимал участие в многочисленных научных экспедициях в Арктику, где его исследования внесли значительный вклад в понимание жизни в экстремальных условиях. Ученый исследовал биологические процессы в Северном Ледовитом океане, изучая распределение и поведение планктона, что имело важное значение для понимания экосистем Арктики.

Одним из наиболее значимых достижений стало открытие глубоководных течений в Северном Ледовитом океане и их влияние на биологические процессы. Его исследования показали, что эти течения играют ключевую роль в распределении питательных веществ и, следовательно, в поддержании жизни в океане. Ученый также изучал ледяные покровы Арктики, их динамику и влияние на морскую биологию в целом. В 1937 году был отправлен на уникальную Полярную станцию на дрейфующем льду «Северный полюс-1», где он и его команда провели важнейшие исследования, включающие наблюдения за климатическими и биологическими процессами в Арктике. Эти исследования позволили получить бесценные данные о полярных экосистемах и климатических изменениях.

1. Алексей Николаевич Бах (1857–1946).
2. Юрий Анатольевич Овчинников (1934–1988).
3. Александр Георгиевич Лорх (1889–1960).
4. Илья Григорьевич Борщов (1833–1878).
5. Александр Николаевич Северцов (1866–1936).
6. Петр Петрович Ширшов (1905–1953).

**Ответ:** 6.

## **2.3.4. Вторая волна. Задачи 10–11 класса**

Задачи второй волны предметного тура по биологии за 10–11 открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/63551/enter/>.

### **Задача 2.3.4.1. Морфологические особенности растений (10 баллов)**

*Тема: биология растений.*

**Условие**

В лаборатории генетики живут морские свинки Макс и Мира. Их первое потомство имело равномерно темный окрас, однако в пропорции 1:1 произошло распределение на гладкую и розеточную шерсть. При этом известно, что Мира имеет светлую гладкую шерстку. Каков генотип Миры, если темный оттенок и гладкая шерстка характерны для доминантных генов?

Гены, кодирующие доминантные признаки, обозначаются прописными буквами —  $A$ ,  $B$ , аллельные им гены, кодирующие рецессивные признаки, обозначаются строчными буквами —  $a$ ,  $b$ .

Для составления схем скрещивания воспользуйтесь решеткой Пеннета (таблица 2.3.4), где вдоль одной стороны расположены женские гаметы, а вдоль другой — мужские. Внутри таблицы размещают варианты генотипов, получаемых при скрещивании.

Таблица 2.3.4. Решетка Пеннета

♂				
♀				

Выберите правильный вариант ответа:

1.  $aaBb$ ;
2.  $aaBB$ ;
3.  $AAbb$ ;
4.  $AABB$ .

**Решение**

Темный оттенок и гладкая шерстка — доминантные гены, значит, обозначим их как  $A$  и  $B$ .

Мира имеет светлую гладкую шерстку, то есть  $aaBB$  или  $aaBb$ .

В первом поколении особи единообразны по окрасу, значит, у Макса темная шерстка и генотип  $AA$ . Тогда у всех особей первого поколения генотип  $Aa$  и темная шерстка.

Разделение на розеточную и гладкую шерсть в пропорции 1 : 1 говорит о том, что по второй аллели генотип Макса  $bb$ .

Проверим на решетке Пеннета (таблица 2.3.4):

**Вариант А**

Мира —  $aaBB$ .

Макс —  $AAbb$ .

Таблица 2.3.5

$M \times M$	$Ab$
$aB$	$AaBb$

Поколение единообразно, условию задачи не соответствует.

**Вариант Б**

Мира —  $aaBb$ .

Макс —  $AAbb$ .

Таблица 2.3.6

$M \times M$	$Ab$	
$aB$	$AaBb$	Темная, гладкая
$ab$	$Aabb$	Темная, розеточная
$aB$	$AaBb$	Темная, гладкая
$ab$	$Aabb$	Темная, розеточная

Распределение верное, условию задачи соответствует.

**Ответ:** 1.

**Задача 2.3.4.2. Клетки и процессы (12 баллов)**

Тема: микробиология.

**Условие**

Живые организмы обладают определенными признаками, отличающими их от объектов неживой природы: дыхания, роста, развития, движения и пр.

Для описания и подробного исследования некоторых свойств организмов используются следующие термины и процессы.

Пользуясь информацией ниже, сопоставьте термины и их определения.

В ответ занесите цифру соответствующего термина в порядке возрастания и соответствующую описанию букву в формате 1 — А, 2 — В, 3 — С.

- |                  |   |
|------------------|---|
| 1. Онтогенез.    | А. Процесс накопления мутаций, провоцирующих возникновение злокачественных опухолей и опухолевых процессов. |
| 2. Морфогенез.   | В. Полный цикл развития живого организма с учетом индивидуальных особенностей.                              |
| 3. Канцерогенез. | С. Процесс изменения и развития структур, появившихся в ходе развития живого организма.                     |



Ответ: 1 — В, 2 — С, 3 — А.

### Задача 2.3.4.3. Метаболизм (15 баллов)

Тема: внутриклеточные биохимические реакции.

#### Условие

Прочитайте текст и выберите верный термин из предложенного списка.

В ответ занесите буквы выбранных терминов в порядке от начала текста к концу без пробелов и запятых, например, «АБВАБВАБВВ».

**А. Аденозинтрифосфат (АТФ) / Б. Аденозиндифосфат (АДФ) / В. белок** является универсальным носителем **А. наследственной информации / Б. энергии / В. питательных веществ** в клетках и играет ключевую роль в **А. метаболических / Б. кинетических / В. мутационных** процессах.

**А. Аденозинтрифосфат (АТФ) / Б. Аденозиндифосфат (АДФ) / В. белок** является **А. объемной / Б. высокоэнергетической / В. низкоэнергетической** молекулой благодаря **А. эндотермическим / Б. макроэргическим / В. экзотермическим** связям между **А. фосфатными / Б. нитратными / В. водородными** группами. Гидролиз **А. аденозинтрифосфата (АТФ) / Б. аденозиндифосфата (АДФ) / В. белка** до **А. аденозинтрифосфата (АТФ) / Б. аденозиндифосфата (АДФ) / В. белка** и **А. неорганического фосфата / Б. водорода / В. азота** высвобождает значительное количество **А. наследственной информации / Б. энергии / В. питательных веществ**, используемой для проведения различных клеточных процессов, таких как синтез **А. аденозинтрифосфата (АТФ) / Б. аденозиндифосфата (АДФ) / В. белка**, транспорт веществ через клеточные мембраны и механическое движение.

#### Решение

**Аденозинтрифосфат (АТФ) / Аденозиндифосфат (АДФ) / белок** является универсальным носителем наследственной информации / **энергии** / питательных веществ в клетках и играет ключевую роль в **метаболических / кинетических / мутационных** процессах.

**Аденозинтрифосфат (АТФ) / Аденозиндифосфат (АДФ) / белок** является **объемной / высокоэнергетической / низкоэнергетической** молекулой благодаря **эндотермическим / макроэргическим / экзотермическим** связям между **фосфатными / нитратными / водородными** группами. Гидролиз **аденозинтрифосфата (АТФ) / аденозиндифосфата (АДФ) / В. белка** до **аденозинтрифосфата (АТФ) / аденозиндифосфата (АДФ) / белка** и **неорганического фосфата / водорода / азота** высвобождает значительное количество наследственной информации / **энергии** / питательных веществ, используемой для проведения различных клеточных процессов, таких как синтез **аденозинтрифосфата (АТФ) / аденозиндифосфата (АДФ) / белка**, транспорт веществ через клеточные мембраны и механическое движение.

Ответ: АБААББААБАБВ.

### **Задача 2.3.4.4. Расчет клеток (15 баллов)**

Тема: микробиология.

#### **Условие**

Подсчитайте количество одноклеточных в образце воды из лужи, используя камеру Горяева. Для этого выполните следующие шаги:

1. разбавьте пробу воды из лужи физиологическим раствором в соотношении 1 : 100;
2. заполните камеру Горяева разбавленным раствором;
3. подсчитайте количество одноклеточных эукариот в десяти больших квадратах камеры Горяева;
4. рассчитайте концентрацию одноклеточных эукариот в 1 мл воды.

Известно, что объем одного большого квадрата камеры Горяева составляет 0,004 мм<sup>3</sup>. В десяти больших квадратах насчитали 150 одноклеточных эукариот.

#### **Решение**

Количество подсчитанных клеток ( $N$ ) = 150 одноклеточных эукариот.

Разведение образца ( $D$ ) — в 100 раз.

Объем одного большого квадрата камеры Горяева ( $V$ ) = 0,004 мм<sup>3</sup>.

Количество подсчитанных больших квадратов ( $n$ ) = 10. Подставим эти значения в формулу:

$$C = \frac{150 \times 100}{0,004 \times 10} = 375\,000 \text{ клеток/мл.}$$

Таким образом, концентрация одноклеточных эукариот в 1 мл воды составляет 375 000 клеток/мл.

**Ответ:** 375 000.

### **Задача 2.3.4.5. Речь и мозг (12 баллов)**

Тема: физиология человека и животных.

#### **Условие**

Идея о том, что люди используют только 10% своего мозга, является мифом. На самом деле исследования показывают, что мы используем весь мозг, хотя и не все его части активны одновременно. Разные области мозга выполняют различные функции, и их активность зависит от выполняемых задач. Например, одни области отвечают за движение, другие — за восприятие, третьи — за обработку информации и так далее.

Современные методы нейровизуализации, такие как функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) и позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), по-

казывают, что даже при выполнении простых задач активны большие участки мозга. Наш мозг высокоэффективен и адаптивен, и его функции распределены по различным областям, которые работают совместно.

К примеру, восприятие и производство речи — это сложные процессы, которые задействуют различные области мозга.

Выберите, какие именно части мозга участвуют в восприятии речи и говорении:

1. зона Брока;
2. зона Вернике;
3. гиппокамп;
4. моторная кора;
5. мозжечок;
6. зрительная кора;
7. лобная доля.

**Ответ:** 1, 2, 4, 7.

### **Задача 2.3.4.6. Паразиты и их хозяева (10 баллов)**

Тема: зоология.

#### **Условие**

В апреле 2024 года в журнале JAMA Ophthalmology вышла статья с описанием необычного случая заражения паразитом — врачи извлекли из глаза молодой жительницы Демократической Республики Конго личинку пятиустки *Armillifer grandis* — паразитического ракообразного, которое обычно живет в дыхательных путях змей и других рептилий. Скорее всего, девушка заразилась им при употреблении недостаточно обработанной крокодилятины. При этом паразит рос в ее глазу на протяжении двух лет. Человек не относится к типичным хозяевам пятиусток, но иногда эти паразиты случайно заражают людей.

Пятиустка — не единственный паразит, которого можно встретить в природе. Известно, что паразиты могут иметь основного и промежуточного хозяина, также встречаются паразиты паразитов или сверхпаразиты. В этом задании нужно сопоставить паразитов с их основными хозяевами или симптомами заражения.

#### **Вид паразита**

1. Токсоплазма. (*Toxoplasma gondii*)

#### **Симптомы/основные хозяева**

А. Может использовать кошек в качестве окончательных хозяев, а также инфицирует людей, поражая нервную и лимфатическую системы, глаза, скелетные мышцы, миокард и др.; в подавляющем большинстве случаев болезнь протекает бессимптомно.

- |   |  |
|---|--|
| 2. Малярийный плазмодий. ( <i>Plasmodium falciparum</i> ) | В. Заражает детей, вызывая зуд в перианальной области, яйца передаются через загрязненные руки, продукты питания, реже — через воду.   |
| 3. Эхинококк. ( <i>Echinococcus granulosus</i> )          | С. Вызывает кишечные инфекции у людей и передается через загрязненные источники воды.  |
| 4. Острица. ( <i>Enterobius vermicularis</i> )            | D. Заболевание сопровождается лихорадкой, ознобами, увеличением размеров селезенки, увеличением размеров печени, анемией; передается через укусы комаров рода <i>Anopheles</i> . |
| 5. Лямблия. ( <i>Giardia lamblia</i> )                    | Е. Заражает домашних животных и людей, образуя кисты в печени и других органах.  |

**Ответ:** 1 — А, 2 — D, 3 — Е, 4 — В, 5 — С.

### **Задача 2.3.4.7. Родительский вклад (12 баллов)**

Тема: зоология.

#### **Условие**

В конце июля 2024 года орнитологи из Австрии и Нидерландов опубликовали статью по результатам наблюдения за парами гнездящихся казарок на Шпицбергене и заметили, что некоторые самцы садились на гнезда, когда самки временно покидали их. Ранее такого поведения среди казарок не наблюдалось — в целом у большинства видов гусеобразных кладку насиживают самки. Ученые предположили, что такое поведение самцов может защищать кладку от хищников, однако вероятность вылупления птенцов в гнездах, где самцы сидели на кладке, и в тех, где они этого не делали, не различалась.

Забота о потомстве в целом является важной частью родительского поведения у многих видов животных. У некоторых видов самцы активно участвуют в воспитании и защите потомства. Какие примеры заботы самцов о потомстве наиболее характерны для различных видов животных?

1. Самцы морских коньков вынашивают яйца в специальной брюшной сумке до их вылупления.
2. Самцы императорских пингвинов высиживают яйца на ногах в течение долгих зимних месяцев, пока самки ищут пищу.
3. Именно серые волки, а не волчицы обеспечивают охрану логова и добывают пищу для щенков.
4. Самцы африканских слонов охраняют стадо и помогают самкам заботиться о детенышах.
5. Самцы японской макаки строят гнезда для своих детенышей на деревьях.
6. Самцы австралийской яканы высиживают яйца и заботятся о потомстве.

**Ответ:** 1, 2, 3, 6.

### **Задача 2.3.4.8. Таурин и старение (9 баллов)**

*Тема: физиология человека и животных.*

#### **Условие**

Группа ученых выяснила, что с возрастом в крови мышей, обезьян и людей значительно снижается уровень таурина. Добавление этой сульфаминокислоты в пищу продлевало здоровую жизнь в экспериментах на круглых червях, мышах и обезьянах, а ее дефицит у людей был связан с маркерами метаболических расстройств и воспаления. Кроме того, таурин положительно влиял на многочисленные признаки старения на клеточном и молекулярном уровне. Отчет о проделанной работе опубликован в журнале Science.

Таурин широко распространен в тканях животных (составляет около 0,1% массы тела человека). Он необходим для правильного развития и работы сердечно-сосудистой и центральной нервной систем, сетчатки глаза и скелетных мышц. У человека служит условно незаменимым питательным веществом (полностью незаменимым у детей). Известно, что его концентрация в крови коррелирует с некоторыми показателями здоровья кожи, сердечно-сосудистой, нервной и иммунной систем, а также метаболизма глюкозы.

Тем не менее, таурин — это не единственный показатель старения организма. Какие процессы связаны со старением у млекопитающих?

1. Уменьшение длины теломер: каждый раз, когда клетка делится, теломеры на концах хромосом укорачиваются, что в конечном итоге ограничивает число возможных делений клеток.
2. Накопление повреждений и мутаций ДНК: в процессе жизни клетки в ДНК накапливаются повреждения и мутации, которые со временем могут приводить к нарушениям ее функций.
3. Увеличение с возрастом активности митохондрий, что способствует повышению количества АТФ в клетках.
4. Снижение уровня антиоксидантов: снижение способности организма нейтрализовать свободные радикалы может способствовать клеточному старению.
5. Повышение с возрастом регенеративной способности клеток.
6. Увеличение числа стволовых клеток и их эффективности с возрастом.
7. Повышение синтеза коллагена, что приводит к появлению морщин и снижению упругости тканей.

**Ответ:** 1, 2, 4.

### **Задача 2.3.4.9. Исследователь Арктики (5 баллов)**

*Тема: ученые.*

### **Условие**

Этот человек был выдающимся исследователем, океанографом и биологом, чьи открытия существенно расширили знания в области морской биологии и океанографии. Родившись в крестьянской семье в Полтавской губернии, он проявлял способности к науке и исследовательской деятельности с раннего возраста.

Он начал свою научную карьеру с изучения морской флоры и фауны и принимал участие в многочисленных научных экспедициях в Арктику, где его исследования внесли значительный вклад в понимание жизни в экстремальных условиях. Ученый исследовал биологические процессы в Северном Ледовитом океане, изучая распределение и поведение планктона, что имело важное значение для понимания экосистем Арктики.

Одним из наиболее значимых достижений стало открытие глубоководных течений в Северном Ледовитом океане и их влияние на биологические процессы. Его исследования показали, что эти течения играют ключевую роль в распределении питательных веществ и, следовательно, в поддержании жизни в океане. Ученый также изучал ледяные покровы Арктики, их динамику и влияние на морскую биологию в целом. В 1937 году был отправлен на уникальную Полярную станцию на дрейфующем льду «Северный полюс-1», где он и его команда провели важнейшие исследования, включающие наблюдения за климатическими и биологическими процессами в Арктике. Эти исследования позволили получить бесценные данные о полярных экосистемах и климатических изменениях.

1. Алексей Николаевич Бах (1857–1946).
2. Юрий Анатольевич Овчинников (1934–1988).
3. Александр Георгиевич Лорх (1889–1960).
4. Илья Григорьевич Борщов (1833–1878).
5. Александр Николаевич Северцов (1866–1936).
6. Петр Петрович Ширшов (1905–1953).

**Ответ:** 6.

## **2.3.5. Третья волна. Задачи 8–9 класса**

Задачи третьей волны предметного тура по биологии за 8–9 открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контекст: <https://contest.yandex.ru/contest/63556/enter/>.

### **Задача 2.3.5.1. Морфологические особенности растений (9 баллов)**

*Тема: биология растений.*

**Условие**

Морфология растений является важной частью ботаники и позволяет рассмотреть процессы развития растений и их особенности в зависимости от вида и этапа жизненного цикла. Это дает возможность структурировать знания о растениях, выделяя признаки, характерные для определенных видов, либо формируя общие характеристики частей и органов растения.

Выберите элементы, которые характерны для растительной почки:

1. почечная чешуя;
2. зачаточный стебель;
3. конус нарастания;
4. кутикула;
5. эндосфера;
6. жилка.

**Решение**

Для строения растительной почки характерно наличие почечной чешуи, зачаточного стебля и формирующегося конуса нарастания.

**Ответ:** 1, 2, 3.

**Задача 2.3.5.2. Костные ткани (15 баллов)**

Тема: анатомия.

**Условие**

Школьник Иван увлекается ИТ и графическим дизайном. На биологии он долго не мог запомнить строение органов дыхания и их функции. Для того чтобы выучить материал, он решил создать интерактивное пособие с подробным описанием каждого элемента.

Помогите Ивану разобраться с материалами, которые нужно внести в пособие, сопоставив предложенные термины и их описания.

В ответ занесите цифру соответствующего органа в порядке возрастания и соответствующую описанию букву в формате 1 — А, 2 — В, 3 — С.

- |            |   |
|------------|---|
| 1. Трахея. | А. Ведет к конечным воздушным мешочкам и играет ключевую роль в доставке воздуха к участкам газообмена. |
| 2. Бронхи. | В. Расположена позади носовой полости и служит переходной зоной для воздуха.                            |
| 3. Легкие. | С. Представляет собой трубчатую структуру, покрытую кольцами хрящей для предотвращения ее спадения.     |

4. Бронхиолы. D. Разветвленная структура, которая ведет от основного дыхательного органа и далее делится на более мелкие проходы.
5. Носоглотка. E. Состоит из множества мелких воздушных мешочков, где происходит газообмен между воздухом и кровью.

**Ответ:** 1 — C, 2 — D, 3 — E, 4 — A, 5 — B.

### **Задача 2.3.5.3. Микромир (20 баллов)**

*Тема: микробиология.*

#### **Условие**

Прочитайте текст и выберите верный термин.

В ответ занесите буквы выбранных терминов в порядке от начала текста к концу без пробелов и запятых, например, «АБВАБВАБВВ».

Основной таксономической категорией, принятой в биологии, является **А. вид / Б. род / В. отдел**. **А. Виды / Б. порядки / В. семейства** объединяются в **А. отделы / Б. роды / В. семейства**, те — в **А. виды / Б. роды / В. семейства**, они — в **А. порядки / Б. отделы / В. семейства**, далее следуют классы, **А. порядки / Б. отделы / В. семейства** и царства.

В **А. микробиологии / Б. ботанике / В. медицине** существуют и более мелкие таксономические единицы, чем **А. вид / Б. род / В. отдел**: подвид, **А. группа / Б. двойник / В. разновидность**.

Они могут различаться по физиологическим, морфологическим или по антигенным свойствам.

Большое значение в микробиологии имеют такие понятия, как **А. клон / Б. штамм / В. подтип** — чистая культура, полученная из одной клетки, и **А. клон / Б. штамм / В. подтип** — культуры бактерий одного вида, выделенные из различных источников либо из одного источника в разное время или полученные в ходе генетических манипуляций. Разные **А. клоны / Б. штаммы / В. подтипы** одного и того же **А. клона / Б. сорта / В. вида** бактерий могут отличаться друг от друга по целому ряду свойств, например, по чувствительности к антибиотикам, способности к синтезу токсинов, ферментов и др.

#### **Решение**

Основной таксономической категорией, принятой в биологии, является **вид / род / отдел**. **Виды / порядки / семейства** объединяются в **отделы / роды / семейства**, те — в **виды / роды / семейства**, они — в **порядки / отделы / семейства**, далее следуют классы, **порядки / отделы / семейства** и царства.

В **микробиологии / ботанике / медицине** существуют и более мелкие таксономические единицы, чем **вид / род / отдел**: подвид, группа / двойник / **разновидность**.



Они могут различаться по физиологическим, морфологическим или по антигенным свойствам.

Большое значение в микробиологии имеют такие понятия, как **клон** / штамм / подтип — чистая культура, полученная из одной клетки, и клон / **штамм** / подтип — культуры бактерий одного вида, выделенные из различных источников либо из одного источника в разное время или полученные в ходе генетических манипуляций. Разные клоны / **штаммы** / подтипы одного и того же клона / сорта/ **вида** бактерий могут отличаться друг от друга по целому ряду свойств, например, по чувствительности к антибиотикам, способности к синтезу токсинов, ферментов и др.

**Ответ:** ААБВАБААВАББВ.

### **Задача 2.3.5.4. Цепи питания (9 баллов)**

Тема: пищевые цепи.

#### **Условие**

В лесной экосистеме обитают следующие организмы:

- дуб;
- гусеницы (питаются листьями дуба);
- жуки (питаются гусеницами);
- птицы (питаются жуками);
- хищные птицы (питаются мелкими птицами).

В начальный момент времени дуб производит 5 000 единиц энергии.

Требуется рассчитать, какая доля первоначальной энергии дуба будет усвоена хищными птицами, если известно, что на каждом трофическом уровне передается 10% энергии. Учитывая, что энергия, усваиваемая дубом за день, составляет 5 000 единиц, рассчитайте, сколько особей хищных птиц может прокормиться в данной экосистеме, если каждая хищная птица потребляет 0,2 единицы энергии в день.

#### **Решение**

Пользуясь правилом 10% рассчитаем получаемое от дуба ежедневно:

$$5\,000 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 0,1 = 5 \text{ единиц.}$$

Пять особей потребляют  $0,2 \cdot 5 = 1$  единицу энергии.

То есть всего может быть 25 особей хищных птиц.

**Ответ:** 25.

### **Задача 2.3.5.5. Вирусы в нашем геноме (9 баллов)**

Тема: эволюция.

**Условие**

Это может показаться невозможным, но формирование отдельных особенностей наших организмов не произошло бы, не случись встройки вирусов в организм наших предков. Миллионы лет назад интеграция вирусных генов привела к появлению новых белков, которые и по сей день играют важные роли в физиологии и биологии организма.

Из списка выберите белки, которые появились у нас благодаря вирусам.

1. Белок миелиновой оболочки аксонов.
2. Белковый гормон инсулин.
3. Белок синтицин, отвечающий за формирование плаценты.
4. Белок Агс, связанный с синаптической пластичностью и памятью.
5. Белок миозин, участвующий в мышечном сокращении.
6. Гемоглобин — белок переносчик кислорода в крови.

**Ответ:** 1, 3, 4.

**Задача 2.3.5.6. Заболевания пшеницы (12 баллов)**

Тема: ботаника.

**Условие**

Пшеница является одной из важнейших сельскохозяйственных культур в мире, обеспечивающей значительную часть питания для людей. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, ежегодно в мире производится около 750 млн т пшеницы. Однако значительная часть урожая теряется из-за различных заболеваний. Например, из-за фузариоза в некоторых регионах России пропадает до 15% урожая.



Рис. 2.3.1. Зерна пшеницы, пораженные фузариозом

Грибковые болезни пшеницы могут существенно снижать урожайность и качество зерна, что приводит к большим экономическим потерям и уменьшению доступности продовольствия.

Какие из перечисленных ниже заболеваний являются грибковыми болезнями пшеницы, которые способствуют этим потерям? Выберите верные ответы.

1. Бурая ржавчина (*Puccinia recondita*).

2. Желтая карликовость пшеницы (*Barley yellow dwarf virus*).
3. Мучнистая роса (*Blumeria graminis* f. *sp. tritici*).
4. Фузариоз (*Fusarium spp.*).
5. Бактериальная пятнистость листьев (*Xanthomonas campestris* pv. *translucens*).
6. Септориоз (*Septoria tritici*).

**Ответ:** 1, 3, 4, 6.

### **Задача 2.3.5.7. Секвенирование ДНК (9 баллов)**

Тема: генетика.

#### **Условие**

В октябре 2022 года семнадцатилетний Индивер Мадиредди (Indeever Madired-du), учащийся старшей школы из Калифорнии, секвенировал, собрал и аннотировал полный геном обыкновенной скалярии впервые в истории. Моделью для исследования стала аквариумная рыбка Кельвин, погибшая от естественных причин. По словам Мадиредди, таким образом он решил увековечить память о своем питомце и предоставить новую информацию научному сообществу.

Секвенирование ДНК — это процесс определения последовательности нуклеотидов в молекуле ДНК. Современные методы секвенирования позволяют быстро и точно расшифровывать генетическую информацию, что имеет огромное значение для медицинских, биологических и агротехнологических исследований.

Какие из следующих утверждений о секвенировании ДНК верны?

1. Секвенирование ДНК позволяет определить точный порядок нуклеотидов в молекуле ДНК.
2. Метод Сэнгера — это метод секвенирования, который используют для прочтения длинных участков ДНК в современной науке.
3. Современные методы секвенирования, такие как секвенирование нового поколения (NGS), позволяют секвенировать большие объемы генетического материала быстро и экономично.
4. Секвенирование ДНК используется только в медицинских исследованиях.
5. Секвенирование ДНК может помочь в идентификации патогенов и разработке целенаправленных методов лечения.
6. Секвенирование ДНК не применяется в сельском хозяйстве.

**Ответ:** 1, 3, 5.

### **Задача 2.3.5.8. Резистентность (12 баллов)**

Тема: микробиология.

**Условие**

В 2019 году резистентность бактерий к антибиотикам стала третьей причиной смертности в мире после ишемических болезней сердца и инсульта. Антибиотикорезистентность — это частный случай устойчивости к противомикробным препаратам, которые обычно уничтожают или подавляют рост бактерий. Резистентность к антибиотикам может развиваться в результате естественного отбора посредством случайных мутаций и/или благодаря воздействию антибиотика. Микроорганизмы способны переносить генетическую информацию устойчивости к антибиотикам путем горизонтального переноса генов. Это явление представляет серьезную угрозу для здоровья, так как устойчивые к антибиотикам инфекции сложнее лечить, и они могут приводить к более тяжелым исходам.

Какие из следующих заболеваний известны своей устойчивостью к антибиотикам?

1. Туберкулез.
2. Гонорея.
3. Малярия.
4. Стафилококковые инфекции.
5. ВИЧ/СПИД.
6. Пневмония.
7. Лептоспироз.
8. Чума.

**Ответ:** 1, 2, 4, 6.

**Задача 2.3.5.9. Нобелевский лауреат из России (5 баллов)**

Тема: ученые.

**Условие**

Этот человек был выдающимся российским ученым, биологом и иммунологом, чьи работы в области микробиологии и иммунологии принесли ему мировую известность и Нобелевскую премию. Одним из крупнейших его достижений стало открытие фагоцитоза — процесса, при котором определенные клетки, названные фагоцитами, поглощают и уничтожают патогенные микроорганизмы и клеточный мусор. Это открытие стало основой для понимания врожденного иммунитета и позволило значительно продвинуться в изучении защитных механизмов организма. Он предположил, что фагоциты играют ключевую роль в борьбе с инфекциями и воспалительными процессами, что было подтверждено последующими исследованиями.

Работая в Институте Пастера в Париже, ученый продолжал свои исследования в области иммунологии и микробиологии, развивая теорию фагоцитоза и изучая механизмы старения и долгожительства. Он считал, что старение является результатом хронической интоксикации организма токсинами, производимыми кишечными бактериями. Для борьбы с этим он предложил употребление кисломолочных продуктов, содержащих лактобактерии, что, по его мнению, могло бы способствовать улучшению здоровья и продлению жизни.

В 1908 году он был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине совместно с Паулем Эрлихом за их работы по иммунологии. Его исследования внесли неоценимый вклад в развитие медицинской науки и заложили основу для современных методов профилактики и лечения инфекционных заболеваний.

1. Алексей Николаевич Бах (1857–1946).
2. Юрий Анатольевич Овчинников (1934–1988).
3. Александр Георгиевич Лорх (1889–1960).
4. Илья Ильич Мечников (1845–1916).
5. Александр Николаевич Северцов (1866–1936).
6. Петр Петрович Ширшов (1905–1953).

**Ответ:** 4.

### 2.3.6. Третья волна. Задачи 10–11 класса

Задачи третьей волны предметного тура по биологии за 10–11 открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/63552/enter/>.

#### **Задача 2.3.6.1. Морские свинки (10 баллов)**

*Тема: генетика.*

##### **Условие**

В лаборатории генетики живут морские свинки Макс и Мира. Их первое потомство имело равномерно темный окрас, однако в пропорции 1 : 1 произошло распределение на гладкую и розеточную шерсть. При этом известно, что Мира имеет светлую гладкую шерстку. Каков генотип свинок с розеточной шерсткой в первом поколении, если темный оттенок и гладкая шерстка характерны для доминантных генов?

Гены, кодирующие доминантные признаки, обозначаются прописными буквами — *A*, *B*, аллельные им гены, кодирующие рецессивные признаки, обозначаются строчными буквами — *a*, *b*.

Для составления схем скрещивания воспользуйтесь решеткой Пеннета (таблица 2.3.9), где вдоль одной стороны расположены женские гаметы, а вдоль другой — мужские. Внутри таблицы размещают варианты генотипов, получаемых при скрещивании.

Таблица 2.3.9. Решетка Пеннета

♂				
♀				

♂				
♀				

Выберите правильный вариант ответа:

1.  $AaBb$ ;
2.  $aaBB$ ;
3.  $Aabb$ ;
4.  $AABB$ .

### Решение

Темный оттенок и гладкая шерстка — доминантные гены, значит, обозначим их как  $A$  и  $B$ .

Мира имеет светлую гладкую шерстку, то есть  $aaBB$  или  $aaBb$ .

В первом поколении особи единообразны по окрасу, значит, у Макса темная шерстка и генотип  $AA$ . Тогда у всех особей первого поколения генотип  $Aa$  и темная шерстка.

Разделение на розеточную и гладкую шерсть в пропорции 1 : 1 говорит о том, что по второй аллели генотип Макса  $bb$ .

Проверим на решетке Пеннета (таблица 2.3.9):

#### Вариант А

Мира —  $aaBB$ .

Макс —  $AAbb$ .

Таблица 2.3.10

$M \times M$	$Ab$
$aB$	$AaBb$

Поклоение единообразно, условию задачи не соответствует.

#### Вариант Б

Мира —  $aaBb$ .

Макс —  $AAbb$ .

Таблица 2.3.11

$M \times M$	$Ab$	
$aB$	$AaBb$	Темная, гладкая
$ab$	$Aabb$	Темная, розеточная

$aB$	$AaBb$	Темная, гладкая
$ab$	$Aabb$	Темная, розеточная

Распределение верное, условию задачи соответствует.

**Ответ:** 3.

### **Задача 2.3.6.2. Клетки и процессы (12 баллов)**

Тема: микробиология.

#### **Условие**

Живые организмы обладают определенными признаками, отличающими их от объектов неживой природы: дыхания, роста, развития, движения и пр. Для роста и развития организмам необходимы питательные вещества. При этом известно, что все организмы делятся на различные группы по типу и способу получения энергии и питательных веществ.

Пользуясь информацией ниже, сопоставьте термины и их определения. В ответ занесите цифру соответствующего термина в порядке возрастания и соответствующую описанию букву в формате 1 — А, 2 — В, 3 — С.

- |                 |  |
|-----------------|--|
| 1. Фотосинтез.  | А. Синтез органических веществ за счет энергии, выделяемой при окислении неорганических соединений.                |
| 2. Хемосинтез.  | В. Процесс, при котором световая энергия используется для синтеза органических молекул из углекислого газа и воды. |
| 3. Автотрофы.   | С. Организмы, получающие органические вещества из других живых существ.  |
| 4. Гетеротрофы. | Д. Организмы, синтезирующие органические вещества из неорганических.   |

**Ответ:** 1 — В, 2 — А, 3 — С, 4 — Д.

### **Задача 2.3.6.3. Генетические изменения (15 баллов)**

Тема: генетика.

#### **Условие**

Прочитайте текст и выберите верный термин из предложенного списка.

В ответ занесите буквы выбранных терминов в порядке от начала текста к концу без пробелов и запятых, например, «АБВАБВАБВВ».

Популяция является элементарной единицей эволюции, представляя собой совокупность организмов одного вида, обитающих на определенной территории и обладающих общим генофондом. Внутрипопуляционные процессы, такие как мутация, генетический дрейф, миграция и естественный отбор, играют ключевую роль в изменении частот **А. аллелей / Б. зигот / В. гетерозигот** в генофонде популяции, что ведет к эволюционным изменениям. Мутации вносят новые **А. генетические / Б. фенотипические / В. биохимические** вариации, тогда как **А. генетический дрейф / Б. направленный мутагенез / В. селекционный отбор** случайным образом изменяет частоты **А. аллелей / Б. зигот / В. гетерозигот**, особенно в **А. малочисленных / Б. многочисленных / В. нестабильных** популяциях. **А. Миграция / Б. вымирание / В. эволюция (или генетический поток)** обеспечивает обмен **А. генетическим / Б. химическим / продукционным** материалом между популяциями, а естественный отбор способствует **А. выживанию / Б. вымиранию / В. скрещиванию** и размножению организмов с оптимальными **А. фенотипами / Б. генотипами / В. генофондами**. Эволюционные изменения в популяциях могут приводить к **А. миграциям / Б. восстановлениям / В. адаптациям**, способствующим выживанию и размножению в конкретных экологических нишах.

### **Решение**

Популяция является элементарной единицей эволюции, представляя собой совокупность организмов одного вида, обитающих на определенной территории и обладающих общим генофондом. Внутрипопуляционные процессы, такие как мутация, генетический дрейф, миграция и естественный отбор, играют ключевую роль в изменении частот **аллелей / зигот / гетерозигот** в генофонде популяции, что ведет к эволюционным изменениям. Мутации вносят новые **генетические / фенотипические / биохимические** вариации, тогда как **генетический дрейф / направленный мутагенез / селекционный отбор** случайным образом изменяет частоты **аллелей / зигот / гетерозигот**, особенно в **малочисленных / многочисленных / нестабильных** популяциях. **Миграция / вымирание / эволюция (или генетический поток)** обеспечивает обмен **генетическим / химическим / продукционным** материалом между популяциями, а естественный отбор способствует **выживанию / вымиранию / скрещиванию** и размножению организмов с оптимальными **фенотипами / генотипами / генофондами**. Эволюционные изменения в популяциях могут приводить к **миграциям / восстановлениям / адаптациям**, способствующим выживанию и размножению в конкретных экологических нишах.

**Ответ:** ААААААААВ.

### **Задача 2.3.6.4. Расчет клеток (12 баллов)**

*Тема:* микробиология.

### **Условие**

Подсчитайте концентрацию клеток хлореллы в пробе из фотобиореактора, используя камеру Горяева. Для этого выполните следующие шаги:



1. разбавьте пробу из фотобиореактора физиологическим раствором в соотношении 1 : 50;
2. заполните камеру Горяева разбавленным раствором;
3. подсчитайте количество клеток хлореллы в 16 больших квадратах камеры Горяева;
4. рассчитайте концентрацию клеток хлореллы в 1 мл пробы.

Известно, что объем одного большого квадрата камеры Горяева составляет 0,004 мм<sup>3</sup>. В 16 больших квадратах насчитали 480 клеток хлореллы.

В ответ занесите концентрацию в клетках на 1 мл.

### **Решение**

Количество подсчитанных клеток ( $N$ ) = 480 клеток.

Разведение образца ( $D$ ) — в 50 раз.

Объем одного большого квадрата камеры Горяева ( $V$ ) = 0,004 мм<sup>3</sup>.

Количество подсчитанных больших квадратов ( $n$ ) = 16. Подставим эти значения в формулу:

$$C = \frac{480 \times 50}{0,004 \times 16} = 375\,000 \text{ клеток/мл.}$$

Таким образом, концентрация клеток хлореллы в 1 мл пробы составляет 375 000 клеток/мл.

**Ответ:** 375 000.

### **Задача 2.3.6.5. Висит на потолке (12 баллов)**

Тема: зоология.

#### **Условие**

Датская компания OnRobo представила захватное устройство Геско для промышленных роботов, которое использует силы Ван-дер-Ваальса для удержания плоских объектов.

Как правило, современные промышленные роботы для захвата плоских объектов применяют различные пневматические захватные устройства, однако такой подход требует наличия пневматической системы и компрессора, что усложняет и удорожает конструкцию робота. Кроме того, присоски могут повредить хрупкий объект или оставить следы на полированной поверхности.

Очевидно, название устройства созвучно со словом «геккон» по той причине, что такую систему удержания на поверхности обнаружили именно у гекконов. Многие животные обладают удивительной способностью удерживаться на вертикальных поверхностях, что позволяет им лазить по стенам, деревьям и даже потолкам. Какие механизмы помогают разным животным удерживаться на вертикальных поверхностях?

1. Использование острых когтей для сцепления с поверхностями, как у некоторых хищных животных.
2. Наличие на лапках микроскопических волосков, создающих силы Ван-дер-Ваальса.
3. Присасывание к поверхностям с помощью присосок, как у некоторых видов лягушек и осьминогов.
4. Использование электростатических сил для удержания на поверхностях.
5. Выделение клейких веществ, которые помогают прилипнуть к поверхностям, как у некоторых насекомых.
6. Использование аэродинамических сил для удержания на поверхности.
7. Изменение давления в конечностях для лучшего сцепления с поверхностью.

**Ответ:** 1, 2, 3, 5.

### **Задача 2.3.6.6. Антибиотики (10 баллов)**

*Тема: микробиология.*

#### **Условие**

Еще в 2019 году экологи обнаружили в речной воде по всему миру антибиотики и другие лекарственные препараты. Самые высокие концентрации лекарственных веществ оказались в пакистанских реках — в реке Рави ученые обнаружили смесь из семи антибиотиков с суммарной концентрацией свыше три миллиграммов на литр.

В настоящее время все больше патогенных микроорганизмов вырабатывает устойчивость к антибиотикам. И это становится серьезной проблемой, так как для лечения некоторых патогенов уже не существует лекарственных препаратов. Бактерии заимствуют гены резистентности к антибиотикам из разных источников, в том числе у микроорганизмов из окружающей среды, например, населяющих почву или воду.

Сопоставьте антибиотики с их основными механизмами действия.

В ответ занесите цифру соответствующего наименования антибиотика в порядке возрастания и соответствующую описанию букву в формате 1 — А, 2 — В, 3 — С.

- |                    |  |
|--------------------|--|
| 1. Пенициллин.     | А. Ингибирует синтез пептидогликана, что ослабляет клеточную стенку. |
| 2. Тетрациклин.    | В. Ингибирует синтез белка, блокируя движение рибосомы вдоль мРНК.   |
| 3. Ципрофлоксацин. | С. Нарушает синтез клеточной стенки бактерий.                        |
| 4. Эритромицин.    | Д. Ингибирует синтез белка, связываясь с рибосомой.                  |
| 5. Ванкомицин.     | Е. Блокирует ДНК-гиразу, нарушая репликацию ДНК.                     |

**Ответ:** 1 — С, 2 — D, 3 — E, 4 — B, 5 — A.

### Задача 2.3.6.7. Паразиты (12 баллов)

Тема: ботаника.

#### Условие

Ботаники в 2024 году обнаружили в джунглях Малайского полуострова новый вид тисмий — бесхлорофильных травянистых растений, которые паразитируют на грибах. Он получил название *Thismia malayana*.

К роду тисмий (*Thismia*) относятся около 100 видов микогетеротрофных растений, которые распространены в тропических и субтропических лесах Азии, Австралии с Океанией и Америки. Они утратили способность к фотосинтезу и всю необходимую энергию получают, паразитируя на грибнице. Из-за столь необычного образа жизни тисмий и сами стали больше похожими на грибы, чем на растения: у них нет хлорофилла, стебли короткие и неразветвленные, а листья редуцированы до чешуек. Большая часть жизненного цикла тисмий проходит под землей. Лишь на несколько недель в году они выпускают надземные побеги с мелкими причудливыми цветками, за форму которых эти растения иногда называют «волшебными фонариками».

Растения-паразиты обладают уникальными адаптациями, позволяющими им выживать и размножаться за счет других растений. Они получают питательные вещества и воду из своих хозяев с помощью специализированных структур.

Какие из перечисленных относятся к растениям-паразитам?

1. Омела белая: использует специальные структуры, называемые гаустория, для проникновения в ткани хозяина и извлечения питательных веществ.
2. Повилика: не содержит хлорофилла и полностью зависит от своего хозяина для получения необходимых питательных веществ.
3. Раффлезия: известна своими крупными цветами и паразитирует на корнях деревьев, используя их как источник воды и питательных веществ.
4. Ряска: растение, которое не может фотосинтезировать и зависит от других растений.
5. Заразиха: паразитирует на корнях бобовых растений, не имея способности к фотосинтезу.
6. Плющ обыкновенный: это паразит, который использует другие растения для опоры и фотосинтеза.

**Ответ:** 1, 2, 3, 5.

### Задача 2.3.6.8. Аллергия (12 баллов)

Тема: физиология человека и животных.

#### Условие

В 2020 году американские врачи описали редкий случай анафилактического шока при аллергии на холод: их пациент, мужчина 34 лет, вышел из душа и упал в обморок, а его кожа покрылась сыпью. Мужчину с учащенным дыханием доставили

в отделение неотложной помощи: там ему ввели адреналин и антигистамин, а также провели стандартный тест на аллергию на холод, который оказался положительным.

Какие механизмы участвуют в развитии аллергической реакции у человека?

1. Выработка иммуноглобулина Е (IgE).
2. Дегрануляция тучных клеток.
3. Активация клеток иммунной памяти.
4. Активная выработка инсулина.
5. Образование терминального комплекса комплемента.
6. Выработка интерлейкина-4 (IL-4).
7. Гиперчувствительность замедленного типа.

**Ответ:** 1, 2, 3, 6.

### ***Задача 2.3.6.9. Нобелевский лауреат из России (5 баллов)***

*Тема: ученые.*

Этот человек был выдающимся российским ученым, биологом и иммунологом, чьи работы в области микробиологии и иммунологии принесли ему мировую известность и Нобелевскую премию. Одним из крупнейших его достижений стало открытие фагоцитоза — процесса, при котором определенные клетки, названные фагоцитами, поглощают и уничтожают патогенные микроорганизмы и клеточный мусор. Это открытие стало основой для понимания врожденного иммунитета и позволило значительно продвинуться в изучении защитных механизмов организма. Он предположил, что фагоциты играют ключевую роль в борьбе с инфекциями и воспалительными процессами, что было подтверждено последующими исследованиями.

Работая в Институте Пастера в Париже, ученый продолжал свои исследования в области иммунологии и микробиологии, развивая теорию фагоцитоза и изучая механизмы старения и долгожительства. Он считал, что старение является результатом хронической интоксикации организма токсинами, производимыми кишечными бактериями. Для борьбы с этим он предложил употребление кисломолочных продуктов, содержащих лактобактерии, что, по его мнению, могло бы способствовать улучшению здоровья и продлению жизни.

В 1908 году он был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине совместно с Паулем Эрлихом за их работы по иммунологии. Его исследования внесли неоценимый вклад в развитие медицинской науки и заложили основу для современных методов профилактики и лечения инфекционных заболеваний.

1. Алексей Николаевич Бах (1857–1946).
2. Юрий Анатольевич Овчинников (1934–1988).
3. Александр Георгиевич Лорх (1889–1960).
4. Илья Ильич Мечников (1845–1916).
5. Александр Николаевич Северцов (1866–1936).
6. Петр Петрович Ширшов (1905–1953).

**Ответ:** 4.

## 2.3.7. Четвертая волна. Задачи 8–9 класса

Задачи четвертой волны предметного тура по биологии за 8–9 открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contests.yandex.ru/contest/63557/enter/>.

### Задача 2.3.7.1. Одноклеточные эукариоты (12 баллов)

Тема: микробиология.

#### Условие

В природной среде существуют одноклеточные живые организмы, обитающие буквально повсюду, за исключением воздуха. Они имеют сложную внутреннюю структуру и значительно отличаются друг от друга по строению.

Выберите элементы, характерные для амёбы:

1. псевдоподии;
2. цитоплазма;
3. паренхима;
4. ядро;
5. сократительная вакуоль;
6. флоэма;
7. кутикула;
8. ретикулум.

#### Решение

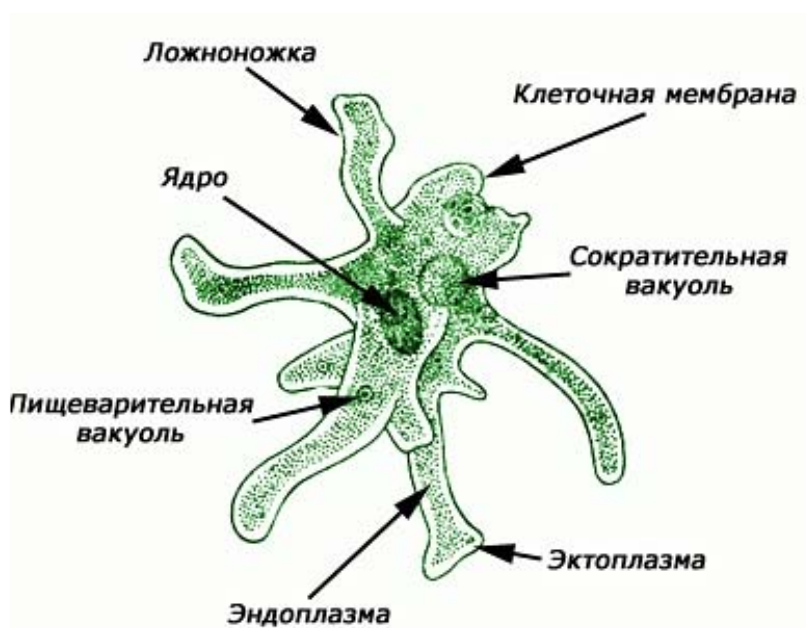


Рис. 2.3.2

Для строения амёбы характерны такие элементы, как псевдоподии, ядро, цитоплазма и сократительная вакуоль. По последним данным также у амёб встречается ретикулум.

**Ответ:** 1, 2, 4, 5, 8.

### **Задача 2.3.7.2. Кровяные тельца (12 баллов)**

Тема: физиология.

#### **Условие**

Школьник Иван увлекается ИТ и графическим дизайном. Его друг Денис долго не мог запомнить, чем отличаются друг от друга форменные элементы крови и каковы их функции. Для того чтобы помочь другу выучить материал, он решил создать интерактивное пособие с подробным описанием каждого элемента.

Помогите Ивану разобраться с материалами, которые нужно внести в пособие, сопоставив предложенные термины и их описания.

В ответ занесите цифру соответствующего термина в порядке возрастания и соответствующую описанию букву в формате 1 — А, 2 — В, 3 — С.

- |                |   |
|----------------|---|
| 1. Эритроциты. | А. Участвуют в процессе свертывания крови.  |
| 2. Лейкоциты.  | В. Играют ключевую роль в адаптивном иммунитете, распознавая и уничтожая специфические патогены.  |
| 3. Тромбоциты. | С. Не имеют ядра и содержат гемоглобин.   |
| 4. Лимфоциты.  | Д. Являются частью иммунной системы и защищают организм от инфекций, причем могут быть подразделены на несколько типов с разными функциями. |

**Ответ:** 1 — С, 2 — D, 3 — А, 4 — В.

### **Задача 2.3.7.3. Физиология человека (20 баллов)**

Тема: физиология человека.

#### **Условие**

Прочитайте текст и выберите верный термин из предложенных. В ответ занесите буквы выбранных терминов в порядке от начала текста к концу без пробелов и запятых, например, «АБВАБВАБВВ».

Физиология **А. нервной / Б. пищеварительной / В. опорной** системы человека включает сложный процесс **А. ферментативного гидролиза / Б. термического разложения / В. биосинтеза** питательных веществ, который начинается в **А. ротовой полости / Б. трахее / В. желудке** и продолжается в **А. трахее / Б. желудке / В. кишечнике**. Пищеварительные ферменты, или **А. коэнзимы / Б. энзимы / В. гормоны**, играют ключевую роль в этом процессе, **А. ингибируя / Б.**

катализируя / **В. иницируя** разложение сложных органических молекул до более **А. натуральных / Б. простых / В. активных** и усваиваемых форм.

В **А. ротовой полости / Б. трахее / В. желудке** активируется фермент **А. амилаза / Б. пепсин / В. трипсин**, производимый **А. щитовидными / Б. молочными / В. слюнными** железами, который начинает расщепление **А. белков / Б. углерода / В. полисахаридов**, таких как крахмал. В **А. ротовой полости / Б. трахее / В. желудке** основным пищеварительным ферментом является **А. амилаза / Б. пепсин / В. трипсин**, который синтезируется главными клетками желудка и активируется под действием **А. соляной кислоты / Б. серной кислоты / В. теплой воды**, секретируемой париетальными клетками. **А. Амилаза / Б. пепсин / В. трипсин** **А. ингибирует / Б. катализирует / В. иницирует** гидролиз пептидных связей в **А. белках / Б. углеводе / В. полисахаридах**, превращая их в более короткие полипептиды.

### **Решение**

Физиология нервной / **пищеварительной** / опорной системы человека включает сложный процесс **ферментативного гидролиза** / термического разложения / биосинтеза питательных веществ, который начинается в **ротовой полости** / трахее / желудке и продолжается в трахее / **желудке** / кишечнике. Пищеварительные ферменты, или коэнзимы / **энзимы** / гормоны, играют ключевую роль в этом процессе, ингибируя / **катализируя** / иницируя разложение сложных органических молекул до более натуральных / **простых** / активных и усваиваемых форм.

В **ротовой полости** / трахее / желудке активируется фермент **амилаза** / пепсин / трипсин, производимый щитовидными / молочными / **слюнными** железами, который начинает расщепление белков / углерода / **полисахаридов**, таких как крахмал. В ротовой полости / трахее / **желудке** основным пищеварительным ферментом является амилаза / **пепсин** / трипсин, который синтезируется главными клетками желудка и активируется под действием **соляной кислоты** / серной кислоты / теплой воды, секретируемой париетальными клетками. Амилаза / **пепсин** / трипсин ингибирует / **катализирует** / иницирует гидролиз пептидных связей в **белках** / углеводе / полисахаридах, превращая их в более короткие полипептиды.

**Ответ:** БААББББААВВВБАББА.

### **Задача 2.3.7.4. Цепи питания (11 баллов)**

*Темы: пищевые цепи, биология растений.*

#### **Условие**

В экосистеме озера обитают следующие организмы:

- фитопланктон (водоросли);
- зоопланктон (мелкие ракообразные, питается фитопланктоном);
- мелкая рыба (питается зоопланктоном);
- хищная рыба (питается мелкой рыбой);
- водные птицы (питаются хищной рыбой).

Вычислите, сколько килограммов зоопланктона необходимо для прироста биомассы чаек на 90 кг.

### Решение

Пользуясь правилом 10%, рассчитаем массу зоопланктона. Для этого конечную массу чаек разделим на 0,1, получив 10% прироста исходной биомассы на каждом уровне перехода в цепи питания.

$$\frac{90}{0,001} = 90\,000 \text{ кг.}$$

**Ответ:** 90 000.

### Задача 2.3.7.5. Борьба с паразитами (12 баллов)

Тема: зоология.

#### Условие

Наверняка вы слышали о кислородных коктейлях. Газированная кислородом вода позволяет легко справиться с аскаридами (*Ascaris lumbricoides*), если они живут в кишечнике, так как аскариды — анаэробы и при появлении в кишечнике кислорода — погибают. Легкий способ избавиться от паразита, не правда ли?

Птицам недоступны кислородные коктейли, но паразиты их окружают постоянно. Как они с ними справляются? Выберите верный ответ.

1. Попугаи норфолкские какарики (*Cyanoramphus cookii*) натирают свое оперение пережеванными побегами и кусочками коры дерева кауакауа — одного из видов перца. Эти вещества содержат компоненты, отпугивающие паразитов.
2. Самцы дроф (*Otis tarda*) в брачный период чаще обычного поедают растения, такие как мак-самосейка (*Papaver rhoeas*) и синяк подорожниковый, которые содержат алкалоиды, помогающие бороться с паразитами.
3. Рыжие воробьи (*Passer cinnamomeus*) приносят в свои гнезда свежие веточки полыни Верлютов, что помогает уменьшить количество паразитов благодаря содержащимся в полыни веществам.
4. Мексиканские чечевицы (*Carpodacus mexicanus*) используют в своих гнездах сигаретные окурки, поскольку никотин и другие химические вещества действуют как репелленты против паразитов.
5. Гималайские моналы натирают свои перья листьями женьшеня, что способствует защите от паразитов благодаря его иммуномодулирующим свойствам.
6. Белохвостые орлы вьют гнезда из веточек эвкалипта, чтобы отпугивать паразитов эфирными маслами, содержащимися в листьях.

**Ответ:** 1, 2, 3, 4.



### **Задача 2.3.7.6. Трисомия (12 баллов)**

Тема: генетика.

#### **Условие**

В растительном мире экологический успех разных видов часто обусловлен появлением полиплоидных форм — то есть когда количество хромосом увеличивается в кратное количество раз. В целом около 70% растений полиплоидны.

Для подавляющего большинства животных увеличение количества хромосом может приводить к различным аномалиям, к примеру, трисомии у человека — это генетические нарушения, при которых человек имеет три копии определенной хромосомы вместо нормальных двух. Трисомии являются результатом ошибок в делении клеток и могут затрагивать разные хромосомы.

Какие из следующих утверждений о трисомиях у человека верны?

1. Трисомия 21 вызывает синдром Дауна.
2. Трисомия 18 вызывает синдром Эдвардса.
3. Трисомия 13 вызывает синдром Патау.
4. Трисомия 22 вызывает синдром Клайнфельтера.
5. Трисомия 16 несовместима с жизнью и обычно приводит к спонтанному выкидышу.
6. Трисомии всегда приводят к тяжелым физическим и умственным нарушениям.
7. Трисомия 9 вызывает синдром Клайнфельтера.

**Ответ:** 1, 2, 3, 5.

### **Задача 2.3.7.7. Заболевание бешенством (10 баллов)**

Тема: вирусология.

#### **Условие**

Начиная с 2021 года в ЮАР морские котики все чаще нападают на людей и кусают их. Оказалось, что в популяции этих ушастых тюленей распространилось бешенство. Это первая масштабная вспышка бешенства, зафиксированная среди ластиногих.

Бешенство — это смертельное вирусное заболевание, которое поражает центральную нервную систему животных и человека. Вирус бешенства передается через слюну зараженного животного, обычно через укусы. Несмотря на существование эффективных вакцин и профилактических мер, бешенство остается серьезной проблемой в некоторых регионах мира.

Выберите все верные характеристики вируса бешенства.

1. Бешенство передается человеку только через укусы зараженных животных.
2. Вирус бешенства поражает центральную нервную систему.
3. Существует эффективная вакцина против бешенства.

4. Инкубационный период бешенства может варьироваться от нескольких дней до нескольких лет.
5. Бешенство всегда приводит к смерти, если симптомы уже проявились и лечение не начато своевременно.
6. Бешенство можно излечить, если начать лечение через две недели после появления симптомов.
7. Вакцинация животных и людей помогает предотвратить распространение бешенства.

**Ответ:** 2, 3, 4, 5, 7.

### ***Задача 2.3.7.8. Диабет и похудение (8 баллов)***

*Тема: физиология человека и животных.*

#### ***Условие***

Нашумевший препарат семаглутид от Novo Nordisk показал хорошие результаты в борьбе с сахарным диабетом второго типа, который характеризуется повышенным содержанием глюкозы в крови и нарушением взаимодействия инсулина с клетками — в этом случае глюкоза просто не может попасть в клетки из крови, и они остаются «голодными» несмотря на поступление пищи в организм. Семаглутид же не только повышает уровень инсулина в крови, но и повышает сродство клеток тканей к инсулину.

В 2017 году семаглутид одобрили и выпустили как антидиабетическое средство под торговой маркой «Оземпик», и шум вокруг препарата связан с тем, что он позволил потерять 15% массы за 20 недель клинических исследований, и теперь его практически невозможно найти в аптеках при стоимости около \$1 000 за месячный курс.

Выберите, с какими эффектами «Оземпика» связана потеря массы у исследуемых:

1. снижение аппетита из-за действия препарата на пищевые центры гипоталамуса;
2. снижение скорости миграции пищи из желудка в кишечник;
3. снижение уровня глюкозы в крови после приема пищи;
4. снижение чувствительности тканей к инсулину;
5. усиление метаболизма жиров, что приводит к их быстрому сжиганию в организме.

**Ответ:** 1, 2.

### ***Задача 2.3.7.9. Вакцина против чумы (5 баллов)***

*Тема: ученые.*

**Условие**

Этот человек был выдающимся микробиологом и эпидемиологом, внесшим значительный вклад в борьбу с инфекционными заболеваниями. Одним из наиболее значительных его достижений стала разработка первой эффективной вакцины против чумы.

В 1893 году он начал свою работу в Париже в Пастеровском институте, где под руководством Мечникова и Луи Пастера изучал микробиологию и иммунологию.

В 1896 году ученый был приглашен в Индию для борьбы с эпидемией чумы. Он создал и успешно испытал вакцину против чумы, что позволило спасти тысячи жизней. Его метод вакцинации получил широкое признание и стал важным инструментом в борьбе с эпидемиями.

Кроме того, он разработал вакцину против холеры, которую также испытал в условиях эпидемии в Индии. Эта вакцина оказалась эффективной и внесла значительный вклад в снижение смертности от этого опасного заболевания. Благодаря его усилиям, смертность от холеры и чумы существенно сократилась, что сделало его имя известным во всем мире.

1. Алексей Николаевич Бах (1857–1946).
2. Юрий Анатольевич Овчинников (1934–1988).
3. Александр Георгиевич Лорх (1889–1960).
4. Илья Ильич Мечников (1845–1916).
5. Александр Николаевич Северцов (1866–1936).
6. Аркадий Аронович Хавкин (1860–1930).

**Ответ:** 6.

### **2.3.8. Четвертая волна. Задачи 10–11 класса**

Задачи четвертой волны предметного тура по биологии за 10–11 открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/63553/enter/>.

#### **Задача 2.3.8.1. Морские свинки (10 баллов)**

*Тема: генетика.*

**Условие**

В лаборатории генетики живут морские свинки Макс и Мира. Их первое потомство имело равномерно темный окрас, однако в пропорции 1 : 1 произошло распределение на гладкую и розеточную шерсть. При этом известно, что Мира имеет светлую гладкую шерстку. Каков генотип свинок с гладкой шерсткой, полученных в первом поколении, если темный оттенок и гладкая шерстка характерны для доминантных генов?

Гены, кодирующие доминантные признаки, обозначаются прописными буквами —  $A$ ,  $B$ , аллельные им гены, кодирующие рецессивные признаки, обозначаются строчными буквами —  $a$ ,  $b$ .

Для составления схем скрещивания воспользуйтесь решеткой Пеннета (таблица 2.3.12), где вдоль одной стороны расположены женские гаметы, а вдоль другой — мужские. Внутри таблицы размещают варианты генотипов, получаемых при скрещивании.

Таблица 2.3.12. Решетка Пеннета

♂				
♀				

Выберите правильный вариант ответа:

1.  $AaBb$ ;
2.  $aaBB$ ;
3.  $AAbb$ ;
4.  $AABB$ .

### Решение

Темный оттенок и гладкая шерстка — доминантные гены, значит, обозначим их как  $A$  и  $B$ .

Мира имеет светлую гладкую шерстку, то есть  $aaBB$  или  $aaBb$ .

В первом поколении особи единообразны по окрасу, значит, у Макса темная шерстка и генотип  $AA$ . Тогда у всех особей первого поколения генотип  $Aa$  и темная шерстка.

Разделение на розеточную и гладкую шерсть в пропорции  $1 : 1$  говорит о том, что по второй аллели генотип Макса  $bb$ .

Проверим на решетке Пеннета (таблица 2.3.12):

#### Вариант А

Мира —  $aaBB$ .

Макс —  $AAbb$ .

$M \times M$	$Ab$
$aB$	$AaBb$

Поклоение единообразно, условию задачи не соответствует.

#### Вариант Б

Мира —  $aaBb$ .

Макс —  $AAbb$ .

Таблица 2.3.13

$M \times M$	$Ab$	
$aB$	$AaBb$	Темная, гладкая
$ab$	$Aabb$	Темная, розеточная
$aB$	$AaBb$	Темная, гладкая
$ab$	$Aabb$	Темная, розеточная

Распределение верное, условию задачи соответствует.

**Ответ:** 1.

### **Задача 2.3.8.2. Термины (12 баллов)**

Тема: генетика.

#### **Условие**

Генетика — это наука, которая исследует основные принципы наследования и изменчивости живых организмов. Процессы сохранения и передачи признаков многообразны, и для их описания используется специфичная терминология.

Пользуясь информацией ниже, сопоставьте термины и их определения.

В ответ занесите цифру соответствующего термина в порядке возрастания и соответствующую описанию букву в формате 1 — А, 2 — В, 3 — С.

- |               |   |
|---------------|---|
| 1. Аллель.    | А. Структура, состоящая из длинной молекулы ДНК и белков, содержащая генетическую информацию организма. |
| 2. Лocus.     | В. Генетическое состояние, характеризующееся наличием трех копий одной хромосомы вместо обычных двух.   |
| 3. Хромосома. | С. Различные формы одного и того же гена, находящиеся в одинаковых участках гомологичных хромосом.      |
| 4. Трисомия.  | Д. Конкретное местоположение гена или другого значимого участка на хромосоме.                           |

**Ответ:** 1 — С, 2 — D, 3 — А, 4 — В.

### **Задача 2.3.8.3. Взаимодействие (15 баллов)**

Тема: ботаника.

#### **Условие**

Прочитайте текст и выберите верный термин из предложенного списка.

В ответ занесите буквы выбранных терминов в порядке от начала текста к концу без пробелов и запятых, например, «АБВАБВАБВВ».

Водоросли — группа организмов, имеющих ряд специфичных признаков, наиболее общим из которых является наличие такого вещества, как **А. хлорофилл** / **Б. каротин** / **В. полимер** и фотоавтотрофного питания. У многоклеточных водорослей отсутствие четкой дифференцировки тела на органы и явно выраженной проводящей системы. Тело водоросли называют **А. слоевищем** / **Б. корневищем** / **В. эпиблемой** или талломом. Обитают водоросли чаще всего в **А. воздушной среде** / **Б. в водной среде** / **В. стерильной среде**, но встречаются и в почве, а также могут находиться **А. на различных поверхностях** / **Б. нижних поверхностях** / **В. боковых поверхностях** во влажных местах. Размеры водорослей колеблются от долей микрона до 30–50 **А. сантиметров** / **Б. миллиметров** / **В. метров**. Самыми крупными размерами может достигать **А. ламинария** / **Б. саргассум** / **В. хлорелла**. Таллом водорослей может быть одноклеточным, либо многоклеточным. Среди одноклеточных водорослей есть **А. симбионты** / **Б. колониальные формы** / **В. кораллы**, например, когда клетки отдельных водорослей обитают в общей **А. слизи** / **Б. луже** / **В. форме**.

### **Решение**

Водоросли — группа организмов, имеющих ряд специфичных признаков, наиболее общим из которых является наличие такого вещества, как **хлорофилл** / **каротин** / **полимер** и фотоавтотрофного питания. У многоклеточных водорослей отсутствие четкой дифференцировки тела на органы и явно выраженной проводящей системы. Тело водоросли называют **слоевищем** / **корневищем** / **эпиблемой** или талломом. Обитают водоросли чаще всего в **воздушной среде** / **водной среде** / **стерильной среде**, но встречаются и в почве, а также могут находиться на **различных поверхностях** / **нижних поверхностях** / **боковых поверхностях** во влажных местах. Размеры водорослей колеблются от долей микрона до 30–50 **сантиметров** / **миллиметров** / **метров**. Самыми крупными размерами может достигать **ламинария** / **саргассум** / **хлорелла**. Таллом водорослей может быть одноклеточным, либо многоклеточным. Среди одноклеточных водорослей есть **симбионты** / **колониальные формы** / **кораллы**, например, когда клетки отдельных водорослей обитают в общей **слизи** / **луже** / **форме**.

**Ответ:** ААБАВББА.

### **Задача 2.3.8.4. Расчет клеток (15 баллов)**

*Тема:* микробиология.

#### **Условие**

Подсчитайте скорость роста микроорганизмов в чашке Петри. Для этого выполнены следующие шаги.

1. Микроорганизмы засеяны в чашку Петри и инкубированы при оптимальных условиях.

2. Измерена площадь колоний микроорганизмов через два, четыре и шесть часов.
3. Определите скорость роста колонии, используя данные измерений. Ответ дайте в квадратных миллиметрах в час ( $\text{мм}^2/\text{ч}$ ).

Исходные данные.

- Начальная площадь колониеобразующей единицы (клетки):  $S_0 = 1 \text{ мм}^2$ .
- Площадь колонии через четыре часа:  $S_4 = 16 \text{ мм}^2$ .
- Площадь колонии через шесть часов:  $S_6 = 64 \text{ мм}^2$ .

### **Решение**

Начальная площадь колонии  $S_0 = 1 \text{ мм}^2$ .

Конечная площадь колонии  $S_6 = 64 \text{ мм}^2$ .

Начальное время  $t_0 = 0 \text{ ч}$ .

Конечное время  $t_6 = 6 \text{ ч}$ .

Рассчитаем скорость роста колонии:

$$V = \frac{S_6 - S_0}{t_6 - t_0} = \frac{64 - 1}{6 - 0} = 10,5 \text{ мм}^2/\text{ч}.$$

Таким образом, средняя скорость роста колонии микроорганизмов составляет  $10,5 \text{ мм}^2/\text{ч}$ .

**Ответ:**  $10,5 \text{ мм}^2/\text{ч}$ .

### **Задача 2.3.8.5. Дифференцировка клеток (10 баллов)**

Тема: эмбриология.

#### **Условие**

В эмбриональном развитии происходит клеточная дифференцировка — это процесс, в результате которого эмбриональные стволовые клетки приобретают специализированные функции. Дифференцировка меняет функцию клетки, ее размер, форму и метаболическую активность. Дифференцированные клетки уже не могут вернуться назад к состоянию эмбриональных, но ученые смогли повернуть процесс дифференцировки вспять и создать из дифференцированных клеток стволовые.

В 2019 году сотрудники Осацкого университета впервые в мире провели пересадку человеку роговицы, основу которой составили потомки индуцированных плюрипотентных стволовых клеток (ИПСК), а не биоматериал доноров. Результаты были опубликованы в журнале Nature.

Первым человеком-реципиентом такой роговицы стала гражданка Японии в возрасте около 40 лет. Она страдала от ретикулярной дисгенезии роговичного эпителия, то есть клетки эпителия не обновлялись должным образом и поэтому не могли обеспечить достаточную прозрачность роговицы.

Выберите, какие из следующих механизмов важны для клеточной дифференцировки?

1. Контроль экспрессии генов через активацию и подавление определенных генов.
2. Модификации ДНК, влияющая на доступность генов для транскрипции.
3. Системы передачи сигналов между клетками, которые определяют направление и тип дифференцировки.
4. Регуляция процесса деления клеток для создания большего количества клеток.
5. Коммуникация между клетками через прямой контакт и сигнальные молекулы.
6. Возбуждение нейронов для координации действий между клетками.
7. Контроль времени и места, где происходит дифференцировка клеток.

**Ответ:** 1, 2, 3, 5, 7.

### ***Задача 2.3.8.6. Части нервной системы (12 баллов)***

*Тема: физиология человека и животных.*

#### ***Условие***

Поражения нервной системы стали лидерами среди причин нетрудоспособности во всем мире. Глобальное исследование бремени болезней показало, что группу из 37 заболеваний, поражающих нервную систему, можно признать ведущей в 2021 году. От этих заболеваний пострадали 3,4 млрд человек во всем мире, или 43,1% населения планеты. Результаты анализа опубликованы в The Lancet Neurology.

Ниже даны разные части нервной системы, их функции и характеристики, сопоставьте их.

В ответ занесите цифру соответствующего термина в порядке возрастания и соответствующую описанию букву в формате 1 — А, 2 — В, 3 — С.

- |   |  |
|---|--|
| 1. Центральная нервная система (ЦНС).         | А. Регулирует непроизвольные функции организма, такие как сердцебиение и пищеварение.  |
| 2. Периферическая нервная система (ПНС).      | В. Отдел, ответственный за состояние покоя и восстановления.                           |
| 3. Соматическая нервная система.              | С. Состоит из головного и спинного мозга и обрабатывает информацию, поступающую извне. |
| 4. Автономная нервная система (вегетативная). | Д. Контролирует произвольные движения и передачу сенсорной информации.                 |
| 5. Симпатическая нервная система.             | Е. Включает нервы, связывающие ЦНС с остальной частью тела.                            |
| 6. Парасимпатическая нервная система.         | Ф. Отдел, активирующий реакцию «бей или беги».   |



**Ответ:** 1 — С, 2 — Е, 3 — D, 4 — А, 5 — F, 6 — В.

### **Задача 2.3.8.7. Пищеварение (12 баллов)**

*Тема: физиология человека и животных.*

#### **Условие**

В 2016 году в Nature вышла статья о том, что элементарные операции по измельчению и отбиванию сырого мяса и грубой растительной пищи делают их легко усваиваемыми. Соответственно, приготовление пищи позволило нашим предкам обходиться небольшими зубами и челюстями, уменьшенной пищеварительной системой, при этом получая из пищи больше питательных веществ. Это привело к глубоким изменениям нашей анатомии, развитию речевого аппарата и головного мозга.

Тем не менее пищеварение — это сложный процесс, включающий как физическое, так и химическое преобразование пищи для усвоения питательных веществ организмом.

Какие процессы играют ключевую роль в пищеварении?

1. Гидролиз макромолекул: расщепление сложных молекул, таких как белки, углеводы и жиры, на более простые компоненты при участии специальных ферментов и воды.
2. Денатурация белков: процесс изменения структуры белков под действием кислоты в желудке, что делает их более доступными для ферментативного расщепления.
3. Фосфорилирование глюкозы: присоединение фосфатной группы к глюкозе в клетках для активации процессов гликолиза.
4. Эмульгация жиров: действие желчных кислот, которые разбивают жиры на мелкие капли, что увеличивает их доступность для липаз.
5. Биосинтез аминокислот: синтез аминокислот из простых молекул в процессе анаболизма.
6. Секреция соляной кислоты: выделение кислоты в желудке для поддержания кислотной среды, необходимой для активации пепсина.

**Ответ:** 1, 2, 4, 6.

### **Задача 2.3.8.8. Альцгеймер и Паркинсон (12 баллов)**

*Тема: физиология человека и животных.*

#### **Условие**

Крупное 17-летнее исследование с участием 62 млн пожилых людей, проведенное в США, показало, что жизнь в районе с большим количеством зелени в пожилом возрасте связана с меньшим числом первых госпитализаций по поводу болезни Паркинсона, болезни Альцгеймера и связанных с ней деменций. Результаты работы опубликованы в JAMA Network Open в 2022 году.

Какие факторы могут способствовать развитию нейродегенеративных заболеваний, таких как болезнь Альцгеймера и болезнь Паркинсона?

1. Накопление бета-амилоидных бляшек в мозге.
2. Дефицит дофамина в базальных ганглиях.
3. Высокий уровень физической активности.
4. Генетическая предрасположенность.
5. Сниженный уровень гормона роста.
6. Длительное воздействие стресса.
7. Накопление меланина в коже.

**Ответ:** 1, 2, 4, 6.

### ***Задача 2.3.8.9. Вакцина против чумы (5 баллов)***

*Тема: ученые.*

#### ***Условие***

Этот человек был выдающимся микробиологом и эпидемиологом, внесшим значительный вклад в борьбу с инфекционными заболеваниями. Одним из наиболее значительных его достижений стала разработка первой эффективной вакцины против чумы. В 1893 году он начал свою работу в Париже в Пастеровском институте, где под руководством Мечникова и Луи Пастера изучал микробиологию и иммунологию. В 1896 году ученый был приглашен в Индию для борьбы с эпидемией чумы. Он создал и успешно испытал вакцину против чумы, что позволило спасти тысячи жизней. Его метод вакцинации получил широкое признание и стал важным инструментом в борьбе с эпидемиями. Кроме того, он разработал вакцину против холеры, которую также испытал в условиях эпидемии в Индии. Эта вакцина оказалась эффективной и внесла значительный вклад в снижение смертности от этого опасного заболевания. Благодаря его усилиям, смертность от холеры и чумы существенно сократилась, что сделало его имя известным во всем мире.

1. Алексей Николаевич Бах (1857–1946).
2. Юрий Анатольевич Овчинников (1934–1988).
3. Александр Георгиевич Лорх (1889–1960).
4. Илья Ильич Мечников (1845–1916).
5. Александр Николаевич Северцов (1866–1936).
6. Владимир Аронович Хавкин (1860–1930).

**Ответ:** 6.

## 2.4. Предметный тур. Информатика

### 2.4.1. Первая волна. Задачи 8–11 класса

Задачи первой волны предметного тура по информатике открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/63452/enter/>.

#### ***Задача 2.4.1.1. Ускорение ускорения (10 баллов)***

**Имя входного файла:** стандартный ввод или `input.txt`.

**Имя выходного файла:** стандартный вывод или `output.txt`.

**Ограничение по времени выполнения программы:** 1 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

#### ***Условие***

Рассмотрим модель движения тела. Будем фиксировать такие параметры, как координата, скорость, ускорение и ускорение ускорения (рывок). Если некоторый параметр равен  $a$  и имеет скорость изменения  $v$ , то в следующий момент времени этот параметр будет равен  $a + v$ .

Например, если тело имело координату, равную 10, скорость, равную 20, ускорение, равное 30 и ускорение ускорения, равное 40, то в следующий момент оно будет иметь координату 30, скорость 50 и ускорение 70. Ускорение ускорения будем считать в этой задаче постоянной величиной.

Задача довольно проста: тело в начальный момент времени 0 находится в точке с координатой 0, скоростью 0 и ускорением 0. На это тело действует постоянное ускорение ускорения, равное 6. Требуется определить, в точке с какой координатой окажется это тело в момент времени  $t$ .

#### ***Формат входных данных***

В единственной строке находится одно число  $t$ , где  $0 \leq t \leq 10^6$ .

#### ***Формат выходных данных***

Вывести одно число — координату, в которой окажется тело в момент времени  $t$ .

**Примеры***Пример №1*

<b>Стандартный ввод</b>
6
<b>Стандартный вывод</b>
120

*Пример №2*

<b>Стандартный ввод</b>
2
<b>Стандартный вывод</b>
0

*Пример №3*

<b>Стандартный ввод</b>
1000000
<b>Стандартный вывод</b>
9999970000002000000

**Решение**

Ниже представлено решение на языке C++.

**C++**

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  signed main(){
5      int t;
6      cin >> t;
7      cout << ((t * (t - 1)) * (t - 2)) << endl;
8  }
```

**Задача 2.4.1.2. Двойное остекление (15 баллов)**

**Имя входного файла:** стандартный ввод или input.txt.

**Имя выходного файла:** стандартный вывод или output.txt.

**Ограничение по времени выполнения программы:** 1 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

### Условие

У деда Василия есть два прямоугольных куска стекла. Один из них имеет размеры  $a \times b$ , другой —  $c \times d$ . Дед собирается из этих кусков сделать окно с двойным остеклением. Он хочет, чтобы окно было обязательно квадратным и как можно большим по размеру. Дед должен вырезать из имеющихся у него прямоугольников два одинаковых квадрата максимально возможного размера. Нужно написать программу, которая по заданным  $a, b, c, d$  найдет максимальные размеры квадратного окна. Имейте ввиду, что оба квадрата могут быть вырезаны и из одного прямоугольного куска стекла.

### Формат входных данных

На вход подаются две строки. В первой строке находятся размеры первого прямоугольника  $a, b$  через пробел, во второй — размеры второго прямоугольника  $c, d$  через пробел, где  $1 \leq a, b, c, d \leq 10^9$ .

### Формат выходных данных

Вывести одно число — максимальную сторону квадратного двойного окна, которое можно вырезать из заданных на входе прямоугольных кусков стекла. Ответ может быть нецелым, требуется вывести его с точностью 1 знак после десятичной точки.

### Примеры

#### Пример №1

Стандартный ввод
5 10 9 6
Стандартный вывод
5

#### Пример №2

Стандартный ввод
4 10 9 6
Стандартный вывод
4.5

### Комментарий

Второй пример показывает, что иногда лучше вырезать оба квадрата из одного и того же куска стекла.

**Решение**

Ниже представлено решение на языке C++.

**C++**

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  signed main(){
5      double a, b, c, d;
6      cin >> a >> b >> c >> d;
7      double a0 = min({a, b, c, d});
8      double a1 = min(max(a, b) / 2.0, min(a, b));
9      double a2 = min(max(c, d) / 2.0, min(c, d));
10     double ans = max({a0, a1, a2});
11     if( (int)ans == ans ){
12         int ians = ans;
13         cout << ians << endl;
14         return 0;
15     }
16     cout.precision(1);
17     cout << fixed<< ans << endl;
18 }
```

**Задача 2.4.1.3. О золотой рыбке и... досках (20 баллов)**

**Имя входного файла:** стандартный ввод или `input.txt`.

**Имя выходного файла:** стандартный вывод или `output.txt`.

**Ограничение по времени выполнения программы:** 1 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

**Условие**

После событий известной сказки А. С. Пушкина старик решил принципиально не пользоваться услугами золотой рыбки. Поэтому для того чтобы изготовить новое корыто, он честно заготовил  $n$  одинаковых досок.

Но гостивший в это время у старика со старухой внук решил, что ему нужно научиться пилить. И, не сказав ничего своему деду, внук быстро распилил каждую из досок на две части. В итоге у старика оказались  $2n$  кусков досок. Самое интересное, что все эти куски оказались разными по длине, но имели целочисленные размеры. К сожалению, старик забыл, какова была исходная длина целых досок.

**Формат входных данных**

В первой строке задается целое число  $n$  — исходное количество целых досок, где  $1 \leq n \leq 10^5$ .

Во второй строке заданы  $2n$  целых чисел  $d_i$  — длины всех кусков, которые получились после «тренировки» внука, где  $1 \leq d_i \leq 10^9$ . Гарантируется, что эти числа попарно различны, и их можно разбить на пары одинаковых по сумме чисел.

Все эти части досок пронумерованы от 1 до  $2n$  в том порядке, в котором они заданы на входе.

### Формат выходных данных

В первую строку вывести одно число — исходную длину целых досок.

В следующих  $n$  строках вывести пары номеров кусков досок, которые составляют по длине целые доски. Номера выводить через один пробел, внутри пары сначала должен идти меньший номер, затем больший. Пары должны быть выведены в порядке возрастания первых номеров в парах.

### Примеры

#### Пример №1

Стандартный ввод
3 4 8 2 3 6 7
Стандартный вывод
10 1 5 2 3 4 6

### Комментарий

Отсортируем куски и далее будем брать один из начала и второй к нему из конца.

### Решение

Ниже представлено решение на языке C++.

C++

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  signed main(){
5      int n;
6      cin >> n;
7      vector<pair<int, int> > v(2 * n);
8      for(int i = 0; i < 2 * n; i++){
9          int d;
10         cin >> d;
11         v[i] = {d, i + 1};
12     }
13     sort(v.begin(), v.end());
14     vector<pair<int, int> > ans(n);
15     for(int i = 0; i < n; i++){

```

```

16         ans[i] = {v[i].second, v[2 * n - i - 1].second};
17         if(ans[i].first > ans[i].second){
18             swap(ans[i].first, ans[i].second);
19         }
20     }
21     sort(ans.begin(), ans.end());
22     cout << v[0].first + v.back().first<< endl;
23     for(int i = 0; i < n; i++){
24         cout << ans[i].first<< ' ' << ans[i].second<< endl;
25     }
26 }

```

### **Задача 2.4.1.4. Бонусы и экономия (25 баллов)**

**Имя входного файла:** стандартный ввод или input.txt.

**Имя выходного файла:** стандартный вывод или output.txt.

**Ограничение по времени выполнения программы:** 1 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

#### **Условие**

Технология производства некоторой металлической детали предполагает вытачивание ее из металлической заготовки. При этом образуются стружки, которые не стоит выкидывать. Ведь из  $a$  комплектов стружек (оставшихся после обработки  $a$  заготовок) можно бесплатно выплавить еще одну заготовку, которую снова можно использовать для выточки детали и создания еще одного комплекта стружек.

Заготовки можно купить на оптовом складе, при этом в целях привлечения клиентов, проводится акция «купи  $b$  заготовок, тогда еще одну получишь бесплатно».

Требуется изготовить  $c$  деталей. Нужно определить минимальное число заготовок, которые нужно купить за деньги, чтобы с учетом бонусных заготовок и экономии на стружках можно было изготовить требуемое число деталей.

#### **Формат входных данных**

В одной строке через пробел заданы три целых числа  $a$ ,  $b$ , и  $c$  такие, что  $2 \leq a \leq 10^{18}$ ,  $1 \leq b$ ,  $c \leq 10^{18}$ .

#### **Формат выходных данных**

Вывести одно целое число — минимальное количество заготовок, которые нужно купить, чтобы с учетом всех бонусов и экономии выточить  $c$  конечных деталей.



## Примеры

### Пример №1

<b>Стандартный ввод</b>
4 5 41
<b>Стандартный вывод</b>
26

## Примечания

В примере из условия нужно закупить 26 заготовок. Тогда за каждые пять купленных заготовок будет предоставлена одна бесплатная, итого по акции добавится еще пять заготовок, то есть получится 31 заготовка. Далее из 31 заготовки выточится 31 деталь, останется 31 комплект стружек. Из каждых четырех комплектов выплавится дополнительная заготовка, получится семь заготовок и три комплекта стружек. Из семи заготовок выточится семь деталей и останется семь комплектов стружек, три комплекта стружек осталось с первого шага, итого 10 комплектов стружек. Из них выплавится еще две заготовки, дающие две детали и два комплекта стружек. Собрав эти два комплекта с двумя, оставшимися от 10, получим еще одну заготовку, из которой выточится еще одна деталь. Останется один комплект стружек, который уже никак не получится использовать. Итого будет произведена  $31 + 7 + 2 + 1 = 41$  деталь.

## Комментарий

Методом бинарного поиска можно подобрать минимальное необходимое количество исходных заготовок.

## Решение

Ниже представлено решение на языке C++.

C++

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  int f1(int M, int a){
5      int res = 0, z = 0;
6      while(1){
7          if(M == 0 && z < a){
8              return res;
9          }
10         res += M;
11         M = M + z;
12         z = M % a;
13         M = M / a;
14     }
15 }
```

```

16  int f2(int M, int b){
17      return M + M / b;
18  }
19  signed main(){
20      int a, b, c;
21      cin >> a >> b >> c;
22      int L = 0, R = 1;
23      while(f1(R, a) <= c){
24          R *= 2;
25      }
26      while(R - L > 1){
27          int M = (R + L) / 2;
28          if(f1(M, a) < c){
29              L = M;
30          }
31          else{
32              R = M;
33          }
34      }
35      int z = R;
36      L = 0, R = 1;
37      while(f2(R, b) <= z){
38          R *= 2;
39      }
40      while(R - L > 1){
41          int M = (R + L) / 2;
42          if(f2(M, b) < z){
43              L = M;
44          }
45          else{
46              R = M;
47          }
48      }
49      cout << R << endl;
50  }

```

### Задача 2.4.1.5. Сон таксиста (30 баллов)

**Имя входного файла:** стандартный ввод или input.txt.

**Имя выходного файла:** стандартный вывод или output.txt.

**Ограничение по времени выполнения программы:** 1 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

#### Условие

Одному таксисту приснился красочный сон. Во сне он живет и работает в некотором городе, где абсолютно все улицы с односторонним движением. Эти улицы устроены так, что невозможно проехать с какого-либо перекрестка так, чтобы вернуться обратно на этот же перекресток, то есть в дорожной сети города нет циклов.

Таким образом, если с перекрестка  $A$  можно попасть по направлению движения улиц на перекресток  $B$ , то люди вызывают такси, иначе их везет специальный муниципальный подземный транспорт бесплатно.

В связи с такими странными правилами, таксистам в этом городе разрешено законом везти пассажира по любому маршруту, не нарушающему направления движения. Все в этом городе привыкли к такой ситуации и абсолютно спокойно относятся к тому, что таксисты везут их самым длинным путем. Разумеется, заработок таксиста за одну поездку прямо пропорционален ее длине. Для упрощения будем считать, что стоимость 1 км поездки составляет ровно 1 руб.

Схема дорог города задана. Перекрестки города пронумерованы числами от 1 до  $n$ . Таксист в своем сне находится на перекрестке номер  $S$ . Напишите программу, которая подскажет ему, сколько он максимально сможет заработать, когда ему придет заказ от клиента. Так как он не знает, куда попросит его везти клиент, нужно для каждого перекрестка от 1 до  $n$  указать максимальную стоимость поездки до этого перекрестка из пункта  $S$  на такси. Если по правилам на такси добраться из пункта  $S$  до какого-то перекрестка нельзя, вывести  $-1$ .

### **Формат входных данных**

Дорожная сеть задана следующим образом: в первой строке находятся два числа через пробел  $n$  и  $m$  — число перекрестков и число улиц в городе, где  $2 \leq n, m \leq 2 \cdot 10^5$ .

В следующих  $m$  строках задана очередная односторонняя улица в виде трех чисел  $A, B, d$  через пробел, где  $A$  — начало улицы,  $B$  — конец улицы и  $d$  — ее длина.  $1 \leq A, B \leq n$ ,  $1 \leq d \leq 10^9$ . Гарантируется, что в этой дорожной сети нет циклов. Некоторые пары перекрестков могут быть соединены двумя и более односторонними улицами. Дорожная сеть может быть неплоской за счет мостов и тоннелей.

В последней строке ввода содержится номер стартового перекрестка  $S$ ,  $1 \leq S \leq n$ .

### **Формат выходных данных**

Вывести  $n$  чисел в одну строку через пробел.  $i$ -е число обозначает длину самого длинного пути с перекрестка номер  $S$  до перекрестка номер  $i$ . Если до перекрестка номер  $i$  от  $S$  нельзя доехать, не нарушая правила движения, вывести  $-1$ .

### **Примеры**

#### *Пример №1*

Стандартный ввод		
10	20	
9	10	15
9	8	3
8	10	7
7	8	4
7	10	10
5	8	2
5	9	10

**Стандартный ввод**

```

5 6 5
7 6 5
4 6 8
3 6 4
3 4 6
5 3 2
2 5 2
2 3 3
3 1 5
1 4 2
2 1 7
4 7 4
6 8 1
5

```

**Стандартный вывод**

```
7 -1 2 9 0 18 13 19 10 26
```

**Комментарий**

Задача решается методом динамического программирования на ориентированном ациклическом графе.

**Решение**

Ниже представлено решение на языке C++.

**C++**

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  int n, m;
5  vector<vector<pair<int, int> > > G;
6  vector<int> order, used;
7  void dfs(int a){
8      used[a] = 1;
9      for(auto to : G[a]){
10         if(!used[to.first]){
11             dfs(to.first);
12         }
13     }
14     order.push_back(a);
15 }
16 signed main(){
17     cin >> n >> m;
18     G.resize(n + 1);
19     used.resize(n + 1, 0);
20     for(int i = 0; i < m; i++){
21         int a, b, d;
22         cin >> a >> b >> d;
23         G[a].push_back({b, d});
24     }

```

```

25     int s;
26     cin >> s;
27     dfs(s);
28     reverse(order.begin(), order.end());
29     vector<int> dp(n + 1, -1);
30     dp[s] = 0;
31     for(auto el : order){
32         for(auto to : G[el]){
33             dp[to.first] = max(dp[to.first], dp[el] + to.second);
34         }
35     }
36     for(int i = 1; i <= n; i++){
37         cout << dp[i] << ' ';
38     }
39 }

```

## 2.4.2. Вторая волна. Задачи 8–11 класса

Задачи второй волны предметного тура по информатике открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контеcт: <https://contest.yandex.ru/contest/63454/enter/>.

### Задача 2.4.2.1. Игра на планшете (10 баллов)

**Имя входного файла:** стандартный ввод или input.txt.

**Имя выходного файла:** стандартный вывод или output.txt.

**Ограничение по времени выполнения программы:** 1 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

#### Условие

Маленький Андрей изучает геометрические фигуры при помощи игры на планшете. У него есть прямоугольные треугольники четырех цветов и ориентаций: желтые, зеленые, красные и синие. Для каждой разновидности треугольников есть заданное количество экземпляров этих треугольников. Более точно: у Андрея есть  $a$  желтых,  $b$  зеленых,  $c$  красных и  $d$  синих треугольников. Помимо этого у него есть прямоугольная таблица  $n \times m$ .

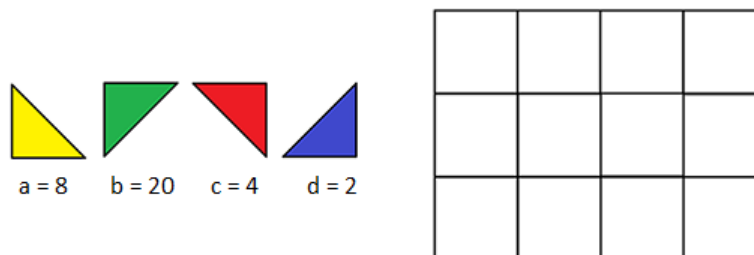


Рис. 2.4.1

Треугольники одного цвета имеют одну и ту же ориентацию, которую нельзя поменять. Андрей может только взять очередной треугольник и переместить его параллельным сдвигом в одну из ячеек этой прямоугольной таблицы. При этом в одну ячейку можно поместить либо вместе желтый и красный треугольники, либо вместе зеленый и синий, либо один любой треугольник из имеющихся.

Андрей хочет расположить в ячейках таблицы как можно больше треугольников из тех, что у него имеются. Нужно подсказать ему максимальное количество треугольников, которые получится разместить в таблице.

### **Формат входных данных**

В первой строке содержатся четыре целых числа  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  через пробел — количество желтых, зеленых, красных и синих треугольников соответственно.

Во второй строке содержатся два целых числа  $n$  и  $m$  через пробел — размеры прямоугольной таблицы.

Все числа в пределах от 1 до  $10^9$ .

### **Формат выходных данных**

Вывести одно число — максимальное количество треугольников, которые можно при заданных условиях разместить в таблице.

### **Примеры**

#### *Пример №1*

Стандартный ввод
8 20 4 2
3 4
Стандартный вывод
18

### **Примечания**

На рис. [2.4.2](#) представлен один из примеров размещения 18 треугольников из 34 заданных на входе.

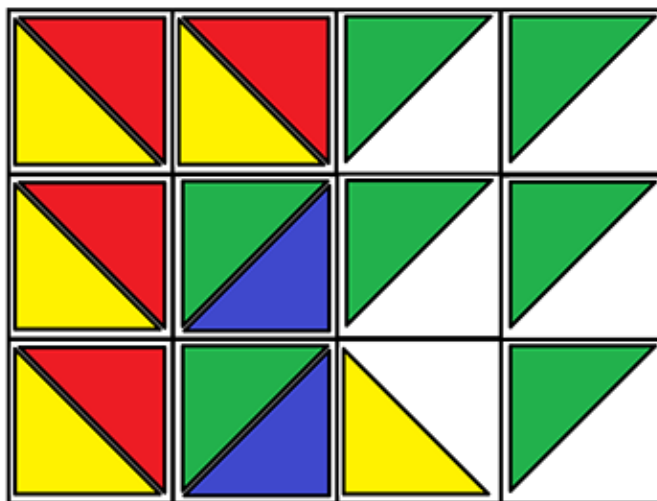


Рис. 2.4.2

**Решение**

Ниже представлено решение на языке C++.

**C++**

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  signed main(){
5      int a, b, c, d, n, m;
6      cin >> a >> b >> c >> d >> n >> m;
7      if(a > c){
8          swap(a, c);
9      }
10     if(b > d){
11         swap(b, d);
12     }
13     int f = a + b;
14     int k = n * m;
15     if(k <= f){
16         cout << k * 2;
17         return 0;
18     }
19     k -= f;
20     c -= a;
21     d -= b;
22     cout << f * 2 + min(k, c + d) << endl;
23 }
```

**Задача 2.4.2.2. Старая задача на новый лад (15 баллов)**

**Имя входного файла:** стандартный ввод или input.txt.

**Имя выходного файла:** стандартный вывод или output.txt.

**Ограничение по времени выполнения программы:** 1 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

### **Условие**

Одна старая задача имеет следующий вид:

«Разбить число 45 на сумму четырех слагаемых так, что если к первому прибавить 2, из второго вычесть 2, третье умножить на 2, а четвертое разделить на 2, то получится одно и то же число».

Ответ к этой задаче — четыре числа 8, 12, 5 и 20. Можно убедиться, что в сумме они дают число 45, а если с каждым из них проделать соответствующую арифметическую операцию, то получится одно и то же число 10.

Необходимо решить чуть более общую задачу: даны числа  $n$  и  $k$ . Нужно представить число  $n$  в виде суммы четырех целых неотрицательных слагаемых  $a + b + c + d$  таких, что  $a + k = b - k = c \cdot k = d / k$ . Гарантируется, что для заданных  $n$  и  $k$  такое разбиение существует.

### **Формат входных данных**

В одной строке через пробел два числа  $n$  и  $k$ , где  $1 \leq n \cdot k \leq 10^{18}$ .

### **Формат выходных данных**

Вывести через пробел в одну строку четыре целых неотрицательных числа  $a, b, c, d$  таких, что  $a + b + c + d = n$  и  $a + k = b - k = c \cdot k = d / k$ .

### **Примеры**

#### *Пример №1*

<b>Стандартный ввод</b>
45 2
<b>Стандартный вывод</b>
8 12 5 20

#### *Пример №2*

<b>Стандартный ввод</b>
128 7
<b>Стандартный вывод</b>
7 21 2 98



**Решение**

Ниже представлено решение на языке C++.

**C++**

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  signed main(){
5      int n, k;
6      cin >> n >> k;
7      int x = (k * n) / (k * k + 2 * k + 1);
8      cout << x - k << ' ' << x + k << ' ' << x / k << ' ' << x * k << endl;
9  }
```

**Задача 2.4.2.3. Ладья и обязательная клетка (20 баллов)**

**Имя входного файла:** стандартный ввод или `input.txt`.

**Имя выходного файла:** стандартный вывод или `output.txt`.

**Ограничение по времени выполнения программы:** 1 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

**Условие**

Шахматная ладья находится в левом верхнем углу прямоугольного поля, разбитого на клетки размером  $n \times m$ .  $n$  обозначает число строк,  $m$  — число столбцов. Она хочет попасть в правую нижнюю клетку этого поля кратчайшим путем. Ладья может передвигаться либо вправо, либо вниз на любое количество клеток. Ладья обязана посетить заданную клетку с координатами  $(x, y)$ , где  $x$  — номер строки этой клетки, а  $y$  — номер ее столбца.

Требуется найти количество способов построить путь ладьи из левого верхнего угла в правый нижний, которые проходят через обязательную клетку с заданными координатами.

**Формат входных данных**

В первой строке находятся два числа через пробел:  $n$  — число строк и  $m$  — число столбцов прямоугольного поля,  $2 \leq n, m \leq 25$ . Во второй строке через пробел находятся координаты  $(x, y)$  обязательной для посещения клетки, где  $1 \leq x \leq n$ ,  $1 \leq y \leq m$ . Координаты  $x$  и  $y$  не совпадают с координатами левой верхней и правой нижней клеток.

**Формат выходных данных**

Вывести одно число — количество кратчайших путей ладьи из верхней левой в правую нижнюю клетку, проходящих через заданную клетку.

## Примеры

Стандартный ввод
3 4 2 3
Стандартный вывод
6

## Примечания

На рис. 2.4.3 представлены шесть путей, которыми ладья может пройти по полю размером  $3 \times 4$ , обязательно посещая по пути клетку (2,3).

## Комментарий

Задачу можно решить как комбинаторными методами (произведение биномиальных коэффициентов), так и динамическим программированием.

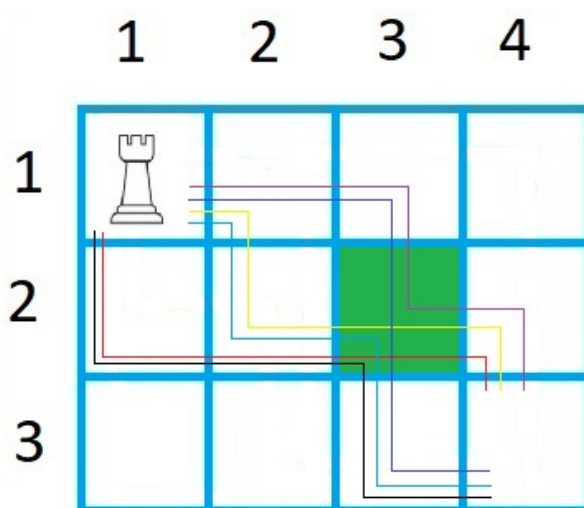


Рис. 2.4.3

## Решение

Ниже представлено решение на языке C++.

C++

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  signed main(){
5      vector<vector<int>> > bc(51, vector<int>(51, 0));
6      bc[0][0] = 1;
7      for(int i = 1; i <= 50; i++){
8          for(int j = 0; j < 51; j++){

```

```

9         bc[i][j] += bc[i - 1][j];
10        if(j - 1 >= 0){
11            bc[i][j] += bc[i - 1][j - 1];
12        }
13    }
14 }
15 int n, m, x, y;
16 cin >> n >> m >> x >> y;
17 int d1 = bc[x - 1 + y - 1][x - 1];
18 int d2 = bc[n - x + m - y][n - x];
19 int ans = d1 * d2;
20 cout << ans << endl;
21 }

```

#### **Задача 2.4.2.4. Танец с цифрами (25 баллов)**

**Имя входного файла:** стандартный ввод или `input.txt`.

**Имя выходного файла:** стандартный вывод или `output.txt`.

**Ограничение по времени выполнения программы:** 1 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

#### **Условие**

Десять танцоров репетируют на сцене новый танец. Каждый танцор одет в футболку, на которой написана одна из цифр от 1 до 9, цифры могут повторяться. Изначально они стоят в некотором порядке слева направо, и их цифры образуют некоторое десятизначное число  $A$ . Далее во время всего танца участники либо разбиваются на пять пар рядом стоящих танцоров и одновременно меняются местами внутри своих пар, либо самый левый танцор перемещается на самую правую позицию и становится самым правым танцором.

Сын постановщика танца от скуки на бумаге выписывает все получающиеся при каждом перемещении десятизначные числа. Так как танец длинный, то в итоге на бумаге окажутся все возможные числа, которые в принципе могут появиться при этих условиях. Нужно найти разницу между самым большим и самым маленьким из этих чисел.

#### **Формат входных данных**

На вход подается одно десятизначное число  $A$ , обозначающее начальное расположение танцоров. В числе могут встречаться цифры от 1 до 9, некоторые из них могут повторяться.

#### **Формат выходных данных**

Вывести одно число, равное разности самого большого и самого маленького из чисел, которые могут быть получены во время танца.

## Примеры

### Пример №1

<b>Стандартный ввод</b>
1456531355
<b>Стандартный вывод</b>
5182160085

## Примечания

Самое маленькое число, которое можно получить в примере, равно 1353155456, самое большое равно 6535315541.

Покажем, как получить эти числа из исходного числа 1456531355. Сначала получим самое большое следующим образом: две левых цифры, 1 и 4, переместим вправо, получим 5653135514, потом поменяем в парах цифры местами и получим самое большое — 6535315541. Далее опять поменяем порядок в парах и в числе 5653135514 переместим три левых цифры 5, 6 и 5 вправо, получим 3135514565 и здесь снова поменяем порядок в парах, получим самое маленькое — 1353155456. Таким образом, искомая разница равна 5182160085.

## Решение

Ниже представлено решение на языке C++.

C++

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  signed main(){
5      string s;
6      cin >> s;
7      string mx = s, mn = s;
8
9      for(int i = 0; i < 5; i++){
10         for(int j = 0; j < 10; j++){
11             mx = max(mx, s);
12             mn = min(s, mn);
13             if(j < 9){
14                 s = s.substr(1) + s[0];
15             }
16         }
17         for(int j = 0; j < 5; j++){
18             swap(s[2 * j], s[2 * j + 1]);
19         }
20     }
21     stringstream ssmn;
22     ssmn << mn;
23     int imn;
24     ssmn >> imn;
25     stringstream ssmx;
```

```

26     ssmx << mx;
27     int imx;
28     ssmx >> imx;
29     cout << imx - imn << endl;
30 }

```

### **Задача 2.4.2.5. Трудная сортировка (30 баллов)**

**Имя входного файла:** стандартный ввод или `input.txt`.

**Имя выходного файла:** стандартный вывод или `output.txt`.

**Ограничение по времени выполнения программы:** 3 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

#### **Условие**

Иннокентий работает в отделе сортировки перестановок, подотделе сортировки вставками. Его задача заключается в сортировке перестановок, предоставленных заказчиками. Перестановкой длины  $n$  называется такая последовательность чисел, в которой встречаются все числа от 1 до  $n$  без повторений в некотором порядке.

Перестановка считается отсортированной, если в ней все числа расположены по возрастанию, то есть она имеет вид  $1, \dots, n$ .

Иннокентий начинает рабочий день с пустой последовательности чисел. За день он сортирует вставками перестановку длины  $n$ . В начале каждой операции вставки он получает очередное число  $a_i$  из перестановки заказчика, после чего обрабатывает его, вставляя в отсортированную последовательность из ранее полученных чисел. После каждого такого добавления последовательность уже обработанных чисел должна быть отсортирована по возрастанию.

Перед тем как вставить число  $a_i$  в последовательность, он может выбрать, с какого края последовательности начать вставку. Далее он устанавливает число  $a_i$  с этого края и последовательно меняет вставляемое число с рядом стоящим числом  $b_j$  до тех пор, пока число  $a_i$  не встанет на свое место. На каждую перестановку вставляемого числа  $a_i$  с числом  $b_j$  Иннокентий тратит  $b_j$  единиц энергии.

Дана перестановка длины  $n$  из чисел  $a_i$  в том порядке, в котором Иннокентий их будет обрабатывать. Подскажите ему, какое минимальное количество энергии ему потребуется потратить, чтобы отсортировать всю перестановку.

#### **Формат входных данных**

В первой строке находится одно целое число  $n$  — длина перестановки, где  $1 \leq n \leq 2 \cdot 10^5$ .

Во второй строке содержится  $n$  целых чисел  $a_i$  через пробел в том порядке, в котором они поступают на обработку Иннокентию. Гарантируется, что эти числа образуют перестановку длины  $n$ , то есть каждое число от 1 до  $n$  содержится в заданном наборе ровно один раз.

### Формат выходных данных

Вывести одно число — минимальные суммарные энергозатраты Иннокентия для сортировки вставками заданной на входе перестановки.

### Примеры

#### Пример №1

<b>Стандартный ввод</b>
9
2 9 1 5 6 4 3 8 7
<b>Стандартный вывод</b>
43

### Примечания

Первым устанавливается число 2. Оно ни с чем не меняется местами, поэтому затрат нет.

Далее устанавливается число 9. Выбираем правый край и ставим его туда без потерь энергии.

Затем устанавливаем число 1. Выбираем левый край, ставим его туда и снова потерь нет.

Теперь нужно вставить число 5. Если его вставлять с правого края, придется менять местами с 9, а если с левого, то с 1 и 2, что суммарно явно лучше. Итого затраты на вставку 5 равны 3.

Число 6 снова лучше вставить слева, затраты на его вставку равны 8.

Число 4 вставим слева за 3.

Число 3 так же слева за 3.

А вот число 8 лучше вставить справа за 9.

И осталось число 7. Если вставлять слева, то затратим 21, а если справа, то всего 17.

Итого на сортировку заданной перестановки потратили:  $0 + 0 + 0 + 3 + 8 + 3 + 3 + 9 + 17 = 43$ .

### Комментарий

Построим дерево отрезков на сумму, при обработке числа  $a$  будем находить, какая сумма на данный момент меньше: от 1 до  $a - 1$  или от  $a + 1$  до  $n$ . Прибавим ее к ответу и поместим в позицию  $a$  это число  $a$ .

**Решение**

Ниже представлено решение на языке C++.

**C++**

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  const int LG = 19;
5  int N = (1 << LG);
6  vector<int> tr(2 * N, 0);
7  void upd(int pos, int x){
8      pos += N;
9      tr[pos] = x;
10     pos /= 2;
11     while(pos){
12         tr[pos] = {tr[2 * pos]+ tr[2 * pos + 1]};
13         pos /= 2;
14     }
15 }
16 int get(int l, int r){
17     l += N;
18     r += N;
19     int res = 0;
20     while(l <= r){
21         if(l % 2 == 1){
22             res += tr[l];
23         }
24         if(r % 2 == 0){
25             res += tr[r];
26         }
27         l = (l + 1) / 2;
28         r = (r - 1) / 2;
29     }
30     return res;
31 }
32 signed main(){
33     int n, a;
34     cin >> n;
35     int ans = 0;
36     for(int i = 0; i < n; i++){
37         cin >> a;
38         int sl = get(0, a - 1);
39         int sr = get(a + 1, N - 1);
40         ans += min(sl, sr);
41         upd(a, a);
42     }
43     cout << ans << endl;
44 }
```

### 2.4.3. Третья волна. Задачи 8–11 класса

Задачи третьей волны предметного тура по информатике открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/63456/enter/>.

### Задача 2.4.3.1. Туннель (10 баллов)

**Имя входного файла:** стандартный ввод или `input.txt`.

**Имя выходного файла:** стандартный вывод или `output.txt`.

**Ограничение по времени выполнения программы:** 1 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

#### Условие

Рассмотрим классическую задачу прохождения группы с одним фонариком по туннелю. Есть четыре человека, и у них есть один фонарик. Нужно перевести всю группу на другой конец туннеля. По туннелю можно проходить только с фонариком и только либо вдвоем, либо в одиночку. По этой причине придется сделать пять рейсов по туннелю: три рейса туда и два рейса обратно. Туда идут двое, обратно — один, возвращая фонарик еще не прошедшей части группы. У каждого из четырех человек своя скорость передвижения по туннелю, но некоторые скорости могут совпадать. Двое идут со скоростью самого медленного в этой паре. Нужно найти минимальное время, за которое можно перевести группу по туннелю.

Здесь, в зависимости от скоростей персонажей, есть две стратегии. Проиллюстрируем их на примерах.

Пусть есть люди  $A, B, C, D$ . У  $A$  — время прохождения туннеля 1 мин, у  $B$  — 4 мин, у  $C$  — 5 мин, у  $D$  — 10 мин. Здесь работает наиболее очевидная стратегия: самый быстрый переводит текущего и возвращается с фонариком обратно за следующим. При этой стратегии нужно проходить так:

- $A, B$  туда, затрачено 4 мин;
- $A$  обратно, затрачена 1 мин;
- $A, C$  туда, затрачено 5 мин;
- $A$  обратно, затрачена 1 мин;
- $A, D$  туда, затрачено 10 мин.

Общее время  $4 + 1 + 5 + 1 + 10 = 21$  мин.

Но не всегда эта стратегия оптимальна. Уменьшим время прохождения туннеля персонажем  $B$  до 2 мин. По вышеопределенной стратегии будет 19 мин ( $2 + 1 + 5 + 1 + 10 = 19$ ), но имеется более быстрое решение:

- $A, B$  туда, затрачено 2 мин;
- $A$  обратно, затрачена 1 мин;
- $C, D$  туда, затрачено 10 мин;
- $B$  обратно, затрачено 2 мин;
- $A, B$  туда, затрачено 2 мин.

Общее время  $2 + 1 + 10 + 2 + 2 = 17$  мин.

Заметим, что для предыдущего примера такая стратегия не работает:  $4 + 1 + 10 + 4 + 4 = 23$  мин.

Если же персонаж  $B$  проходит туннель за 3 мин (а все остальные так же, как и в примерах), то независимо от стратегии будет затрачено 20 мин. В этом случае



считаем, что работает первая стратегия.

Поразмыслив, станет понятно, от какого условия зависит выбор стратегии. Далее будем всегда считать, что  $A$  движется не медленнее  $B$ ,  $B$  движется не медленнее  $C$ ,  $C$  движется не медленнее  $D$ .

Дано время прохождения туннеля персонажами  $A$ ,  $C$ ,  $D$ . Нужно найти границу **border** для  $B$  такую, что если определить для  $B$  время прохождения строго меньшее, чем **border**, то выгодна вторая стратегия, иначе — первая.

### Формат входных данных

В одной строке задано три целых чисел через пробел — время прохождения туннеля персонажами  $A$ ,  $C$ ,  $D$ . Времена даны по неубыванию. Все числа на входе в пределах от 1 до 100.

### Формат выходных данных

Вывести одно число — границу **border** для  $B$  такую, что если определить время прохождения им туннеля строго меньше, чем **border**, нужно использовать вторую стратегию, иначе — первую. Ответ может быть нецелым, поэтому вывести его нужно с одним знаком после десятичной точки.

### Примеры

#### Пример №1

Стандартный ввод
1 5 10
Стандартный вывод
3

### Решение

Ниже представлено решение на языке C++.

C++

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  signed main(){
5      int A, C, D;
6      cin >> A >> C >> D;
7      cout.precision(1);
8      cout << fixed << (A + C) / 2.0 << endl;
9  }
```

### Задача 2.4.3.2. Математический пазл (15 баллов)

**Имя входного файла:** стандартный ввод или `input.txt`.

**Имя выходного файла:** стандартный вывод или `output.txt`.

**Ограничение по времени выполнения программы:** 1 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

#### Условие

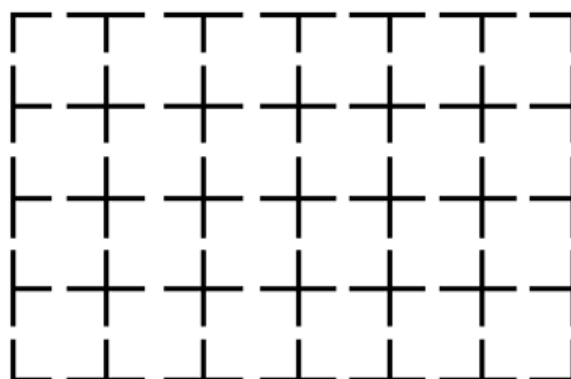


Рис. 2.4.4

Компания по производству пазлов решила освоить принципиально новый тип головоломки. Для этого берется прямоугольная решетка размера  $n \times m$ , каждый ее столбец и строка разрезаются посередине пополам. После этого образуются фигуры трех типов: четыре уголка,  $2 \cdot (n + m - 2)$  т-образных фигур и  $(n - 1) \cdot (m - 1)$  крестиков.

Тому, кто решает головоломку, требуется сложить из этих фигур исходную прямоугольную решетку. При этом необходимо использовать абсолютно все имеющиеся в наличии фигуры.

#### Формат входных данных

В первой строке заданы через пробел два числа  $a$  — количество т-образных фигур и  $b$  — количество крестиков, которые находятся в одном из пазлов. При этом в наборе всегда есть еще четыре уголка. Известно, что этот комплект позволяет собрать прямоугольную решетку размера  $n \times m$ , где  $1 \leq n, m \leq 10^9$ .

#### Формат выходных данных

Требуется по числам  $a$  и  $b$  найти размеры исходной решетки  $n$  и  $m$ . Будем всегда считать, что  $n \leq m$ , то есть нужно вывести в одну строку через пробел два числа, первое из которых не превосходит второго, и вместе они задают размеры загаданной решетки.

## Примеры

### Пример №1

<b>Стандартный ввод</b>
16 15
<b>Стандартный вывод</b>
4 6

### Пример №2

<b>Стандартный ввод</b>
0 0
<b>Стандартный вывод</b>
1 1

## Комментарий

Задачу можно решить либо бинарным поиском, либо при помощи квадратного уравнения.

## Решение

Ниже представлено решение на языке C++ при помощи бинарного поиска.

C++

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  signed main(){
5      int a, b;
6      cin >> a >> b;
7      int L = 0, R = a / 4 + 1;
8      while(R - L > 1){
9          int M = (R + L) / 2;
10         int D = a / 2 - M;
11         if(M * D <= b){
12             L = M;
13         }
14         else{
15             R = M;
16         }
17     }
18     cout << L + 1 << ' ' << a / 2 - L + 1 << endl;
19 }
```

**Задача 2.4.3.3. Восемь пирогов и одна свечка (20 баллов)**

**Имя входного файла:** стандартный ввод или `input.txt`.

**Имя выходного файла:** стандартный вывод или `output.txt`.

**Ограничение по времени выполнения программы:** 1 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

**Условие**

Мечта Карлсона наконец-то сбылась! Мама Малыша испекла восемь пирогов прямоугольной формы и в один из них воткнула свечку. После того как Карлсон съел семь пирогов, он решил-таки поделиться кусочком оставшегося восьмого пирога с Малышом. Но, будучи в хорошем настроении, он вынул из пирога свечу и предложил ему решить задачу.

«Так как я самый щедрый Карлсон в мире, то делить оставшийся пирог будешь ты. Но учти, ты должен разрезать пирог одним прямым разрезом так, чтобы линия прошла через один из углов и точку, где стояла свечка. После этого я выберу себе один из двух кусочков, а оставшийся, так и быть, достанется тебе».

Малыш не против этого замысла, однако считает, что разрезать пирог нужно как можно более справедливо, то есть так, чтобы разница между меньшим и большим кусками была как можно меньше. Подскажите Малышу, какой минимальной разницы между площадями кусков он сможет добиться.

**Формат входных данных**

В первой строке находятся два числа  $n$  и  $m$  через пробел — размеры прямоугольного пирога. Пирог размещен на координатной плоскости так, что его левый нижний угол находится в точке  $(0, 0)$ , а правый верхний — в точке  $(n, m)$ , где  $2 \leq n, m \leq 1000$ .

Во второй строке находятся два числа  $x$  и  $y$  через пробел — координаты свечки, где  $1 \leq x \leq n - 1, 1 \leq y \leq m - 1$ , то есть свечка находится строго внутри пирога.

**Формат выходных данных**

Вывести одно вещественное число с точностью не менее трех знаков после десятичной точки — минимальную разницу между площадями двух получающихся после разрезания кусков, которую сможет получить Малыш.

## Примеры

### Пример №1

<b>Стандартный ввод</b>
8 5 7 2
<b>Стандартный вывод</b>
12.571

### Пример №2

<b>Стандартный ввод</b>
2 2 1 1
<b>Стандартный вывод</b>
0.000

## Примечания

На рис. 2.4.5 представлены четыре варианта разделения пирога для первого примера из условия. Можно видеть, что самый близкий к справедливому способ разделения связан с разрезом из левого верхнего угла. Площадь треугольника в этом случае будет равна  $96/7$ , площадь четырехугольника равна  $184/7$ , и разница равна  $88/7$ , что при округлении до трех знаков равно 12,571.

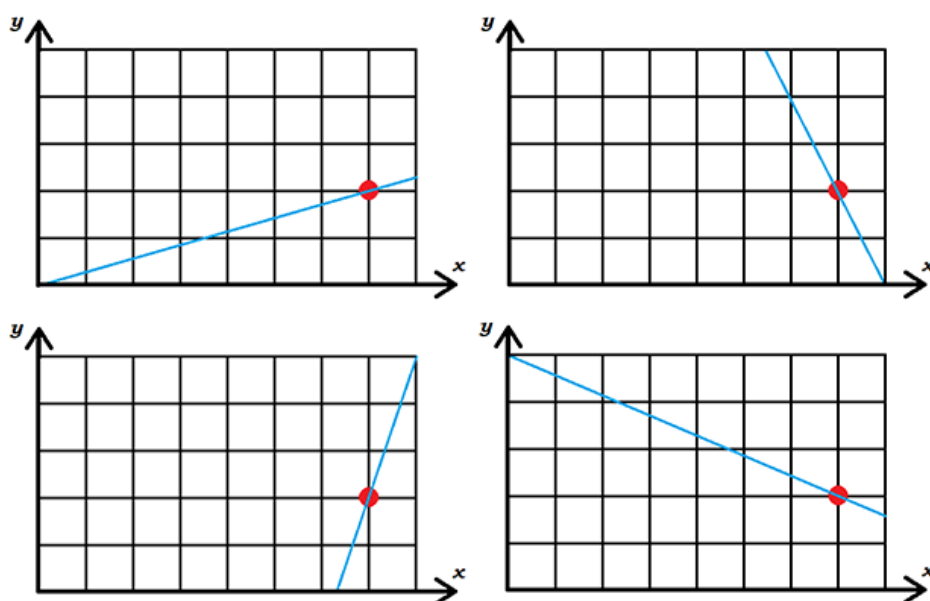


Рис. 2.4.5

## Комментарий

Геометрия: для каждого из четырех случаев аккуратно находим катеты прямоугольного треугольника при помощи пропорции, затем находим площадь этого треугольника и, вычитая из всего прямоугольника эту площадь, находим площадь второго куска. Далее выбираем наиболее оптимальное отношение площадей.

## Решение

Ниже представлено решение на языке C++.

C++

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  const int INF = 1e18;
5  double katy(double x, double y, double n){
6      return n * y / x;
7  }
8  double n, m, x, y;
9  double ans = INF;
10 double k1, k2;
11 void upd(){
12     if(k1 < m){
13         double st = k1 * n / 2;
14         ans = min(ans, n * m - 2 * st);
15     }
16     else{
17         double st = k2 * m / 2;
18         ans = min(ans, n * m - 2 * st);
19     }
20 }
21 signed main(){
22     cin >> n >> m >> x >> y;
23     k1 = katy(x, y, n);
24     k2 = katy(y, x, m);
25     upd();
26     k1 = katy(n - x, y, n);
27     k2 = katy(y, n - x, m);
28     upd();
29     k1 = katy(x, m - y, n);
30     k2 = katy(m - y, x, m);
31     upd();
32     k1 = katy(n - x, m - y, n);
33     k2 = katy(m - y, n - x, m);
34     upd();
35     cout.precision(3);
36     cout << fixed << ans<< endl;
37 }
```

## Задача 2.4.3.4. Плетенка (25 баллов)

Имя входного файла: стандартный ввод или input.txt.

Имя выходного файла: стандартный вывод или output.txt.

Ограничение по времени выполнения программы: 1 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

### **Условие**

У Маши есть  $n$  полосок бумаги.  $i$ -я полоска имеет ширину 1 и длину  $a_i$ . Маша разделит эти полоски на две части и покрасит некоторые в желтый, а оставшиеся — в зеленый цвет. Она сама выберет, какие полоски как покрасить. Далее она хочет из этих полосок сплести максимально большую плетенку. Она расположит полоски одного цвета в некотором порядке горизонтально, а полоски другого цвета в некотором порядке вертикально. После этого она переплетет горизонтальные и вертикальные полоски так, что они будут чередоваться то сверху, то снизу, образуя в местах пересечения шахматную раскраску. Наконец, она обрежет выступающие края полосок так, что останется прямоугольная плетенка с ровными краями. Каждая клетка полученной плетенки должна иметь два слоя.

Маша хочет сплести максимально большую по площади прямоугольную плетенку. Подскажите ей, плетенку какой площади она сможет сделать. Заметим, что она может при создании плетенки использовать не все имеющиеся у нее полоски.

### **Формат входных данных**

В первой строке на вход подается число  $n$  — количество полосок бумаги у Маши, где  $2 \leq n \leq 2 \cdot 10^5$ . Во второй строке через пробел заданы  $n$  целых чисел  $a_i$  через пробел — длины полосок, где  $1 \leq a_i \leq 10^9$ .

### **Формат выходных данных**

Вывести одно число — площадь прямоугольника, форму которого может иметь самая большая плетенка Маши.

### **Примеры**

#### *Пример №1*

<b>Стандартный ввод</b>
8 3 6 5 4 4 5 5 2
<b>Стандартный вывод</b>
12

### **Примечания**

На рис. 2.4.6 представлен один из вариантов получения самой большой плетенки для полосок из примера. Синим обозначена граница полученной максимальной плетенки. Ее размер  $3 \times 4$ , и ее площадь 12. При ее создании Маша не должна использовать полоску номер 8, по этой причине неважно, как она раскрашена.

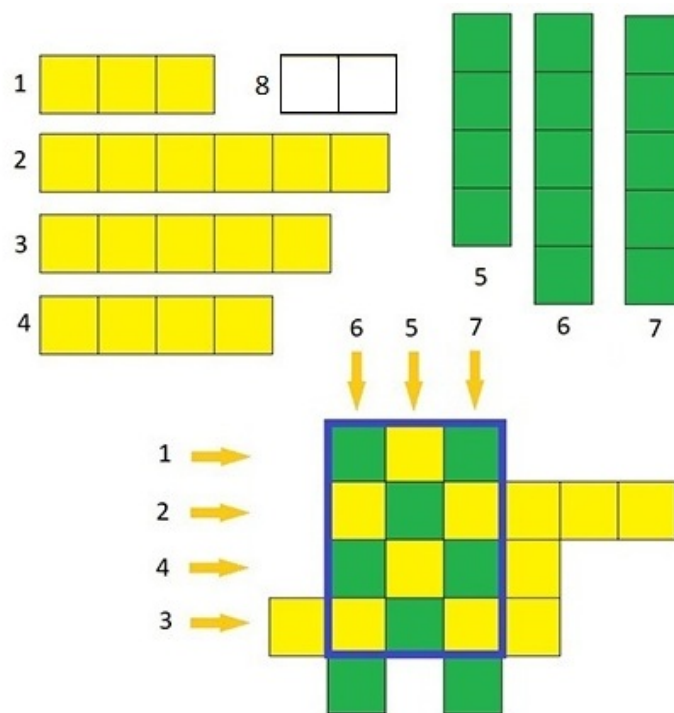


Рис. 2.4.6

**Решение**

Ниже представлено решение на языке C++.

**C++**

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  signed main(){
5      int n;
6      cin >> n;
7      deque<int> v(n);
8      for(int i = 0; i < n; i++){
9          cin >> v[i];
10     }
11     sort(v.begin(), v.end());
12     int ans = 0;
13     int cnth = 0, minh;
14     while(1){
15         if(v.size() == 0){
16             break;
17         }
18         cnth++;
19         minh = v.back();
20         v.pop_back();
21         while(v.size() > 0 && v[0] < cnth){
22             v.pop_front();
23         }
24         ans = max(ans, cnth * min(minh, (int)v.size()));
25     }
26     cout << ans << endl;
27 }
```



### **Задача 2.4.3.5. Английский в игровой форме (30 баллов)**

**Имя входного файла:** стандартный ввод или `input.txt`.

**Имя выходного файла:** стандартный вывод или `output.txt`.

**Ограничение по времени выполнения программы:** 3 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

#### **Условие**

Маша и Витя запоминают слова английского языка в оригинальной игровой форме. За день им нужно выучить  $n$  слов, где  $20 \leq n \leq 100$ , каждое из которых имеет длину от 5 до 8 символов. Маша выбирает из этого набора наугад несколько попарно различных слов (также от 5 до 8) и собирает их в одну строку без пробелов. Далее она переставляет буквы в этой строке так, что слова оказываются полностью перепутанными, и дает эту строку Вите. Теперь Витя должен восстановить все слова, которые выбрала Маша.

Но у Вити плохо получается, а Маша уже забыла, какие слова она выбрала. Нужно им помочь — написать программу, которая восстановит слова, выбранные Машей.

#### **Формат входных данных**

В первой строке находится строка, которую Маша предложила Вите. Во второй строке содержится число  $n$  — количество слов, которые нужно выучить детям,  $20 \leq n \leq 100$ .

В следующих  $n$  строках содержатся эти слова по одному в строке. Все слова в этом наборе различны. Слова отсортированы в лексикографическом (алфавитном) порядке. Все слова состоят из маленьких букв от а до z. Обратите внимание, что в тестах к этой задаче все заданные слова реально существуют в английском языке и случайным образом выбраны из словаря.

Гарантируется, что длина каждого слова из предложенного набора (словаря) в пределах от 5 до 8, строка, которую получила Маша, может быть получена путем перестановки букв некоторых различных слов из предложенного словаря, причем, набор выбранных Машей слов определяется по ней однозначно. Количество слов, из которых составлена Машина строка, находится в пределах от 5 до 8.

#### **Формат выходных данных**

Вывести все слова, выбранные Машей, в алфавитном порядке по одному в строке.

**Примеры****Пример №1**

<b>Стандартный ввод</b>
stirbaexsudueoeidgomttcrnrwlunapntetacwri 24 bridge cranky document drawing farmer fighter figurine gravy havoc minimum reactant reply republic sonata soprano split subset tailor texture tomorrow trout vicinity wrist writer
<b>Стандартный вывод</b>
document drawing republic sonata texture wrist

**Комментарий**

В случае, выделенном в условии (слова являются случайными, взятыми из английского словаря), задача решается рекурсией с перебором вариантов.

**Решение**

Ниже представлено решение на языке C++.

## C++

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  string frs;
5  int n;
6  vector<string> dict;
7  vector<int> msk(26, 0);
8  int cnt = 0;
9  vector<vector<int>> amsk;
10 vector<string> ans;
11 bool bigok = 0;
12 void p(int pos){
13     if(!bigok){
14         if(cnt == 0){
15             sort(ans.begin(), ans.end());
16             bigok = 1;
17             return;
18         }
19         for(int i = pos; i < n; i++){
20             string ts = dict[i];
21             bool ok = 1;
22             for(int j = 0; j < 26; j++){
23                 if(amsk[i][j] > msk[j]){
24                     ok = 0;
25                 }
26             }
27             if(ok){
28                 ans.push_back(ts);
29                 for(int j = 0; j < 26; j++){
30                     msk[j] -= amsk[i][j];
31                     cnt -= amsk[i][j];
32                 }
33                 p(i + 1);
34                 if(!bigok){
35                     for(int j = 0; j < 26; j++){
36                         msk[j] += amsk[i][j];
37                         cnt += amsk[i][j];
38                     }
39                 }
40                 ans.pop_back();
41             }
42         }
43     }
44 }
45 signed main(){
46     cin >> frs;
47     cin >> n;
48     amsk.resize(n, vector<int>(26, 0));
49
50     string ts;
51     for(int i = 0; i < n; i++){
52         cin >> ts;
53         dict.push_back(ts);
54     }
55     for(int i = 0; i < n; i++){
56         for(auto el : dict[i]){
57             amsk[i][el - 'a']++;
58         }
59     }

```

```

60     for(auto el : frs){
61         msk[el - 'a']++;
62         cnt++;
63     }
64     p(0);
65     for(auto el : ans){
66         cout << el << endl;
67     }
68 }

```

## 2.4.4. Четвертая волна. Задачи 8–11 класса

Задачи четвертой волны предметного тура по информатике открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контеcт: <https://contest.yandex.ru/contest/63457/enter/>.

### Задача 2.4.4.1. Квадратный флаг (10 баллов)

**Имя входного файла:** стандартный ввод или `input.txt`.

**Имя выходного файла:** стандартный вывод или `output.txt`.

**Ограничение по времени выполнения программы:** 1 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

#### Условие

Одному портному заказали сделать одноцветный флаг. Особенность этого флага в том, что он должен быть квадратным. У портного есть два прямоугольных куска ткани заданного цвета. Один из них имеет размеры  $a \times b$ , другой —  $c \times d$ . Так как клиент будет платить пропорционально площади изготовленного флага, портной хочет сначала сшить имеющиеся у него прямоугольные куски, соединив их двумя какими-то сторонами, а затем из полученного полотна вырезать и сделать флаг с максимально большой стороной. Определить сторону получившегося у него флага.

#### Формат входных данных

На вход подаются две строки. В первой строке находятся размеры первого прямоугольника — целые числа  $a, b$  через пробел, во второй — размеры второго прямоугольника, также целые числа  $c, d$  через пробел, где  $1 \leq a, b, c, d \leq 10^9$ .

#### Формат выходных данных

Вывести одно число — сторону самого большого квадрата, который можно получить по условию задачи.

**Примеры***Пример №1*

<b>Стандартный ввод</b>
2 4
3 6
<b>Стандартный вывод</b>
4

*Пример №2*

<b>Стандартный ввод</b>
2 2
3 6
<b>Стандартный вывод</b>
3

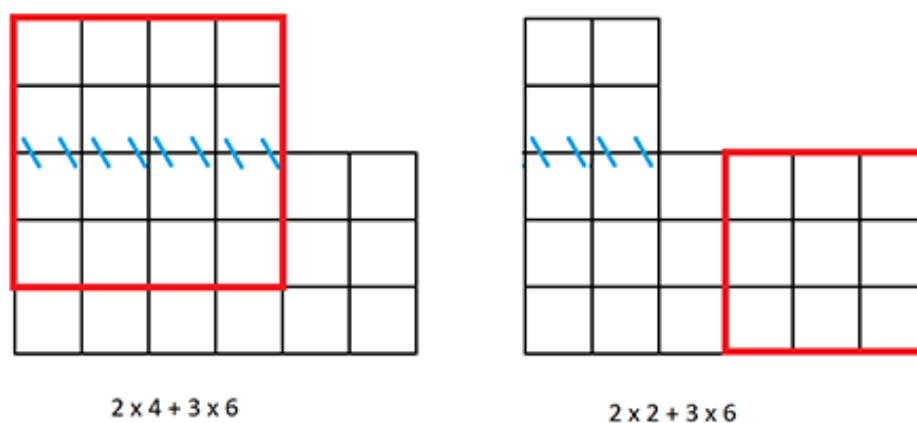
**Примечания**

Рис. 2.4.7

На рис. 2.4.7 представлены иллюстрации для тестов из условия. Синими штрихами обозначено место сшивки двух кусков. Красный квадрат выделяет один из вариантов вырезания максимального квадрата.

**Решение**

Ниже представлено решение на языке C++.

C++

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  signed main(){
5      int a, b, c, d;
6      cin >> a >> b >> c >> d;
7      int ans = max(min(a, b), min(c, d));
8      int p1 = min(a + c, min(b, d));
9      int p2 = min(a + d, min(b, c));
10     int p3 = min(b + c, min(a, d));
11     int p4 = min(b + d, min(a, c));
12     ans = max({ans, p1, p2, p3, p4});
13     cout << ans << endl;
14 }

```

### Задача 2.4.4.2. Потерянная ДНК (15 баллов)

**Имя входного файла:** стандартный ввод или input.txt.

**Имя выходного файла:** стандартный вывод или output.txt.

**Ограничение по времени выполнения программы:** 1 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

#### Условие

В данной задаче будем упрощенно считать, что ДНК представляется строкой длины от 10 до 100, состоящей из букв А, С, G, Т.

Пусть даны две ДНК  $D_1$  и  $D_2$  одной и той же длины  $n$ . Выберем некоторое произвольное число  $i$  от 1 до  $n - 1$  и поменяем местами префиксы (начала) этих ДНК длины  $i$ . Будем говорить, что полученные новые две строки образованы путем скрещивания двух исходных по префиксу длины  $i$ .

Например, пусть  $D_1 = \mathbf{AACGGTAGGT}$ , а  $D_2 = \mathbf{TCCCGGAACA}$ . Выберем  $i = 4$  и поменяем местами префиксы длины 4. Получим две новые ДНК, одна из которых будет иметь вид  $\mathbf{AACGGGAACA}$ , а вторая —  $\mathbf{TCCCGTAGGT}$ . Для наглядности были выделены части первой из них.

Полученные новые ДНК снова могут быть скрещены по любому префиксу длины от 1 до  $n - 1$ .

Теперь можно рассмотреть популяцию из нескольких ДНК. Выберем из них две, произведем их скрещивание по префиксу какой-либо длины и поместим две новые ДНК в исходную популяцию. В данной задаче будем считать, что количество ДНК не увеличивается, то есть старые две ДНК заменяются на новые две ДНК.

Дана исходная популяция из  $m$  ДНК, каждая имеет одну и ту же длину  $n$ . После некоторого количества попарных скрещиваний была получена новая популяция. Но при итоговой обработке данных сведения об одной ДНК из новой популяции были потеряны. Задача состоит в отыскании этой потерянной ДНК по оставшимся  $m - 1$  ДНК из новой популяции.

### Формат входных данных

В первой строке через пробел даны два числа  $n$  — длина ДНК и  $m$  — количество ДНК в исходной популяции, где  $10 \leq n \leq 100$ ,  $2 \leq m \leq 100$ .

В следующих  $m$  строках содержится описание исходной популяции ДНК, каждая задается строкой длины  $n$ , состоящей из символов А, С, G и Т.

Далее следует разделяющая строка, содержащая  $n$  символов «—».

Далее следует еще  $m - 1$  строк, описывающих новую (заключительную) популяцию без одной ДНК.

Гарантируется, что данные верны, то есть  $m - 1$  последняя ДНК является некоторой новой популяцией ровно без одной ДНК, полученной из исходной популяции, заданной в  $m$  первых строках.

### Формат выходных данных

Вывести недостающую утерянную ДНК.

### Примеры

#### Пример №1

Стандартный ввод
10 2
AACGGTAGGT
TCCCGGAACA
-----
TCCCGTAGGT

Стандартный вывод
AACGGGAACA

#### Пример №2

Стандартный ввод
10 4
AACCGGTAA
ACGTACGTAC
AAACCCGGGT
CATTACTGGA
-----
AAGCGCTTAA
CCACACGTGC
AAC TAGGGGT

Стандартный вывод
AATTCCTGAA

## Комментарий

Для каждой позиции нужно найти недостающую букву из первого набора ДНК. Для этого удобнее всего использовать функцию `xor`.

## Решение

Ниже представлено решение на языке C++.

**C++**

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  signed main(){
5      int n, m;
6      cin >> n >> m;
7      vector<string> v1(m);
8      for(int i = 0; i < m; i++){
9          cin >> v1[i];
10     }
11     string d;
12     cin >> d;
13     vector<string> v2(m - 1);
14     for(int i = 0; i < m - 1; i++){
15         cin >> v2[i];
16     }
17     for(int j = 0; j < n; j++){
18         int ss = 0;
19         for(int i = 0; i < m; i++){
20             ss ^= (int)(v1[i][j]);
21         }
22         for(int i = 0; i < m - 1; i++){
23             ss ^= (int)(v2[i][j]);
24         }
25         cout << (char)(ss);
26     }
27     cout << endl;
28 }
```

### Задача 2.4.4.3. Утомленные туристы (20 баллов)

**Имя входного файла:** стандартный ввод или `input.txt`.

**Имя выходного файла:** стандартный вывод или `output.txt`.

**Ограничение по времени выполнения программы:** 1 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

## Условие

Рассмотрим следующий вариант известной задачи на перемещение по туннелю группы из четырех человек. В общем виде она выглядит так: четыре туриста хотят пройти по темному туннелю. Имеется один фонарик. По туннелю можно перемещаться либо вдвоем, либо по одному, при этом у тех, кто движется в туннеле,



должен быть фонарик в руках. По этой причине движение должно быть следующим: двое переходят туда, один возвращается обратно и приносит фонарик тем, кто еще не перешел. После этого указанный маневр повторяется снова.

У каждого участника своя скорость движения в туннеле. Пусть участники проходят туннель за  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  мин. Если идут двое, то они движутся со скоростью того, кто идет медленнее. Требуется по заданным временам прохождения туннеля каждого из участников перевести их максимально быстро через туннель.

Немного усложним данную задачу. Введем фактор усталости. А именно, любой участник, пройдя по туннелю, устает и в следующий раз идет уже медленнее. После каждого прохождения туннеля время прохождения любого участника увеличивается на  $E$  мин. Например, если участник до начала движения проходит туннель за 1 мин, а показатель усталости  $E$  равен 3 мин, то первый раз участник пройдет туннель за 1 мин, второй раз — за 4 мин, третий раз — за 7 мин и т. д.

По заданным  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  и  $E$  узнать, за какое минимальное время можно провести всю группу через туннель согласно указанным правилам.

### **Формат входных данных**

На вход подаются пять чисел. В первой строке через пробел четыре числа  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  — время прохождения туннеля каждым из четырех участников до того, как они начали движение. Во второй строке содержится число  $E$  — величина, на которую увеличивается время прохождения туннеля каждым участником после каждого перемещения. При этом  $1 \leq A, B, C, D \leq 1000$ ,  $0 \leq E \leq 1000$ .

### **Формат выходных данных**

Вывести одно число — минимальное время прохождения туннеля всей группой.

### **Примеры**

#### *Пример №1*

<b>Стандартный ввод</b>
8 9 10 1
3
<b>Стандартный вывод</b>
44

#### *Пример №2*

<b>Стандартный ввод</b>
8 9 10 1
0
<b>Стандартный вывод</b>
29

## Примечания

В первом примере при прохождении туннеля каждый турист устает и движется медленнее на 3 мин. Покажем, как перевести группу при этом за 44 мин.

Каждую ситуацию будем обозначать следующим образом: слева от двоеточия находятся туристы, которые стоят в начале туннеля, а справа — те, что стоят в конце туннеля. Туриста будем обозначать при помощи числа, соответствующего его текущему времени прохождения туннеля.

Тогда исходная ситуация имеет вид 1, 8, 9, 10 :.

Сначала идут туристы 1 и 8, каждый после перехода устает на 3 мин, получим ситуацию 9, 10 : 4, 11, затрачено 8 мин.

Обратно возвращается турист 4, он устает еще на 3 мин. Ситуация становится 7, 9, 10 : 11, затрачено  $8 + 4 = 12$  мин.

Теперь идут туристы 7 и 9, получится ситуация 10 : 10, 11, 12, затрачено  $8 + 4 + 9 = 21$  мин.

Возвращается турист 10, получится 10, 13 : 11, 12, затрачено  $8 + 4 + 9 + 10 = 31$  мин.

Наконец, оставшиеся двое туристов 10 и 13 за 13 мин переходят туннель, итого затрачено  $8 + 4 + 9 + 10 + 13 = 44$  мин.

## Комментарий

Задача решается рекурсивным перебором всех вариантов прохождения.

## Решение

Ниже представлено решение на языке C++.

C++

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  const int INF = 1e18;
5  vector<int> v(4);
6  int e, ans = INF;
7  void p(vector<int> &vl, vector<int> &vr, int tv){
8      if(vl.size() == 2){
9          ans = min(ans, tv + *max_element(vl.begin(), vl.end()));
10         return;
11     }
12     for(int i = 0; i < vl.size() - 1; i++){
13         for(int j = i + 1; j < vl.size(); j++){
14             vector<int> vl1;
15             for(int k = 0; k < vl.size(); k++){
16                 if(k != i && k != j){
17                     vl1.push_back(vl[k]);
18                 }
19             }
20             vector<int> vr1 = vr;
```

```

21         vrl.push_back(vl[i] + e);
22         vrl.push_back(vl[j] + e);
23         int tmp = max(vl[i], vl[j]);
24         sort(vrl.rbegin(), vrl.rend());
25         vl1.push_back(vrl.back() + e);
26         vrl.pop_back();
27         p(vl1, vrl, tv + tmp + vl1.back() - e);
28     }
29 }
30 }
31 signed main(){
32     for(int i = 0; i < 4; i++){
33         cin >> v[i];
34     }
35     sort(v.begin(), v.end());
36     cin >> e;
37     vector<int> vl = v, vr;
38     p(vl, vr, 0);
39     cout << ans;
40 }

```

#### **Задача 2.4.4.4. Проектируем мост (25 баллов)**

**Имя входного файла:** стандартный ввод или `input.txt`.

**Имя выходного файла:** стандартный вывод или `output.txt`.

**Ограничение по времени выполнения программы:** 1 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

#### **Условие**

При постройке моста используются два типа пролетов: П-образные (они прочные, но дорогие) и Т-образные (они дешевле, но менее надежные). Мост должен начинаться и заканчиваться П-образными пролетами. Любой Т-образный пролет должен иметь хотя бы один П-образный пролет в качестве соседнего.

Длина проектируемого моста —  $n$  пролетов. Муниципалитет выделил средства на постройку  $a$  П-образных и  $b$  Т-образных пролетов. При этом  $a + b = n$ . Требуется выяснить, сколькими способами при этих условиях можно скомпоновать мост. Два способа компоновки моста отличаются, если в одной на некоторой позиции стоит П-образный пролет, а в другой на этой же позиции стоит Т-образный пролет.

#### **Формат входных данных**

В одной строке через пробел заданы два числа:  $a$  — число П-образных пролетов и  $b$  — число Т-образных пролетов, на постройку которых выделены средства, где  $2 \leq a \leq 10^6$ ,  $0 \leq b \leq 10^6$ .

## Формат выходных данных

Вывести одно число — количество вариантов компоновки моста. Так как ответ может быть очень большим, требуется вывести остаток от его деления на  $1\,000\,000\,007$  ( $10^9 + 7$ ).

## Примеры

### Пример №1

Стандартный ввод
4 3
Стандартный вывод
7

## Примечания

Для примера из условия имеется 7 вариантов компоновки моста (пробелы добавлены для лучшего восприятия вариантов):

```

П Т Т П Т П П
П Т Т П П Т П
П Т П Т Т П П
П Т П П Т Т П
П П Т П Т Т П
П П Т Т П Т П
П Т П Т П Т П

```

## Комментарий

При заданных ограничениях задача решается только при помощи комбинаторики с вычислениями по модулю.

## Решение

Ниже представлено решение на языке C++.

C++

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  const int INF = 1e18;
5  const int MOD = 1e9 + 7;
6  vector<int> f(2e6 + 1, 1);

```

```

7  int binpow (int a, int n) {
8      int res = 1;
9      while (n > 0) {
10         if (n % 2 == 1)
11             (res *= a) %= MOD;
12         (a *= a) %= MOD;
13         n /= 2;
14     }
15     return res;
16 }
17
18 int bc(int n, int k){
19     int res = f[n];
20     int p1 = binpow(f[k], MOD - 2);
21     int p2 = binpow(f[n - k], MOD - 2);
22     (res *= p1) %= MOD;
23     (res *= p2) %= MOD;
24     return res;
25 }
26 signed main(){
27     for(int i = 1; i <= 2e6; i++){
28         f[i] = (f[i - 1] * i) % MOD;
29     }
30     int a, b;
31     int ans = 0;
32     cin >> a >> b;
33     a--;
34     for(int i = 0; i < a + 1; i++){
35         if(2 * i <= b){
36             int d = bc(a, i);
37             if(b - 2 * i <= a - i){
38                 (d *= bc(a - i, b - 2 * i) ) %= MOD;
39                 (ans += d) %= MOD;
40             }
41         }
42     }
43     cout << ans << endl;
44 }

```

### Задача 2.4.4.5. Джентльмены на прогулке (30 баллов)

**Имя входного файла:** стандартный ввод или input.txt.

**Имя выходного файла:** стандартный вывод или output.txt.

**Ограничение по времени выполнения программы:** 8 с.

**Ограничение по памяти:** 64 Мбайт.

#### Условие

По прямому участку улицы, которую будем считать отрезком  $AB$  длины  $d$ , прогуливаются  $n$  джентльменов.  $i$ -й джентльмен движется со скоростью  $v_i$ . Скорости всех джентльменов попарно различны. Дойдя до любого конца улицы, каждый джентльмен поворачивает и идет в обратную сторону.

При каждой встрече два джентльмена приветствуют друг друга, приподнимая

головной убор. Приветствие происходит и в том случае, когда один джентльмен обгоняет другого. Если два джентльмена встречаются в момент их одновременного поворота, то происходит два приветствия: одно до поворота, другое — после поворота. Если происходит одновременная встреча трех и более джентльменов, то они приветствуют друг друга попарно, то есть каждый каждого. Допустим, если одновременно встретились четыре джентльмена где-то посреди улицы, произойдет шесть попарных приветствий. Если же эти четыре джентльмена встретились в момент их одновременного поворота, произойдет уже двенадцать приветствий.

В этой задаче считаем, что все действия происходят без остановок, то есть и повороты и приветствия происходят мгновенно. Джентльмены одновременно начинают свою прогулку из точки  $A$  в момент  $0$ . В этот момент они уже производят свои первые попарные приветствия, то есть в момент  $0$  уже произведено  $n \cdot (n - 1) / 2$  приветствий. Момент старта не считается моментом поворота, то есть на старте число приветствий не удваивается. Джентльмены гуляют достаточно долго, чтобы произошло любое заданное количество приветствий.

Требуется найти момент, в который было произведено  $k$ -е по порядку приветствие.

### **Формат входных данных**

В первой строке ввода через пробел содержится два целых числа:  $d$  — длина отрезка  $AB$  и  $n$  — количество прогуливающих джентльменов, где  $1 \leq d \leq 200$ ,  $2 \leq n \leq 2000$ .

Во второй строке находятся  $n$  целых чисел  $v_i$  через пробел — скорости каждого джентльмена, где  $1 \leq v_i \leq 2000$ . Гарантируется, что все скорости попарно различны. Скорости даны в порядке возрастания, то есть  $v_1 < v_2 < \dots < v_n$ .

В третьей строке содержится одно целое число  $k$  — номер требуемого приветствия, для которого нужно найти момент, когда оно произойдет, где  $1 \leq k \leq 10^9$ .

### **Формат выходных данных**

Вывести одно вещественное число — время, когда произойдет  $k$ -е по порядку приветствие. Ответ вывести с точностью не менее двух знаков после десятичной точки.

### **Примеры**

#### *Пример №1*

Стандартный ввод
5 4
2 5 8 10
6
Стандартный вывод
0.000

*Пример №2*

<b>Стандартный ввод</b>
5 4 2 5 8 10 7
<b>Стандартный вывод</b>
0.556

*Пример №3*

<b>Стандартный ввод</b>
5 4 2 5 8 10 11
<b>Стандартный вывод</b>
1.000

*Пример №4*

<b>Стандартный ввод</b>
5 4 2 5 8 10 15
<b>Стандартный вывод</b>
1.429

*Пример №5*

<b>Стандартный ввод</b>
5 4 2 5 8 10 17
<b>Стандартный вывод</b>
1.667

*Пример №6*

<b>Стандартный ввод</b>
5 4 2 5 8 10 19
<b>Стандартный вывод</b>
1.667

## Пример №7

Стандартный ввод
5 4 2 5 8 10 21
Стандартный вывод
2.000

## Примечания

На рис. 2.4.8 приведено положение джентльменов из примеров в моменты времени 0, 1 и 2. Джентльмены обозначены своими скоростями. Стрелками обозначены направления их движения в соответствующий момент. Перечислим и пронумеруем в порядке возрастания моменты попарных приветствий этих джентльменов до момента времени 2 включительно. Если два и более приветствия происходят одновременно, неважно какое из них конкретно имеет номер  $k$ , главное, что они происходят в один и тот же определенный момент времени.

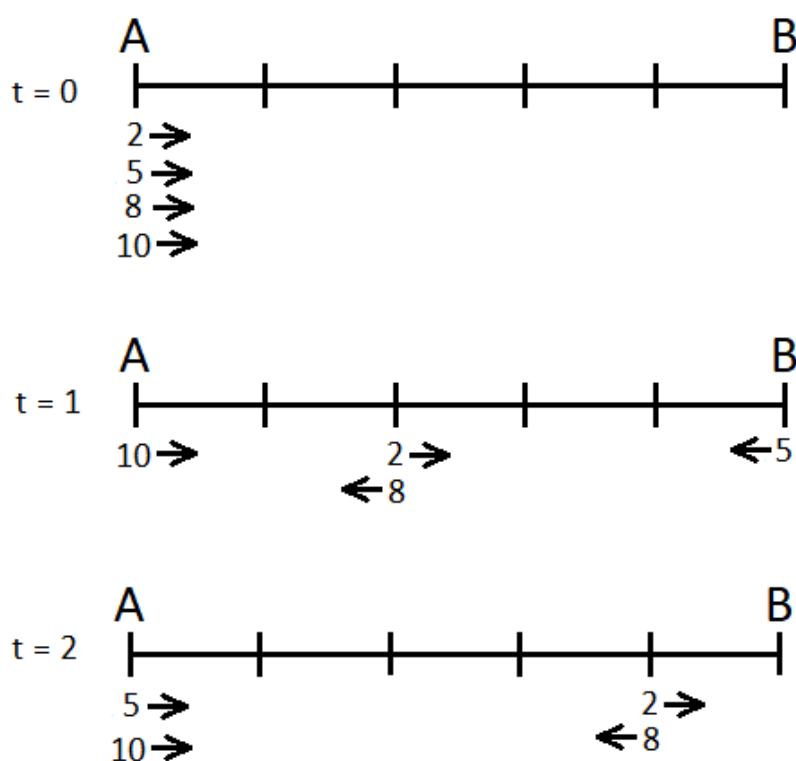


Рис. 2.4.8

1. 2 и 5 приветствуют друг друга в момент 0 (изображено на рис. 2.4.8).
2. 2 и 8 приветствуют друг друга в момент 0 (изображено на рис. 2.4.8).
3. 2 и 10 приветствуют друг друга в момент 0 (изображено на рис. 2.4.8).
4. 5 и 8 приветствуют друг друга в момент 0 (изображено на рис. 2.4.8).
5. 5 и 10 приветствуют друг друга в момент 0 (изображено на рис. 2.4.8).



6. 8 и 10 приветствуют друг друга в момент 0 (изображено на рис. 2.4.8).
7. 8 и 10 приветствуют друг друга в момент 0.556.
8. 5 и 10 приветствуют друг друга в момент 0.667.
9. 5 и 8 приветствуют друг друга в момент 0.769.
10. 2 и 10 приветствуют друг друга в момент 0.833.
11. 2 и 8 приветствуют друг друга в момент 1.000 (изображено на рис. 2.4.8).
12. 8 и 10 приветствуют друг друга в момент 1.111.
13. 2 и 10 приветствуют друг друга в момент 1.250.
14. 5 и 10 приветствуют друг друга в момент 1.333.
15. 2 и 5 приветствуют друг друга в момент 1.429.
16. 5 и 8 приветствуют друг друга в момент 1.538.
17. 2 и 8 приветствуют друг друга в момент 1.667.
18. 2 и 10 приветствуют друг друга в момент 1.667.
19. 8 и 10 приветствуют друг друга в момент 1.667 (в момент 1.667 встретятся одновременно три джентльмена 2, 8 и 10).
20. 2 и 8 приветствуют друг друга в момент 2.000 (изображено на рис. 2.4.8).
21. 5 и 10 приветствуют друг друга в момент 2.000 (до поворота).
22. 5 и 10 приветствуют друг друга в момент 2.000 (после поворота, изображено на рис. 2.4.8).

### Комментарий

Задача решается при помощи бинарного поиска с квадратичным нахождением ответа в каждой его итерации.

### Решение

Ниже представлено решение на языке C++.

C++

```

1  #include<bits/stdc++.h>
2  #define int long long
3  using namespace std;
4  const double EPS = 1e-7;
5  double x(double M, int V, int d){
6      double dst = V * M;
7      int cnt = floor((dst + EPS) / d);
8      double pin = dst - cnt * d;
9      if(cnt % 2 == 0){
10         return pin;
11     }
12     else{
13         return d - pin;
14     }
15 }
16 int F(double M, vector<int> &v, int d){
17     int res = 0;
18     for(int i = 0; i < v.size(); i++){
19         double dst = v[i] * M;
```

```

20     int cnt = floor((dst + EPS) / d);
21     res += cnt * i;
22     double tx = x(M, v[i], d);
23     for(int j = 0; j < i; j++){
24         double txj = x(M, v[j], d);
25         if(cnt % 2 == 0){
26             res += txj <= tx + EPS;
27         }
28         else{
29             res += txj >= tx - EPS;
30         }
31     }
32 }
33 return res;
34 }
35 signed main(){
36     int d, n;
37     cin >> d >> n;
38     vector<int> v(n);
39     for(int i = 0; i < n; i++){
40         cin >> v[i];
41     }
42     int k;
43     cin >> k;
44     double L = 0, R = 1;
45     while(F(R, v, d) <= k){
46         R *= 2;
47     }
48     R /= 2;
49     while(R - L > 1e-4){
50         double M = (R + L) / 2.0;
51         if(F(M, v, d) < k){
52             L = M;
53         }
54         else{
55             R = M;
56         }
57     }
58     cout.precision(10);
59     cout << fixed << L << endl;
60 }

```

## 2.5. Инженерный тур

Задачи первого этапа инженерного тура открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/66691/enter/>.

### **Задача 2.5.1. Полимеразная цепная реакция (10 баллов)**

Тема: ПЦР.

#### **Условие**

Количество молекул двуцепочечной ДНК, которые образуются в результате полимеразной цепной реакции ( $N$ ), описывается формулой, в которой  $m$  — исходное число молекул матрицы ДНК, а  $n$  — количество циклов ПЦР:

$$N = m \times 2^n. \quad (2.5.1)$$

**Задача.** Определите, сколько копий ДНК будет получено к концу 10-го цикла ПЦР, если в качестве матрицы использовали 2024 молекулы ДНК. В ответ запишите число.

#### **Решение**

Вычислить, используя формулу (2.5.1).

**Ответ:** 2072576.

### **Задача 2.5.2. Принцип комплементарности 1 (10 баллов)**

Темы: ПЦР, Ugene.

#### **Условие**

Для определения последовательности ДНК гена GAPDH (идентификатор в NCBI — NG\_007073.2) в образце используют пару праймеров:

- прямой — 5'-TTGGCTACAGCAACAGGGTG-3';
- обратный — 5'-GGGGAGATTTCAGTGTGGTGG-3'.

Используя инструмент ПЦР **in silico** программы UGENE (<http://ugene.net/ru/>), определите длину фрагмента ДНК, который образуется в результате ПЦР с использованием данной пары праймеров.

**Задача.** Введите длину продукта ПЦР (без обозначений).

**Решение**

Ввести последовательности праймеров в поля инструмента **in silico** UGENE.

**Ответ:** 161.

**Задача 2.5.3. Расположение праймеров на гене (10 баллов)**

Темы: ПЦР, NCBI.

**Условие**

Изучите страницу гена GAPDH [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NG\\_007073.2?report=genbank&from=5027&to=8881](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NG_007073.2?report=genbank&from=5027&to=8881) (pdf-версия <https://disk.yandex.ru/i/I2ZmCkTplQQFNQ>).

Определите, фрагмент какого экзона амплифицируется с использованием пары праймеров из предыдущей задачи.

**Задача.** Выберите ответ, соответствующий номеру экзона в гене GAPDH (NG\_007073.2), на который отжигаются праймеры.

**Решение**

Используя последовательность гена в формате FASTA и инструмент **in silico** UGENE, определить, на каких нуклеотидах картируется праймер, определить номер экзона на странице гена в NCBI.

**Ответ:** 9.

**Задача 2.5.4. Принцип комплементарности 2 (10 баллов)**

Тема: ПЦР.

**Условие**

Определите, сколько водородных связей с матрицей ДНК образует праймер 5'-А АГССТАГАССТТСАГСГТС-3'.

**Задача.** Введите число водородных связей.

**Решение**

А, Т — 2 связи, G, C — 3 связи.

**Ответ:** 51.

**Задача 2.5.5. Работа в NCBI 1 (10 баллов)**

Тема: NCBI.

**Условие**

Изучите страницу мРНК гена GAPDH [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NM\\_001256799.3?report=genbank](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NM_001256799.3?report=genbank) (pdf-версия [https://disk.yandex.ru/i/mI\\_BHo2SmoSUHA](https://disk.yandex.ru/i/mI_BHo2SmoSUHA)).

С помощью инструмента **CDS** определите, с какого нуклеотида данной последовательности начинается стартовый кодон AUG.

**Задача.** Введите положение нуклеотида А в транскрипте NM\_001256799.3, который соответствует стартовому кодону AUG.

**Решение**

Использовать инструмент **CDS**, по последовательности нуклеотидов вычислить положение А в кодоне AUG.

**Ответ:** 304.

**Задача 2.5.6. Работа в NCBI.2 (10 баллов)**

Тема: NCBI.

**Условие**

Изучите страницу гена GAPDH [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucleotide/NG\\_007073.2?report=genbank&from=5027&to=8881](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucleotide/NG_007073.2?report=genbank&from=5027&to=8881) (pdf-версия <https://disk.yandex.ru/i/I2ZmCkTPlQQFNQ>).

Определите, сколько экзонов содержит данный ген.

**Задача.** Выберите ответ, соответствующий числу экзонов в гене GAPDH (NG\_007073.2).

**Решение**

Изучить описание гена, найти последовательности экзонов.

**Ответ:** 9.

**Задача 2.5.7. Работа в NCBI 3 (10 баллов)**

Тема: NCBI.

**Условие**

Изучите страницу гена GAPDH [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucleotide/NG\\_007073.2?report=genbank&from=5027&to=8881](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucleotide/NG_007073.2?report=genbank&from=5027&to=8881) (pdf-версия <https://disk.yandex.ru/i/I2ZmCkTplQQFNQ>).

Определите, на какой хромосоме человека находится данный ген.

**Задача.** Выберите ответ, соответствующий номеру хромосомы человека, на которой расположен ген GAPDH.

**Решение**

Ген находится на 12-й хромосоме.

**Ответ:** 12.

**Задача 2.5.8. Разведение буферных растворов (10 баллов)**

Тема: расчеты.

**Условие**

Концентрацию компонентов в растворе обозначают различными способами. Широко используют количественные характеристики, например, граммы на моль (г/моль), моль на литр (моль/л, М), проценты и другие.

Например, при приготовлении растворов для нанесения образцов на гель или при расчете компонентов смеси для ферментативных реакций часто используют кратные растворы (2х, 4х, 5х, 10х). Например, для приготовления 100 мл однократного водного раствора (1х), нужно взять 50 мл двукратного раствора (2х) и добавить 50 мл дистиллированной воды.

**Задача.** Сколько десятикратного (10х) буферного раствора для проведения ферментативной реакции необходимо добавить к 45 мкл реакционной смеси для достижения однократной (1х) концентрации буферного раствора? Ответ введите в виде натурального целого числа без «мкл».

**Решение**

Для разведения в 10 раз нужно к 9 частям реакционной смеси добавить 1 часть раствора.  $45/9 = 5$  мкл раствора.

**Ответ:** 5.

**Задача 2.5.9. Анализ результатов секвенирования по Сэнгеру (10 баллов)**

Тема: Сэнгер.

**Условие**

Результаты секвенирования ДНК по Сэнгеру можно представить в виде «секвенограммы», пики которой соответствуют последовательности нуклеотидов в анализируемой молекуле (рис. 2.5.1).

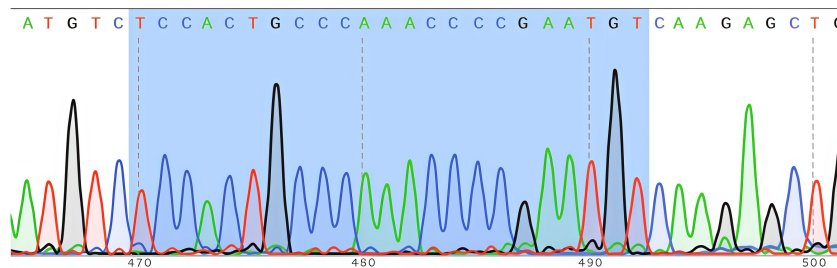


Рис. 2.5.1

**Задача.** Определите, к какому типу относится отсеквенированная последовательность:

- A. 16S рибосомная РНК;
- B. 18S рибосомная РНК;
- C. тРНК;
- D. 5.8S рибосомная РНК.

**Решение**

Последовательность относится к фрагменту 16S рибосомной РНК.

**Ответ:** А.

**Задача 2.5.10. Этапы ПЦР (10 баллов)**

Тема: ПЦР.

**Условие**

Цель ПЦР — получить множество одинаковых двухцепочечных кусочков ДНК строго определенной длины (обычно не более 2–3 тысяч пар нуклеотидов, т. п. н.). Для этого проводят 20–30 циклов реакции. Каждый цикл состоит из трех этапов.

**Задача.** Соотнесите температуру этапа и описание процесса, протекающего при этой температуре.

Температура:

- 1. 94–98 °С;
- 2. 72 °С;
- 3. 40–72 °С.

Описание процесса:

- А. комплементарное связывание праймеров с нужными участками матричной ДНК;
- В. расхождение цепей матричной ДНК;
- С. taq-полимераза присоединяется к комплексу праймер-матрица и достраивает комплементарную цепь.

**Решение**

В соответствии с процессами, протекающими во время ПЦР, сопоставить с значениями температуры, при которых они протекают. Пример статьи, которую можно использовать для решения: <https://biomolecula.ru/articles/metody-v-kartinkakh-polimeraznaia-tsepnaia-reaktsiia> (или pdf-версия <https://disk.yandex.ru/i/HrxdRBYEyxqig>).

**Ответ:** 1 — В, 2 — С, 3 — А.



## 3. Второй отборочный этап

### 3.1. Работа наставника НТО на этапе

На втором отборочном этапе НТО участникам предстоит решать как индивидуальные, так и командные задачи в рамках выбранного профиля. Подготовка к этому этапу требует от них не только глубокого понимания предметной области, но и умения работать в команде, эффективно распределять роли и применять полученные знания на практике. Наставник играет здесь важную роль — он помогает участникам выстроить осмысленную и целенаправленную траекторию подготовки.

Вот основные направления, в которых наставник может поддержать участника:

- **Подготовка по образовательным программам НТО.** Наставник может готовить участников, используя готовые образовательные программы по технологическим направлениям, рекомендованные организаторами, а также адаптировать их под уровень подготовки школьников.
- **Разбор заданий прошлых лет.** Изучение задач второго отборочного этапа прошлых лет помогает участникам понять формат заданий, определить типовые ошибки и выработать стратегии решения.
- **Онлайн-курсы.** Участники могут пройти курсы по разбору задач прошлых лет или курсы, рекомендованные разработчиками отдельных профилей. Наставник может включить эти курсы в план подготовки, а также сопровождать процесс изучения и помогать с возникшими вопросами.
- **Анализ материалов профиля.** Совместный разбор методических материалов, размещенных на страницах профилей, помогает уточнить требования к участникам и направить подготовку на ключевые темы.
- **Практикумы.** Это важный элемент подготовки, позволяющий применять знания на практике. Наставник может:
  - ◇ организовать практикумы по методическим материалам с сайта профиля;
  - ◇ декомпозировать задачи заключительного этапа прошлых лет на отдельные элементы и проработать их с участниками;
  - ◇ провести анализ требуемых профессиональных компетенций и спланировать занятия для развития наиболее значимых из них;
  - ◇ направить участников на практикумы и мероприятия от организаторов, которые анонсируются в официальных сообществах НТО, например, в телеграм-канале для наставников: [https://t.me/kruzhok\\_association](https://t.me/kruzhok_association).
- **Командная работа.** Одной из ключевых задач наставника на втором этапе является помощь в формировании команды или в поиске подходящей. Наставник может помочь участникам определить их сильные стороны, выбрать роль в команде и сориентироваться в процессе командообразования, включая участие в бирже команд в рамках конкретного профиля.

### ***Если участники не прошли отборочный этап***

Случается, что несмотря на усилия и серьезную подготовку, участники не проходят во второй или заключительный этап Олимпиады. В такой ситуации особенно важна поддержка наставника.

- **Поддержка и признание усилий.** Наставнику важно подчеркнуть ценность пройденного пути: полученные знания, навыки, преодоленные трудности и личностный рост. Это помогает участникам сохранить мотивацию и не воспринимать результат как окончательное поражение.
- **Рефлексия.** Полезно организовать встречу для обсуждения впечатления от участия, трудности, с которыми столкнулись школьники и то, что они узнали о себе и команде. Наставник может направить разговор в конструктивное русло: какие выводы можно сделать? Что сработало хорошо? Что можно улучшить?
- **Анализ ошибок и пробелов.** Наставник вместе с участниками анализирует, какие темы вызвали наибольшие затруднения, чего не хватило в подготовке — теоретических знаний, практических навыков, командного взаимодействия. Это позволяет выстроить более эффективную стратегию на будущее.
- **Планирование дальнейшего пути.** Участникам можно предложить:
  - ◇ продолжить углубленное изучение профиля или смежных направлений;
  - ◇ заняться проектной деятельностью, которая укрепит знания и навыки;
  - ◇ сформировать план по подготовке к следующему циклу НТО, начиная с работы над типовыми заданиями и курсами.
- **Создание устойчивой мотивации.** Важно показать школьникам, что участие в НТО — это не просто соревнование, а часть большого образовательного маршрута. Даже неудачный результат может стать толчком к профессиональному росту, если воспринимать его как точку развития, а не как конец пути.

Таким образом, наставник помогает участникам не только готовиться к этапам НТО, но и справляться с неудачами, выстраивать долгосрочную стратегию и сохранять интерес к инженерному и технологическому творчеству.

## 3.2. Инженерный тур

Пандемия коронавирусной инфекции стала трудным испытанием для системы здравоохранения. Компании рынка «Хелснет» НТИ внесли значительный вклад в решение задач по ПЦР- и ИФА-диагностике коронавирусной инфекции, разработке новых вакцин. Большую роль в этом сыграли не только специалисты, работающие в молекулярно-биологических лабораториях, но и биоинформатики.

Сквозная технология Национальной технологической инициативы (НТИ) **«Управление свойствами биологических объектов»** основана на достижениях инженерной биологии: генетической инженерии, биотехнологии, молекулярной биологии, биохимии и многих других. Актуальность исследований в области разработки новых инструментов генетической инженерии и геномного редактирования сегодня не вызывает сомнений. Большая часть новых продуктов фармацевтической индустрии, биотехнологий и других отраслей основана на использовании инструментов, созданных в конце XX века (**генетическая инженерия**), сегодня активно разрабатывают и другие подходы, среди которых особое место занимает **синтетическая биология** и технология **геномного редактирования**.

### 3.2.1. Задания для 8–9 классов

#### *Первый блок задач*

Командные задачи первого блока для 8–9 классов открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/69915/enter/>.

#### **Задача 3.2.1.1. Я в матрице (2 балла)**

*Темы: молекулярная биология, цитология, строение клеток.*

#### **Условие**

В живой клетке одновременно происходят различные биохимические процессы — от дыхания до пищеварения.



Рис. 3.2.1

Какие процессы в клетке относят к матричным?

Выберите верные варианты ответа:

- А. Фотосинтез.
- В. Репликация ДНК.
- С. Обратная транскрипция.
- Д. Кроссинговер.
- Е. Сплайсинг.

**Ответ:** В, С.

### **Задача 3.2.1.2. Ошибки — лучшие учителя (2 балла)**

*Темы: молекулярная биология, физиология.*

#### **Условие**

В 1959 году Артуру Корнбергу была присуждена Нобелевская премия по физиологии и медицине «за открытие механизма биологического синтеза рибонуклеиновой и дезоксирибонуклеиновой кислот». Работая с командой в Вашингтоне, Корнберг искал ферменты, которые собирают нуклеотиды в РНК или ДНК. Спустя некоторое время ученому удалось успешно построить ДНК по матрице ДНК при помощи ДНК-полимеразы и описать ее.



Рис. 3.2.2

Какую ошибку совершил А. Корнберг, описавший ДНК-полимеразу?

Выберите верные варианты ответа:

- А. Артур Корнберг открыл лишь одну ДНК-полимеразу из трех (пяти), которая есть у *E. coli*.

- В. Открытая ДНК-полимераза I не работает в качестве репликативной.
- С. Артур Корнберг не учел, что для активности ДНК-полимеразе требуется  $Mg^{2+}$ .
- Д. Субстрат, используемый Артуром Корнбергом, не является физиологическим.
- Е. Репликация происходит полунепрерывно, а не непрерывно, как в модели А. Корнберга.

**Ответ:** А, В.

### **Задача 3.2.1.3. Проблемы с репликацией (2 балла)**

Тема: молекулярная биология.

#### **Условие**

Долгое время ученые, изучавшие репликацию ДНК, не могли понять, каким образом обе цепи ДНК могут реплицироваться одновременно. Ведь они антипараллельны, а ДНК-полимераза может присоединять нуклеотиды только к 3'-концу, значит, она может удлинять только одну из двух растущих цепей!

На этот вопрос смог ответить Рейджи Оказаки, который провел ряд экспериментов и выяснил, что при репликации у бактерий большая часть новообразованной ДНК обнаруживается в форме небольших кусков, названных фрагментами Оказаки.

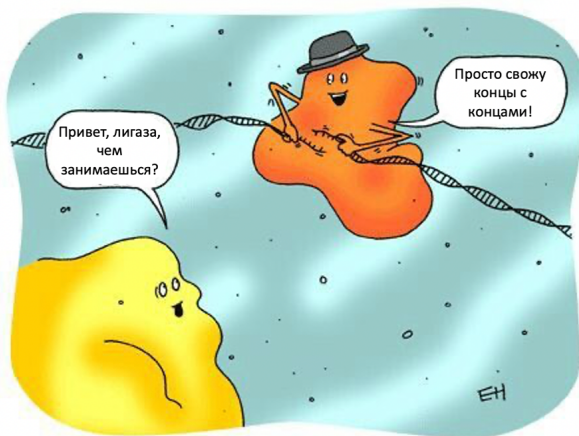


Рис. 3.2.3

Какие суждения верны для фрагментов Оказаки?

Выберите верные варианты ответа:

- А. Фрагменты Оказаки эукариот длиннее, чем у прокариот.
- В. Фрагменты Оказаки эукариот короче, чем у прокариот.
- С. Длина фрагмента Оказаки постоянна у всех живых организмов.
- Д. Длина фрагмента Оказаки зависит от скорости синтеза ДНК-полимеразой.
- Е. Фрагменты Оказаки в отстающей цепи длиннее, чем в лидирующей цепи.

**Ответ:** В, Д.

### **Задача 3.2.1.4. Кручу, верчу, запутать хочу (2 балла)**

Темы: молекулярная биология, работа в лаборатории.

#### **Условие**

В лаборатории для многих целей используются центрифуги или микроспины (microspin). Принцип их действия основан на центробежной силе, что позволяет осаждать раствор в пробирке или разделять компоненты раствора по массе (например, клетки от среды для культивирования). Для того чтобы эти приборы работали исправно, при расстановке пробирок нужно следить за тем, чтобы они были в равновесии.

На рис. 3.2.4 изображен полностью загруженный микроспин на 12 положений.



Рис. 3.2.4

Необходимо разместить в этом приборе три пробирки одинаковой массы таким образом, чтобы он находился в равновесии. Выберите из предложенных вариантов номера положений, в которых можно разместить пробирки без угрозы. Для удобства будем вести отсчет положений от помеченного стрелкой и по часовой стрелке.

- A. 1, 5, 9.
- B. 1, 7, 10.
- C. 4, 12, 8.
- D. 9, 7, 11.
- E. 2, 8, 5.

#### **Решение**

Необходимо из предложенных вариантов выбрать те, где цифрами обозначены положения, которые являются вершинами правильного треугольника. Это нужно для сохранения равновесия прибора.

**Ответ:** А, С.

### **Задача 3.2.1.5. Шагая по лестнице (2 балла)**

Темы: молекулярная биология, обработка экспериментальных данных, метод Сэнгера.

### Условие

Одним из самых популярных и используемых методов секвенирования ДНК долгое время был метод Сэнгера, за который в 1980 году была присуждена Нобелевская премия. Этот метод позволяет считывать последовательности до 1 000 пар нуклеотидов и потому активно используется для секвенирования и по сей день, например, отдельных участков генома для анализа мутаций.

При проведении секвенирования по Сэнгеру реакционную смесь разделяют методом капиллярного гель-электрофореза. На рис. 3.2.5 приведена «секвенирующая лестница», по которой можно определить последовательность ДНК.



Рис. 3.2.5

Определите по результату секвенирования на рис. 3.2.5 последовательность цепи. В ответ запишите последовательность, комплементарную данной в направлении  $3' \rightarrow 5'$ .

### Решение

Идя снизу вверх по рисунку, определить по бэндам последовательность ДНК.

### Список литературы

- <https://biomolecula.ru/articles/metody-v-kartinkakh-sekvenirovanie-nukleinovyx-kislot> (pdf-версия веб-страницы <https://disk.yandex.ru/i/-27yN3oOeu5aFw>).

**Ответ:** TAACGAATGCATGCAATCAGCATGT.

### Задача 3.2.1.6. Тайный код (2 балла)

Темы: молекулярная биология, репликация, биоинформатика, анализ последовательности.

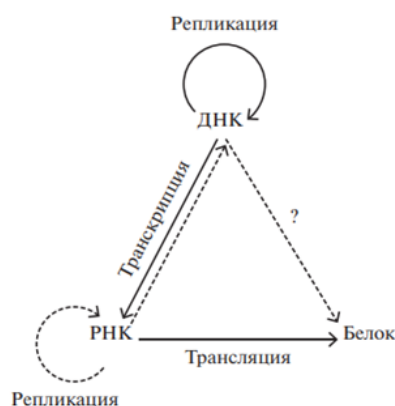
**Условие**

Рис. 3.2.6

В 1958 году Фрэнсис Крик выдвинул правило, которое к 1970-му году стало центральной догмой молекулярной биологии.

Переход генетической информации последовательно от ДНК к РНК и затем от РНК к белку является универсальным для всех без исключения клеточных организмов, лежит в основе биосинтеза макромолекул. Репликации генома соответствует информационный переход ДНК → ДНК или РНК → РНК.

Как известно, гены кодируются в направлении  $5' \rightarrow 3'$  нуклеотидной последовательности и ограничиваются старт- и стоп-кодонами по краям. Открытая рамка считывания (англ. Open Reading Frame, ORF) представляет собой последовательность нуклеотидов в составе ДНК или РНК, потенциально способную кодировать белок. ORF начинается старт-кодоном — самым первым триплетом, с которого запускается трансляция, и заканчивается последним триплетом перед стоп-кодоном, который не входит в состав ORF.

В представленной ниже нуклеотидной последовательности найдите возможные варианты ORF и транслируйте их, используя правила генетического кода.

5'-TAAACTCCGATATTACATCAGTACATACTCCCCAGCCCCACGCAAACCCGG  
AGGTACCTGAAGCCAGCAGCCATAATTGCCGAAGCTACTTCTATCCGTTGGGGG  
AACGGCCGTAGCTACTGCGATGCACGAGATTTTATAAATGCATTATGATCGAGC  
ATAAATGATATAAATGGCGATGTAAATGTGGATCAATAACGAGCGCTAA-3'

В ответе последовательно приведете аминокислотные последовательности в верхнем регистре, разделив их дефисом и опустив старт-кодоны. Открытыми рамками считывания на обратной цепи следует пренебречь.

Пример ответа: TNW-AGPC-FlAM.

**Решение**

Используя программу UGENE, найти все ORF и с помощью таблицы генетического кода определить аминокислотную последовательность.



### Список литературы

- Генетический код — статья из Википедии [https://ru.wikipedia.org/wiki/Генетический\\_код](https://ru.wikipedia.org/wiki/Генетический_код).
- Открытая рамка считывания — статья из Википедии [https://ru.wikipedia.org/wiki/Открытая\\_рамка\\_считывания](https://ru.wikipedia.org/wiki/Открытая_рамка_считывания).
- Предлагаемый софт для решения задачи — UGENE <http://ugene.net/ru/>.

**Ответ:** HEIL-HYDRA-I-AM-A-WINNER.

### Задача 3.2.1.7. NCBI: ген RAD51 (1 балл)

*Темы: работа с базами данных, биоинформатика.*

#### Условие

Белок Rad51, продукт гена RAD51 человека (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/5888>), принимает участие в репарации двуцепочечных разрывов в ДНК.

Изучите информацию о данном белке в базе данных NCBI, определите, на какой хромосоме человека находится этот ген. Введите номер хромосомы.

**Ответ:** 15.

### Задача 3.2.1.8. NCBI: мРНК RAD51 (2 балла)

*Темы: работа с базами данных, биоинформатика.*

#### Условие

Белок Rad51, продукт гена RAD51 человека, принимает участие в репарации двуцепочечных разрывов в ДНК по пути гомологичной рекомбинации. Повышенный уровень экспрессии данного гена увеличивает эффективность геномного редактирования.

Изучите информацию о мРНК данного гена в базе данных NCBI ([https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NM\\_001164269.2](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NM_001164269.2)), определите, сколько остатков аминокислот кодирует основная открытая рамка считывания (CDS). Введите число остатков аминокислот.

**Ответ:** 340.

### Второй блок задач

Командные задачи второго блока для 8–9 классов открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/70124/enter/>.

### **Задача 3.2.1.9. Терминаторы (2 балла)**

Темы: молекулярная биология, метод Сэнгера.

#### **Условие**

Метод секвенирования, придуманный Сэнгером, не сразу был удобен для использования. Первоначально был разработан «плюс-минус» метод секвенирования, который состоял из двух этапов: на первом этапе проводили четыре реакции ПЦР в присутствии разных дезоксинуклеозидтрифосфатов с радиоактивной меткой и четыре реакции ПЦР в отсутствии каждого из них, после чего проводили очистку.



Рис. 3.2.7

Для сокращения числа манипуляций и оптимизации процесса через несколько лет Сэнгер предложил другой способ — метод «терминаторов». Он изменил реакционную смесь так, что вместо восьми реакций необходимо было всего четыре.

Что содержится в реакционной смеси для каждой из четырех реакций для метода «терминаторов»?

- A. ДНК-полимераза.
- B. Смесь дидезоксинуклеозидтрифосфатов (ddNTP).
- C. Один из дидезоксинуклеозидтрифосфатов (ddATP, ddTTP, ddCTP или ddGTP).
- D. Праймеры.
- E. Смесь меченых  $^{32}\text{P}$  дезоксинуклеотидов (dNTPs).
- F. Один меченый  $^{32}\text{P}$  по  $\alpha$ -положению дезоксинуклеотид (dATP, dTTP, dCTP или dGTP).
- G. Смесь дезоксинуклеотидов (dNTPs).
- H. ДНК-матрица.

**Ответ:** A, C, D, F, G, H.

### **Задача 3.2.1.10. Камень, ножницы, бумага (2 балла)**

Темы: биоинформатика, UGENE.

### Условие

Рестрикционный анализ плазмид позволяет определить различные параметры плазмиды — ее истинную длину, наличие вставки или мутации и т. д. Рестрикционный анализ — метод определения сайтов узнавания эндонуклеаз рестрикции в ДНК.

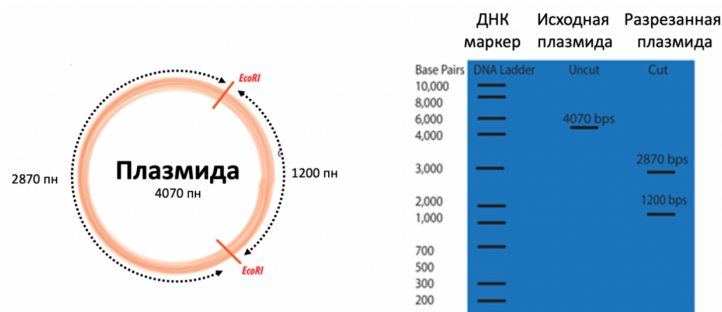


Рис. 3.2.8

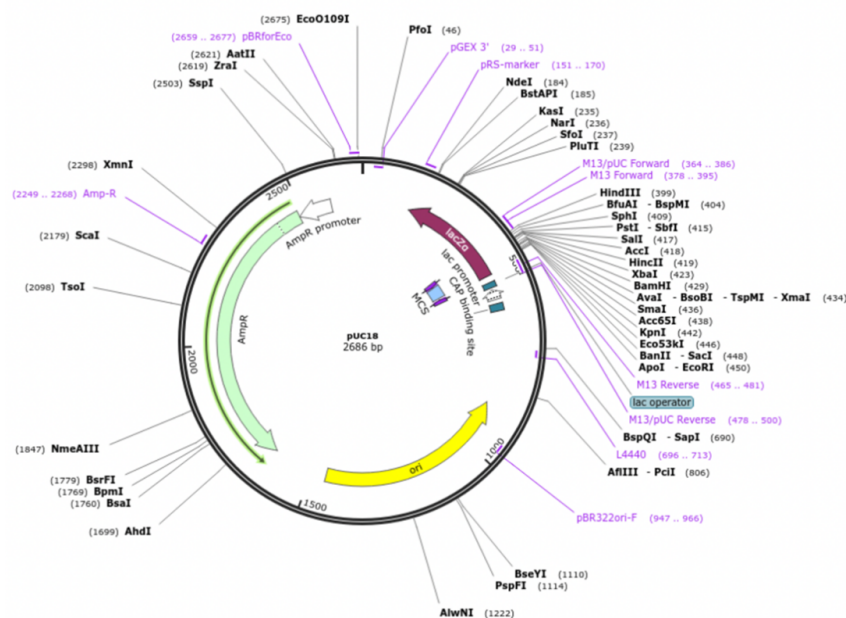


Рис. 3.2.9

Проведите реакцию рестрикции *in silico* для плазмиды pUC18 эндонуклеазой рестрикции Rsa I. В ответе укажите длину наименьшего продукта рестрикции без указания размерности.

Пример ответа: 1 500.

### Решение

В предложенной программе UGENE провести рестрикционный анализ с помощью специальных функций программы. Выбрать наименьший по количеству пар нуклеотидов фрагмент.

### Список литературы

- Карта плазмиды pUC18 — <https://www.addgene.org/50004/> (pdf-версия <https://disk.yandex.ru/i/zWWHhcmPhHRs-A>).
- Описание эндонуклеазы рестрикции Rsa I — <https://sibenzyme.com/product/rsa-i/> (pdf-версия <https://disk.yandex.ru/i/V0uI3kJ1Zl4WyQ>).
- Предлагаемый софт для решения задачи — UGENE <http://ugene.net/ru/>.

**Ответ:** 271.

### **Задача 3.2.1.11. Сколько нужно молекулярных биологов, чтобы взвесить котенка? (2 балла)**

*Темы: молекулярная биология, синтез белков.*

#### **Условие**

Определите молекулярную массу полипептида, закодированного следующей нуклеотидной последовательностью: 5'-AAGATTACCACTTAT-3'.

В ответе укажите число с точностью до одного знака после запятой без указания размерности.

Пример ответа: 110,7 (убедитесь, что у вас именно запятая, а не точка).

#### **Решение**

С помощью таблицы генетического кода определите последовательность аминокислот в полипептиде, после чего из данных в таблице, которая доступна по ссылке из списка литературы, сложите молекулярные массы аминокислот.

### Список литературы

- Молекулярные массы аминокислот — <https://ru.wikipedia.org/wiki/Аминокислоты>.

**Ответ:** 696,8.

### **Задача 3.2.1.12. Место встречи изменить нельзя (2 балла)**

*Темы: молекулярная биология, теория вероятности.*

#### **Условие**

Плазмида pNTO имеет длину 2024 пн. Эндонуклеаза рестрикции *ApoI* распознает сайт RAATTY. Предположим, что нуклеотиды в плазмиде расположены случайно

и количество  $A = T = C = G$ . Определите, сколько сайтов рестрикции *ApoI* может находиться в плазмиде pNTO. В ответе укажите предполагаемое количество сайтов рестрикции (округлите до ближайшего целого числа).

Пример ответа: 10.

### **Решение**

Сайт рестрикции из 6 нуклеотидов RAATTY появляется в одном случае из:

$$2 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 2 = 1\,024.$$

Вероятность встречи в плазмиде длиной 2024 =  $2024 / 1\,024 = 2$ .

**Ответ:** 2 .

### **Задача 3.2.1.13. Лебедь, рак и щука — 1 (3 балла)**

Темы: работа с базами данных, NCBI.

### **Условие**

Цикл трикарбоновых кислот, или цикл Кребса — это ключевой этап клеточного дыхания, где происходит окисление питательных веществ для получения энергии.

В начале цикла трикарбоновых кислот ацетил-КоА, образованный при распаде глюкозы, жирных кислот или аминокислот, отдает свою ацетильную группу четырехуглеродному соединению — оксалоацетату (щавелевоуксусной кислоте — **ЩУ-Ка**), при этом образуется шестиуглеродный цитрат. Цитрат затем изомеризуется в изоцитрат, который далее дегидрируется и декарбоксилируется до пятиуглеродной кислоты —  $\alpha$ -кетоглутарата.  $\alpha$ -кетоглутарат вновь декарбоксилируется, превращаясь в четырехуглеродный сукцинат. Сукцинат затем превращается в фумарат под воздействием сукцинатдегидрогеназы, после чего он в два этапа ферментативно преобразуется снова в оксалоацетат — **ЩУКу**.

Сукцинатдегидрогеназа является центральным звеном между энергетическим обменом (цикл Кребса) и дыхательной цепью, обеспечивая эффективное использование выделенной энергии для синтеза АТФ. SDH состоит из четырех субъединиц: SDHA, SDHB, SDHC и SDHD. Субъединица А содержит ФАД и сайт связывания сукцината, что крайне важно для ферментативного преобразования сукцината в фумарат.



Рис. 3.2.10

Всем известно, что цикл трикарбоновых кислот представляет собой один из основных энергетических путей в клетках не только животных, но и растений, и грибов, и бактерий. В связи с этим, проанализируем генетические особенности субъединицы А сукцинатдегидрогеназы (SDH) у **ЛЕБЕДЯ**-шипунa (*Cygnus olor*).

Используя базу данных NCBI, определите, на какой хромосоме расположен ген SDHA у **ЛЕБЕДЯ**-шипунa и количество экзонов в последовательности гена SDHA в аминокислотах. Ответ запишите в формате: [№ хромосомы]\_[количество экзонов].

Пример ответа: 10\_2.

### Решение

Ген находится в 2-й хромосоме, содержит 15 экзонов.

**Ответ:** 2\_15.

### Задача 3.2.1.14. Лебедь, рак и щука — 2 (3 балла)

Темы: молекулярная биология, ПЦР.

### Условие

Когда механизмы регуляции таких путей, как цикл трикарбоновых кислот, нарушаются, то результатом может стать развитие серьезного заболевания. Ферменты цикла кодируются генами домашнего хозяйства, и отсутствие функциональных копий этих генов может быть фатальным. Мутации генов сукцинатдегидрогеназы (SDH) вызывают **РАК** надпочечников (феохромоцитому). В культурах клеток с такими мутациями накапливается сукцинат, что может привести к формированию нейроэндокринных опухолей, таких как параганглиома, карцинома почек и стромальная опухоль желудочно-кишечного тракта.

Предложена последовательность области гена SDHA из клеток параганглиомы, полученной от **лебедя**-шипунa (*Cygnus olor*). Последовательности получали методом ПЦР с пары праймеров и секвенировали методом Сэнгера.

Последовательность (5' → 3') мутантного варианта гена SDHA из *Cygnus olor*:  
 >SDHA\_mut  
 CCTGATGCTTTGTGCTCTACAAACAATCTATGGTGCTGAGGCTCGCAAGGAGTC  
 CCGGGGTGCTTATGCCAGAGAGGACTATAAGGTACGGA

Определите последовательности прямого и обратного праймеров, если известно, что праймеры имели длину, равную 20 нт.

В ответ запишите последовательности праймеров (сначала прямого, потом обратного) в направлении 5' → 3', разделенные запятой без пробелов.

Пример ответа: ATGC,CATG.

### **Решение**

Достроить к последовательности гена комплементарную, на прямой цепи выбрать последовательность, на которую будет отжигаться прямой праймер, на комплементарной цепи выбрать место для обратного. Записать в ответ их последовательности.

**Ответ:** CCTGATGCTTTGTGCTCTAC,TCCGTACCTTATAGTCCTCT.

### **Задача 3.2.1.15. Лебедь, рак и щука — 3 (3 балла)**

Темы: молекулярная биология, ПЦР, биоинформатика, UGENE.

#### **Условие**

Методом сравнения продуктов ПЦР мутантного и дикого вариантов гена SDHA определите мутацию, которая может приводить к образованию параганглиомы у лебедя-шипана, используя данные и результаты предыдущей части задания.

Ответ введите в формате с.XY>Z, где X — позиция нуклеотида, Y — истинный нуклеотид, Z — мутантный нуклеотид.

#### **Список литературы**

- Скачивание последовательности дикого типа: перейти по ссылке [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NC\\_049170.1?from=92788988&to=92803671&report=genbank&strand=true](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NC_049170.1?from=92788988&to=92803671&report=genbank&strand=true) ⇒ send to ⇒ coding sequence ⇒ create file.
- Предлагаемый софт для решения задачи: UGENE <http://ugene.net/ru/>.

**Ответ:** с.1765T>C.

### **Задача 3.2.1.16. Трансформация энчантис (2 балла)**

Темы: молекулярная биология, трансформация клеток.

### Условие

Трансформация бактерий — это процесс, при котором бактерия принимает чужую ДНК из окружающей среды в свой генетический аппарат. Это позволяет бактериям приобретать новые свойства такие, как устойчивость к антибиотикам или дополнительные метаболические возможности.

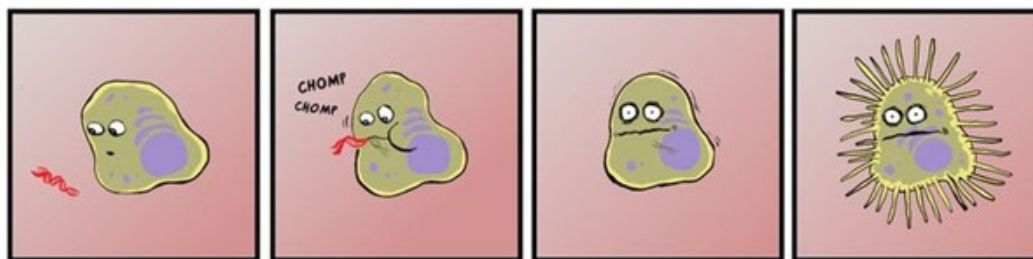


Рис. 3.2.11

В лабораторных условиях искусственная трансформация дает возможность вводить новые гены, изучать функции генома и создавать бактерии с полезными свойствами для биотехнологий. Существует два основных метода искусственной трансформации.

Первый метод — **химически-тепловая трансформация**, где с помощью химических веществ и теплового воздействия вводят чужеродную ДНК в клетку. Вторым методом — электропорация, при которой электрический импульс временно делает мембрану клетки проницаемой, позволяя ДНК проникать внутрь.

Эффективность трансформации (ЭТ) оценивается по количеству трансформированных клеток, выраженному в колониеобразующих единицах (КОЕ) на микрограмм введенной плазмидной ДНК.

$$\text{ЭТ} = \frac{\text{КОЕ}}{\text{количество трансформируемой плазмиды в мкг}}.$$

После приготовления химически компетентных клеток *E. coli* штамма BL21 (DE3) проверяли эффективность их трансформации при помощи введения стандартного плазмидного вектора pUC19 (2686 пн). Для этого приготовили 100-кратное разведение плазмиды со стоковой концентрацией 2024 нг/мкл. К химически компетентным клеткам добавили 2,5 мкл разведенной плазмиды, после чего 1/20 от общего количества трансформированных клеток посеяли на чашки Петри. Спустя 16 ч инкубации чашек Петри при 37 °C провели подсчет колоний, который составил 347 КОЕ.

Определите эффективность химической трансформации. Ответ округлите до целого числа.

**Ответ:** 137 154.

### Задача 3.2.1.17. Потерянная аминокислота (2 балла)

Темы: биоинформатика, работа с базами данных, NCBI.



**Условие**

Лаборант Василий мечтал стать ученым. После поступления в университет ему не терпелось начать работать и, как только представилась возможность, устроился в лабораторию профессора Живодерова. Живодеров был особенным научным руководителем и любил ставить новичков на непростые задачи. Новоиспеченному лаборанту пришлось иметь дело с Аполипопротеином С1 (АpoС1). Это белок, входящий в состав липопротеинов плазмы крови, участвует в транспорте липидов через кровь, а также в регулировании активности липопротеин-связанных ферментов. Василий преобразовывал его в цепь аминокислот и начинал обрабатывать ферментами. Сначала он обработал химотрипсином, потом из полученных цепей взял самую длинную и обработал ее глутамил-эндопептидазой (Глу-С (эндопептидаза V8)). Потом обработал получившиеся полипептиды флуорексоном, провел детекцию и выбрал тот, у которого первой аминокислотой был Gly. Этот полипептид он хотел обработать карбоксипептидазой, но отвлекся на птичку в окне и случайно сделал это дважды.

**Задача.** Повторите эксперимент Василия. Найдите аминокислотную последовательность белка в NCBI: изоформа NP\_001307995.1. Помните, что химотрипсин гидролизует после остатков ароматических аминокислот: фенилаланина (Phe), тирозина (Tyr) и триптофана (Trp); глутамил-эндопептидаза гидролизует после глутаминовой кислоты (Glu) и аспарагиновой кислоты (Asp); флуорексон позволяет «узнать» аминокислоту с N-конца, карбоксипептидаза отрезает аминокислоту с C-конца.

Какую аминокислоту Василий «потерял» из-за невнимательности?

Выберите верный вариант ответа:

- A. Asp.
- B. Val.
- C. Ser.
- D. Pro.
- E. Lys.
- F. Glu.
- G. Leu.
- H. Trp.
- I. Asn.
- J. Ile.
- K. Ala.
- L. Gln.

**Ответ:** D.

### **Задача 3.2.1.18. Повторы в геноме — 1 (3 балла)**

Темы: биоинформатика, программирование.

**Условие**

Повторы в геноме — это последовательности ДНК, которые встречаются многократно, часто подряд или в разных частях генома. У человека около 50% генома со-

стоит из повторяющихся элементов, включая простые tandemные повторы и сложные мобильные элементы такие, как транспозоны. У других видов этот процент может варьироваться: у некоторых растений и амфибий повторы могут занимать более 80% генома, тогда как у бактерий их доля минимальна.

Повторы играют важную роль в эволюции генома, способствуя его структурным изменениям, генетической рекомбинации и регуляции генов. Некоторые из них, такие как tandemные повторы, используются в судебной экспертизе и популяционной генетике, а другие, например, LINE- и SINE-элементы, влияют на экспрессию генов. Хотя повторы иногда вызывают мутации и генетические заболевания, они также обеспечивают гибкость генома и участвуют в его адаптации.

Маскирование повторов в геноме необходимо для корректного анализа уникальных участков ДНК, так как повторы могут вызывать ошибки при сборке генома, картировании и анализе данных секвенирования. Например, при выравнивании ридов на референсный геном повторы могут привести к множественным совпадениям, затрудняя точное определение их местоположения. Маскировка помогает игнорировать такие участки и сосредоточиться на значимых, уникальных регионах, что важно для поиска мутаций, идентификации генов и анализа регуляторных элементов.

Цель этого и последующих заданий — написать программу для поиска и маскирования повторов в последовательности ДНК.

**Задача.** Напишите программу, которая принимает строку, состоящую из символов А, Т, Г и С, и находит самый длинный повтор из одной буквы. Если в строке есть несколько одинаково длинных повторов, нужно вывести первый из них.

### **Формат входных данных**

Программа должна принять (через `input()`) одну строку ДНК.

### **Формат выходных данных**

Программа должна вывести (через `print()`) последовательность самого длинного повтора.

### **Примеры**

#### *Пример №1*

<b>Стандартный ввод</b>
AAATTTGGGCCCAAGGG
<b>Стандартный вывод</b>
CCCC

### **Решение**

Ниже представлено решение на языке Python.

## Python

```

1  # Код решения
2  def find_longest_single_char_repeat(dna_sequence):
3      max_repeat = ""
4      current_char = ""
5      current_length = 0
6      max_length = 0
7
8      for char in dna_sequence:
9          if char == current_char:
10             current_length += 1
11         else:
12             current_char = char
13             current_length = 1
14
15         if current_length > max_length:
16             max_length = current_length
17             max_repeat = current_char * current_length
18
19     return max_repeat
20
21 dna_sequence = input()
22
23 longest_repeat = find_longest_single_char_repeat(dna_sequence)
24 print(longest_repeat)

```

**Задача 3.2.1.19. Повторы в геноме — 2 (3 балла)**

Темы: биоинформатика, программирование.

**Условие**

Напишите программу, которая принимает строку, состоящую из символов А, Т, Г и С, и находит «самый длинный повтор из двух символов», встречающийся подряд более двух раз. Если в строке есть несколько одинаково длинных повторов, выведите первый из них.

**Формат входных данных**

Программа должна принять (через `input()`) одну строку ДНК.

**Формат выходных данных**

Программа должна вывести (через `print()`) последовательность самого длинного повтора.

## Примеры

### Пример №1

<b>Стандартный ввод</b>
АТАТАТGCGCGCGTTTTCC
<b>Стандартный вывод</b>
АТАТАТ

## Решение

Ниже представлено решение на языке Python.

### Python

```

1 def find_longest_two_letter_repeat(dna):
2     """
3     Находит самый длинный повтор из двух символов, повторяющийся более
4     ↪ двух раз подряд.
5     :param dna: строка ДНК
6     :return: строка самого длинного повтора
7     """
8     max_length = 0
9     max_sequence = ""
10    current_length = 1 # начинаем с 1, так как одна пара уже есть
11    current_pair = dna[:2] if len(dna) >= 2 else dna # первая пара
12    ↪ или первый символ
13
14    for i in range(2, len(dna), 2): # идем с шагом 2
15        pair = dna[i:i + 2] # текущая пара
16        if pair == current_pair: # если пара совпадает с предыдущей
17            current_length += 1
18        else:
19            # Завершение текущего повтора
20            repeated_sequence = current_pair * current_length
21            if len(repeated_sequence) > max_length:
22                max_length = len(repeated_sequence)
23                max_sequence = repeated_sequence
24            # Обновляем текущий повтор
25            current_pair = pair
26            current_length = 1
27
28    # Обрабатываем последний повтор
29    repeated_sequence = current_pair * current_length
30    if len(repeated_sequence) > max_length:
31        max_length = len(repeated_sequence)
32        max_sequence = repeated_sequence
33
34    # В случае, если строка не делится ровно на пары, проверяем
35    ↪ последние символы
36    if len(dna) % 2 != 0:
37        last_char_repeat = dna[-1] * dna.count(dna[-1])
38        if len(last_char_repeat) > max_length:
39            max_sequence = last_char_repeat

```

```

38     return max_sequence
39
40 dna_input = input()
41 result = find_longest_two_letter_repeat(dna_input)
42 print(result)

```

### Задача 3.2.1.20. Повторы в геноме — 3 (3 балла)

Темы: биоинформатика, программирование.

#### Условие

Напишите программу, которая принимает строку, состоящую из символов А, Т, Г и С, и заменяет в ней все паттерны из одной или двух букв, встречающиеся подряд более двух раз, на соответствующее количество букв N.

#### Формат входных данных

Программа должна принять (через `input()`) одну строку ДНК.

#### Формат выходных данных

Программа должна вывести (через `print()`) последовательность самого длинного повтора.

#### Примеры

##### Пример №1

<b>Стандартный ввод</b>
ATATATGCGCGCGTTTTCC
<b>Стандартный вывод</b>
NNNNNNNNNNNNNGNNNNCC

#### Решение

Ниже представлено решение на языке Python.

##### Python

```

1  import re
2
3  def mask_repeats(dna_sequence):
4
5      dna_sequence = re.sub(r'(A|T|G|C)\1{2,}', lambda m: 'N' *
        ↪ len(m.group(0)), dna_sequence)
6

```

```

7     dna_sequence =
    ↪     re.sub(r'(?=(AT|AG|AC|TA|TG|TC|GA|GT|GC|CA|CT|CG))\1\1{2,}',
    ↪     lambda m: 'N' * len(m.group(0)), dna_sequence)
8
9     return dna_sequence
10
11 dna_input = input("")
12 masked_dna = mask_repeats(dna_input)
13
14 print(masked_dna)

```

### **Задача 3.2.1.21. Творческое задание (эссе) (15 баллов)**

Темы: научное письмо, анализ литературы.

#### **Условие**

Умение анализировать научную информацию, работать с литературными источниками, письменно излагать свои мысли является крайне востребованным навыком для молодого исследователя. Опыт проведения отборочного тура НТО показал, что написание короткого текста с развернутым ответом на вопрос оказалось одним из самых трудных и интересных заданий.

Нобелевская премия по физиологии и медицине в 2024 году присуждена за открытие микроРНК и их роли в посттранскрипционной регуляции генов.

**Задание.** Напишите текст (эссе) объемом не более 3 000 символов (с учетом пробелов) на тему: «Каким образом микроРНК регулируют экспрессию генов? Какие преимущества имеет данный механизм перед другими способами регуляции?»

Проведите анализ литературных данных. Сопроводите текст ссылками на авторитетные источники. Аргументируйте точку зрения.

#### **Критерии оценивания**

- Длина эссе — не более 3 000 символов (с учетом пробелов).
- Правильная аргументация, обоснование ответа.
- Отсутствие биологических ошибок.
- Ссылки на литературные источники.
- Текст написан лично автором, отсутствуют заимствованные фрагменты текста.
- Эссе, имеющие явные признаки использования ChatGPT, Алиса ГПТ и подобных инструментов, могут быть оценены в 0 (ноль) баллов.
- В зачет идет одно лучшее эссе от команды.
- При наличии нескольких одинаковых/стереотипных текстов, будет оцениваться текст, загруженный первым, остальные будут оценены в 0 баллов.
- При совпадении фрагментов текстов у разных команд будет оценен первый загруженный текст, остальные будут оценены в 0 баллов.
- При превышении рекомендованной длины текста оцениваться будут первые 3 000 символов (с учетом пробелов).
- Список литературы включается (!) в состав 3 000 символов.

### Третий блок задач

Командные задачи третьего блока для 8–9 классов открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/70125/enter/>.

#### Задача 3.2.1.22. Не прошло и года... (3 балла)

Темы: молекулярная биология, расчет продуктов реакции.

##### Условие

В некоторых случаях бывает очень полезно добавлять dUTP в смесь для ПЦР вместо dTTP. Это позволяет предотвращать перекрестную контаминацию чужими образцами. Проанализируем, что произойдет, если замешать реакционную смесь для ПЦР, содержащую dTTP и dUTP, а потом очистить продукты реакции от «контаминированных».

Для реакции ПЦР использовали мастер-микс 5x, содержащий Taq ДНК-полимеразу с «горячим стартом», смесь dNTP (dATP, dGTP и dCTP — 0,6 мМ, dTTP/dUTP — 0,3 мМ), 15 мМ ионов  $Mg^{2+}$ , реакционный буфер, глицерин, красители (красный и желтый). Замешали реакционную смесь объемом 25 мкл, содержащую 1x мастер-микс, прямые (ATG) и обратные (GCA) праймеры по 0,4 мкМ и ДНК-матрицу: ATGTGCCACGCATGC — 1 копия на мкл реакционной смеси. После трех раундов репликации полученную смесь обработали UDG — урацил-ДНК-гликозилазой, гидролизующей урацил в ДНК.

Определите процент продуктов, подвергшихся гидролизу UDG, если ДНК-полимераза включает dUTP каждый третий комплементарный нуклеотид от начала синтеза новой цепи. В ответе укажите десятичное число с точностью до одного знака после запятой.

**TWO HOURS LATER...**



Рис. 3.2.12

Пример ответа: 100,0.

**Ответ:** 87,5.

**Задача 3.2.1.23. Выбери меня, выбери меня — 1 (1 балл)***Темы: молекулярная биология, ПЦР.***Условие**

Выберите верные утверждения о подборе праймеров для наработки гена с генома для клонирования в экспрессионный плазмидный вектор для продукции белка:

- A. Праймеры могут отжигаться в любом месте, главное, чтобы последовательность гена находилась между ними.
- B. Праймеры должны иметь температуры плавления, различающиеся не более, чем на 5 °С.
- C. Праймеры должны обязательно иметь одинаковую длину — не более 20 нт.
- D. GC-состав прямого и обратного праймера может отличаться, главное, чтобы он был менее 30%.
- E. Температура отжига праймера вычисляется по формуле  $T = 2(A+T) + 4(G+C)$ .
- F. Праймеры должны отжигаться ровно на начало и конец гена.
- G. GC-состав прямого и обратного праймеров должен находиться в районе 40–60%.

**Ответ:** B, F, G.

**Задача 3.2.1.24. Выбери меня, выбери меня (3 балла)***Темы: молекулярная биология, ПЦР, UGENE.***Условие**

Основываясь на предыдущем задании, подберите наилучшие праймеры для получения ампликона с гена X для клонирования в экспрессионный вектор для последующей наработки белка.

Последовательность гена X (5' → 3'):

ATGGAAGGACGAGTAAACCCACCGCACTGGGCTTGTCAGGGCTTGACACCTAG  
TCCCTACAACCCCGAGCGATCTATGGATTGAGGTGGGGACACGCATATGTTGTC  
GCACAATGGGAATTTTAGGAGCTGTATAGATGGTGTCTCCTGCATGA

Последовательности праймеров (5' → 3'):

1. TCATGCAGGACACCA.
2. TCATGCAGGACAGGC.
3. TCATGCAGGACACCATCTAT.
4. CTTGTCAGGGCTTGACAC.
5. GGTTTACTCGTCCTTCCAT.
6. GGAAGGACGAGTAAACCCAC.
7. ATGGAAGGACGAGTAAACC.
8. ATGGAAGGACGAGTAAAGTT.
9. ATAGATGGTGTCTCCTGCATGA.



## 10. TGCAGGACACCATCTATAC.

**Решение**

С помощью инструмента в программе UGENE проверить каждую из предложенных последовательностей праймеров.

**Список литературы**

- Возможный инструмент для решения задачи: UGENE <https://ugene.net/download-all.html>.

**Ответ:** 3, 7.

**Задача 3.2.1.25. Побег из фореа (1 балл)**

*Темы: молекулярная биология, электрофорез, физическая химия.*

**Условие**

Белки — это полипептиды, состоящие из аминокислот. Аминокислоты делятся на типы по характеру их бокового радикала. В зависимости от pH среды раствора полипептид может быть заряжен положительно, отрицательно или нейтрально. В свою очередь, общий заряд полипептида складывается из зарядов остатков аминокислот, входящих в его состав.

Определите направление движения полипептида FENNGY при pH среды, равной 3,9, 6,0 или 10,9. Обратите внимание, что в каноническом виде последовательность аминокислот записывается в направлении от N-конца к С-концу.

**Решение**

Оценить заряд полипептида при различных значениях pH, используя значения pKa каждой функциональной группы.

**Ответ.**

Таблица 3.2.1

рН/направление	К катоду	К аноду
3,9	+	
6,0		+
10,9		+

**Задача 3.2.1.26. Да какая разница? (3 балла)**

*Темы: молекулярная биология, белковый электрофорез.*

## Условие

В результате воздействия различных внешних и внутренних факторов, например, ультрафиолета или активных форм кислорода, генетический материал клетки нарушает свою структуру. Наиболее часто из-за этого образуются окислительные повреждения ДНК, в частности — 8-оксогуанин. Количество окислительных повреждений в одной клетке за один день может достигать  $10^6$ – $10^7$ . Чтобы нивелировать такое огромное количество повреждений, внутри клетки существует система ферментов эксцизионной репарации оснований (base excision repair — BER). За удаление 8-оксогуанина в человеческих клетках ответственна 8-оксогуанин-ДНК-гликозилаза (hOGG1, h — human).

Как известно, для многих ферментов существуют гомологи из других организмов, что характерно и для hOGG1. В клетках *E. coli* также присутствует система BER, а ДНК-гликозилаза Fpg (DNA-formamidopyrimidine-glycosylase — формаидо-пиримидин-ДНК-гликозилаза) имеет схожую каталитическую активность, как и hOGG1. Но, что интересно, в отличие от других гомологичных белков hOGG1 и Fpg, имеют совершенно разные аминокислотные последовательности как в первичной, вторичной, так и в третичной структуре!

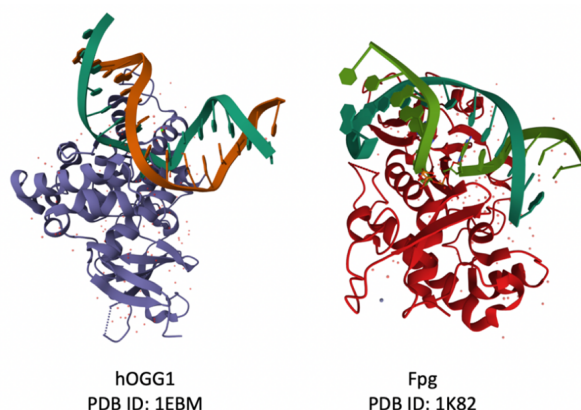


Рис. 3.2.13

Таким образом, данные ферменты гомологичны по функциям, но негомологичны по строению. Чтобы частично продемонстрировать это, проведем следующий эксперимент.

Для сравнения первичной структуры ферментов hOGG1 и Fpg их независимо обработали бромцианом и проанализировали продукты реакции методом белкового гель-электрофореза. Определите длины самых больших продуктов в каждой реакции, если бромциан расщепляет пептидные связи, образованные Met. В ответе укажите абсолютную разницу (модуль) между этими длинами.

## Список литературы

- Ссылка на последовательность OGG1 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/U88527>): send to ⇒ Coding Sequences ⇒ Create file.
- Ссылка на последовательность Fpg ([https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NC\\_000913.3](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NC_000913.3)): send to ⇒ Coding Sequences ⇒ Create file.

- Возможный инструмент для решения задачи: UGENE <https://ugene.net/download-all.html>.

**Ответ:** 37.

### **Задача 3.2.1.27. Неполноценные ножницы (5 баллов)**

*Темы: молекулярная биология, рестрикционный анализ, UGENE.*

#### **Условие**

Плазмиду pBlueScript SK(–), содержащую ген бета-галактозидазы 11 из *Arabidopsis Thaliana*, получали методом клонирования по липким концам при помощи рестриктаз *SpeI* с 5'-конца и *XbaI* с 3'-конца.

Затем было необходимо переклонировать вставку BGAL11 в другой плазмидный вектор по сайтам рестрикции *EcoRI* и *XbaI*. Для этого замешали реакционную смесь объемом 50 мкл, содержащую 2024 нг плазмиды со вставкой, 2 ЕА (единиц активности) *XbaI* и 2 ЕА *EcoRI*, а также реакционный буфер, в котором активность *XbaI* составляет 100%, а *EcoRI* — 75% (ожидается неполная рестрикция). Реакционную смесь инкубировали при 37 °С в течение 1 ч. После чего инактивировали ферменты при 65 °С в течение 20 мин и анализировали в агарозном геле.

Определите минимальный объем реакционной смеси, который необходимо нанести на 1%-й агарозный гель, чтобы визуализировать вставку.

Очень важно правильно подобрать правильное количество ДНК для нанесения на агарозный гель, от этого зависит степень визуализации и верная интерпретация результатов рестрикции. При «перегрузе» (слишком большом количестве нанесенной ДНК) будет сложно разделить продукты схожей длины. Кроме того, визуализация при помощи бромистого этидия имеет чувствительность 50 нг ДНК на дорожку, меньшее количество для фрагментов короче 50 пн будет невозможно детектировать.

В ответе укажите объем реакционной смеси в мкл в виде целого натурального числа (при необходимости округлите до ближайшего целого числа).

#### **Комментарии**

- Для получения плазмиды pBlueScript SK(–) со вставкой гена BGAL11 необходимо скачать последовательности и открыть их в UGENE. Затем в начало и конец гена BGAL11 добавить последовательности соответствующих рестриктаз. Чтобы добавить последовательность, воспользуйтесь методом «редактирование» ⇒ «вставить участок».
- В результате рестрикции *in silico* суммарная длина продуктов будет отличаться от длины вектора. Это связано с тем, что UGENE не учитывает длину оверхенгов (липких концов). На ответ задачи это не влияет в связи с округлением.

**Решение**

Описано в комментарии к задаче.

**Список литературы**

- Ссылка на плазмиду pBlueScript SK(-) (<https://www.addgene.org/vector-database/1952/>): copy sequence  $\Rightarrow$  UGENE создать новую последовательность.
- Ссылка на последовательность гена BGAL11 ([https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NC\\_003075.7](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NC_003075.7)): send to  $\Rightarrow$  Coding Sequences  $\Rightarrow$  Create file.
- Возможный инструмент для решения задачи: UGENE <https://ugene.net/download-all.html>.

**Ответ:** 4.

**Задача 3.2.1.28. Скованные одной цепью, связанные одной цепью (5 баллов)**

*Темы: биохимия, ферментативный катализ.*

**Условие**

В биохимии и молекулярной биологии очень важно измерять различные кинетические параметры ферментативных реакций. Это необходимо не только для характеристики фермента и биохимических процессов, но и для продвижения фармакологических технологий.

К одной из наиболее известных и простых моделей ферментативной кинетики можно отнести модель Михаэлиса – Ментен, разработанную в 1913 г. Она объясняет характерную гиперболическую зависимость активности фермента от концентрации субстрата и позволяет получать константы, которые количественно характеризуют эффективность фермента. Простейшая кинетическая схема, для которой справедливо уравнение Михаэлиса – Ментен:



где E — фермент, S — субстрат, ES — комплекс фермент-субстрат, P — продукт.

Кинетическое уравнение имеет следующий вид:

$$v = \frac{V_m \cdot S}{S + K_m},$$

где  $v$  — скорость реакции,  $V_m$  — максимальная скорость реакции,  $K_m$  — константа Михаэлиса (численно равна концентрации субстрата, при которой скорость реакции составляет половину от максимальной),  $S$  — концентрация субстрата.

Константа  $K_m$  показывает сродство фермента к субстрату, т. е. насколько хорошо фермент связывает субстрат. Как известно, для ДНК-полимераз субстратами выступают ДНК-матрица и dNTP, поэтому попробуем оценить сродство ДНК-полимеразы к dNTP.

Для ферментативной реакции включения dCTP напротив гуанина на субстрате типа «праймер-матрица» фрагментом Кленова ДНК-полимеразы I *E. coli* измерили кинетические параметры в условиях кинетики Михаэлиса – Ментен. Скорость реакции при концентрации субстрата 100 нМ составила 8,54 пМ/с, а максимальная скорость реакции оказалась равной 0,035 нМ/с. Рассчитайте константу Михаэлиса. В ответе укажите число с точностью до двух знаков после запятой и размерностью мкМ.

Пример ответа: 12,34.

### Список литературы

- Статья в Wikipedia про уравнение Михаэлиса – Ментен: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Уравнение\\_Михаэлиса\\_-\\_Ментен](https://ru.wikipedia.org/wiki/Уравнение_Михаэлиса_-_Ментен)

Ответ: 0,31.

### Задача 3.2.1.29. Невыносимая концентрация огромного таланта (4 балла)

Темы: работа с базами данных, NCBI.

#### Условие

На долю лаборанта часто выпадают непростые задачи, с которыми не любят возиться более взрослые сотрудники, вот и в этот раз лаборанта Василия подозвал к себе научный руководитель, чтобы поручить сверхважное задание. Лаборатория профессора Живодерова занимается изучением гена BRCA 1 (BReast CAncer gene 1), который кодирует белок, участвующий в репарации ДНК и поддержании стабильности генома.

Чтобы лучше изучить его, сотрудники лаборатории вместе с лаборантом Василием применяют ДНК-зонды, которые за счет комплементарности могут гибридизоваться на последовательности участков интересующего гена. Сейчас Василию необходимо гибридизовать зонд со вторым экзоном изучаемого гена (зонд полностью покрывает искомый экзон). Для того чтобы правильно поставить реакцию, необходимо все предварительно рассчитать. Одним из важнейших параметров является концентрация зонда — ее и нужно посчитать.

**Задача.** Рассчитать концентрацию зонда, выраженную в пмоль/мкл. Для этого придется воспользоваться следующей формулой:

$$C(\text{пмоль/мкл}) = \frac{OD \cdot 100}{1,5 \cdot N_A + 0,71 \cdot N_C + 1,2 \cdot N_G + 0,84 \cdot N_T},$$

где  $N_A$ ,  $N_C$ ,  $N_G$ ,  $N_T$  — количество соответствующего основания в олигонуклеотиде,  $OD$  — оптическая плотность при 260 нм, выраженная в ОЕ/мл (принять равной 2).

Для того чтобы посчитать количество каждого нуклеотида в зонде, необходимо найти в NCBI ген BRCA 1, у него определить транскрипт с идентификатором NM\_001407593.1. В нем нужно будет найти второй экзон, который соответствует

последовательности зонда. Помните, что зонд покрывает весь экзон и комплементарен ему!

Ответ запишите, округлив до сотых. В качестве десятичного разделителя используйте точку (например, 1.23).

**Ответ:** 3.44.

### ***Задача 3.2.1.30. Позиционная весовая матрица (5 баллов)***

*Темы: биоинформатика, программирование.*

#### ***Условие***

Позиционная весовая матрица (PWM, Position Weight Matrix) — это способ описания важных участков последовательностей ДНК, например, сайта связывания белков. В каждой позиции матрица показывает вероятность нахождения одного из нуклеотидов: А, С, G или Т. Если в какой-то позиции всегда встречается один и тот же нуклеотид, то вероятность для него будет близка к 1, а для остальных — к 0. Если нуклеотиды распределены равномерно, вероятности будут примерно одинаковыми. PWM часто используют в биоинформатике для поиска биологически значимых участков в последовательности ДНК.

Например, белки, такие как транскрипционные факторы, связываются с определенными мотивами ДНК, и PWM помогает предсказать, где такие мотивы могут находиться. Матрица строится на основе множества выровненных последовательностей, которые содержат этот мотив. PWM полезна тем, что учитывает вариативность последовательностей: даже если мотив немного отличается в разных местах, его все равно можно обнаружить благодаря весам в матрице. Цель этой задачи — написать программу для построения позиционной весовой матрицы.

**Задача.** Напишите программу, которая будет принимать на вход выровненные последовательности ДНК и строить для них позиционную весовую матрицу (PWM). Для того чтобы построить PWM, посчитайте частоту каждого нуклеотида в каждой позиции и разделите это число на общее количество последовательностей, чтобы получить вероятности. В результате должна получиться матрица  $N \times M$ , где  $N$  — количество нуклеотидов (4), а  $M$  — количество позиций в последовательностях. В ответ выведите список из четырех перечней, где каждый вложенный список — частоты нуклеотидов А, С, G, Т в каждой позиции в последовательности.

#### ***Формат входных данных***

Программа должна принять (через `input()`) строку, содержащую произвольное количество последовательностей ДНК (больше двух), разделенных пробелами.

#### ***Формат выходных данных***

Программа должна вывести (через `print()`) позиционную весовую матрицу в виде вложенных списков.

## Примеры

### Пример №1

<b>Стандартный ввод</b>
ACGTA GCTAG GCCTA GAATC
<b>Стандартный вывод</b>
[[0.25, 0.25, 0.25, 0.25, 0.5], [0.0, 0.75, 0.25, 0.0, 0.25], [0.75, 0.0, 0.25, 0.0, 0.25], [0.0, 0.0, 0.25, 0.75, 0.0]]

## Решение

Ниже представлено решение на языке Python.

### Python

```

1  def build_pwm(sequences):
2      # Инициализация матрицы для подсчета частот
3      pwm = [[0] * len(sequences[0]) for _ in range(4)]
4      nucleotide_index = {'A': 0, 'C': 1, 'G': 2, 'T': 3}
5
6      # Подсчет частоты нуклеотидов
7      for seq in sequences:
8          for i, nucleotide in enumerate(seq):
9              pwm[nucleotide_index[nucleotide]][i] += 1
10
11     # Количество последовательностей
12     num_sequences = len(sequences)
13
14     # Преобразование частот в вероятности
15     for i in range(4):
16         for j in range(len(pwm[i])):
17             pwm[i][j] /= num_sequences
18
19     return pwm
20
21 input_sequences = input()
22 sequences = input_sequences.split()
23
24 pwmmatrix = build_pwm(sequences)
25 print(pwmmatrix)

```

## Задача 3.2.1.31. Поиск мотива (5 баллов)

Темы: биоинформатика, программирование.

### Условие

Напишите программу, которая будет принимать на вход выровненные последовательности ДНК (разделенные пробелом) для построения PWM, и через запятую — целевую последовательность ДНК, в которой нужно выполнять поиск мотива. Сначала программа должна построить PWM для последовательностей, перечисленные до

запятой. Затем необходимо найти в целевой последовательности ДНК подпоследовательность, максимально соответствующую PWM (имеет наибольшую вероятность). Если таких подпоследовательностей в целевой последовательности несколько, приведите первую из них (ту, которая находится ближе к началу последовательности).

### Формат входных данных

Программа должна принять (через `input()`) строку, содержащую произвольное количество последовательностей ДНК (больше двух), разделенных пробелами и целевую последовательность ДНК, отделенную от первых запятой.

### Формат выходных данных

Программа должна вывести (через `print()`) позиционную весовую матрицу в виде вложенных списков.

### Примеры

#### Пример №1

<b>Стандартный ввод</b>
AAGG TTGC ACGG TTGC, ACGGTTGGAAGG
<b>Стандартный вывод</b>
TTGG

### Решение

Ниже представлено решение на языке Python.

#### Python

```

1  def build_pwm(sequences):
2      # Определяем длину последовательностей
3      seqlength = len(sequences[0])
4      pwm = []
5
6      # Инициализируем матрицу нулями
7      for _ in range(seqlength):
8          pwm.append({'A': 0, 'C': 0, 'G': 0, 'T': 0})
9
10     # Заполняем матрицу
11     for seq in sequences:
12         for i, nucleotide in enumerate(seq):
13             pwm[i][nucleotide] += 1
14
15     # Преобразуем в вероятности
16     for i in range(seqlength):
17         total = sum(pwm[i].values())
18         for nucleotide in pwm[i]:
19             pwm[i][nucleotide] /= total

```



```

20
21     return pwm
22
23 def findbestmatch(pwm, targetsequence):
24     best_score = -1
25     best_subsequence = ""
26     pwmlength = len(pwm)
27
28     for i in range(len(targetsequence) - pwmlength + 1):
29         subsequence = targetsequence[i:i + pwmlength]
30         score = 1
31
32         for j, nucleotide in enumerate(subsequence):
33             score *= pwm[j][nucleotide]
34
35         if score > best_score:
36             best_score = score
37             best_subsequence = subsequence
38
39     return best_subsequence
40
41 input_data = input()
42 sequencespart, targetsequence = input_data.split(',')
43 sequences = sequencespart.strip().split()
44 pwm = build_pwm(sequences)
45 bestmatch = findbestmatch(pwm, targetsequence.strip())
46 print(bestmatch)

```

### Задача 3.2.1.32. Тайна трех клонирований (2 балла)

Темы: молекулярная биология, трансформация, введение вектора.

#### Условие

Три студента-биотехнолога — Антон, Борис и Василий — пытались клонировать последовательность неизвестного гена NOIDEA в плазмидный вектор pUC19, чтобы изучить его функцию. Они использовали одинаковые образцы вектора и вставки, одни и те же эндонуклеазы рестрикции (*EcoRI* и *BamHI*), но разные протоколы обработки фрагментов ДНК перед лигированием:

- Антон обработал щелочной фосфатазой (AP) и вектор, и вставку перед лигированием.
- Борис обработал щелочной фосфатазой только вектор.
- Василий не использовал фосфатазу вообще.

После трансформации компетентных клеток *E. coli* продуктами лигирования и посева на чашки с ампициллином (маркер устойчивости вектора pUC19) только у одного из студентов выросли колонии, содержащие плазмиды с правильно встроенным геном. У кого из студентов получился успешный эксперимент?

Варианты ответа:

1. Антон,
2. Борис,
3. Василий.

**Ответ:** 2.

### **Задача 3.2.1.33. Задача с подвохом (2 балла)**

#### **Условие**

В ходе рутинных генно-инженерных манипуляций плазида размером 9 000 пар азотистых оснований была разрезана эндонуклеазами рестрикции на два фрагмента ДНК. Более крупный фрагмент оказался ровно в два раза больше, чем меньший фрагмент. Меньший фрагмент был выделен и очищен из агарозного геля после электрофоретического разделения.

**Задача.** Какое количество рибонуклеотидов содержится в более длинном фрагменте ДНК, элюированном из геля?

#### **Решение**

ДНК не содержит рибонуклеотиды, но дезоксирибонуклеотиды.

**Ответ:** 0.

## **3.2.2. Задания для 10–11 классов**

Пандемия коронавирусной инфекции стала трудным испытанием для системы здравоохранения. Компании рынка «Хелснет» НТИ внесли значительный вклад в решение задач по ПЦР- и ИФА-диагностике коронавирусной инфекции, разработке новых вакцин. Большую роль в этом сыграли не только специалисты, работающие в молекулярно-биологических лабораториях, но и биоинформатики.

Сквозная технология Национальной технологической инициативы (НТИ) «**Управление свойствами биологических объектов**» основана на достижениях инженерной биологии: генетической инженерии, биотехнологии, молекулярной биологии, биохимии и многих других. Актуальность исследований в области разработки новых инструментов генетической инженерии и геномного редактирования сегодня не вызывает сомнений. Большая часть новых продуктов фармацевтической индустрии, биотехнологий и других отраслей основана на использовании инструментов, созданных в конце XX века (**генетическая инженерия**), сегодня активно разрабатывают и другие подходы, среди которых особое место занимает **синтетическая биология** и технология **геномного редактирования**.

### **Первый блок задач**

Командные задачи первого блока для 10–11 классов открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/70126/enter/>.

### Задача 3.2.2.1. Гель-йога (2 балла)

Темы: молекулярная биология, гель-электрофорез.

#### Условие

Гель-электрофорез — это метод, используемый для разделения фрагментов ДНК (или других макромолекул, например, РНК или белков) в зависимости от их размера и заряда. Электрофорез — это процесс пропускания тока через гель, содержащий интересующие нас молекулы.



Рис. 3.2.14

Какие суждения справедливы для фракционирования ДНК-методом гель-электрофореза? Выберите верные суждения.

- А. ДНК заряжена отрицательно и мигрирует от катода к аноду.
- В. Более короткие фрагменты ДНК имеют меньший удельный заряд и двигаются медленнее.
- С. Агароза или полиакриламид необходимы для того, чтобы отделить более короткие молекулы от более длинных.
- Д. Для того чтобы обеспечить заряд ДНК, в буферный раствор для нанесения добавляют додецилсульфат натрия (SDS).
- Е. Разделение ДНК проводят в дистиллированной воде с низкой электропроводностью.

**Ответ:** А, С.

### Задача 3.2.2.2. Бойся вилки (2 балла)

Темы: молекулярная биология, репликация.

#### Условие

Репликация ДНК — процесс образования из молекулы ДНК двух ее дочерних «копий». Это довольно сложный процесс, в котором задействовано порядка 20 различных ферментов, и каждый из них выполняет свою функцию. Репликация начинается на сайте инициализации с расплетения двойной спирали, и при этом образуется репликационная вилка, где и происходит синтез комплементарных цепей.

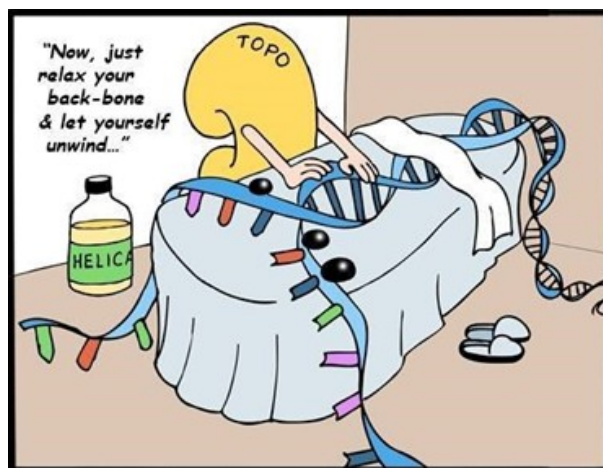


Рис. 3.2.15

Какие суждения характерны для репликационной вилки эукариот?

Выберите верные варианты ответа:

- A. Репликацию основной цепи осуществляет ДНК-полимераза эпсилон.
- B. Хеликаза CMG находится и на лидирующей, и на отстающей цепи.
- C. ДНК-полимеразы, реплицирующие основную и отстающую цепи, связаны вместе комплексом скользящей застёжки (PCNA).
- D. Фрагменты Оказаки лигируются ДНК-полимеразой альфа.
- E. В репликации отстающей цепи принимает участие ДНК-полимераза альфа.

**Ответ:** A, E.

### ***Задача 3.2.2.3. Ты не понимаешь, мы разные (2 балла)***

*Темы: молекулярная биология, репликация.*

#### ***Условие***

Долгое время ученые, изучавшие репликацию ДНК, не могли понять, каким образом обе цепи ДНК могут реплицироваться одновременно. Ведь они антипараллельны, а ДНК-полимераза может присоединять нуклеотиды только к 3'-концу, а значит, она может удлинять только одну из двух растущих цепей!

На этот вопрос смог ответить Рейджи Оказаки, который провел ряд экспериментов и обнаружил, что при репликации у бактерий большая часть новообразованной ДНК обнаруживается в форме небольших кусков, названными фрагментами Оказаки.

DNA replication be like:

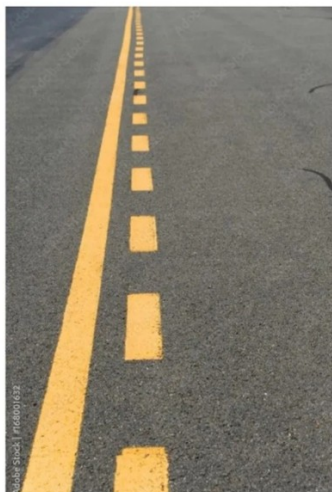


Рис. 3.2.16

Какой фермент принимает участие в удалении РНК-праймера между фрагментами Окадзаки?

Выберите верные варианты ответа:

- A. ДНК-лигаза.
- B. ДНК-полимераза I у *E. coli*.
- C. ДНК-полимераза альфа у эукариот.
- D. РНКаза H у эукариот.
- E. Хеликаза у эукариот.

**Ответ:** B, D.

### **Задача 3.2.2.4. Кручу, верчу, запутать хочу (2 балла)**

Темы: молекулярная биология, работа в лаборатории.

#### **Условие**

В лаборатории для многих целей используются центрифуги или микроспины (microspin). Принцип их действия основан на центробежной силе, что позволяет осаждать раствор в пробирке или разделять компоненты раствора по массе (например, клетки от среды для культивирования). Для того чтобы эти приборы работали исправно, при расстановке пробирок нужно следить за тем, чтобы они были в равновесии.

На рис. 3.2.17 можно увидеть полностью загруженный микроспин на 12 положений.



Рис. 3.2.17

Необходимо разместить в этом приборе пять пробирок одинаковой массы таким образом, чтобы он находился в равновесии. Выберите из предложенных вариантов номера положений, в которых можно разместить пробирки без угрозы. Для удобства будем вести отсчет положений от помеченного стрелкой и по часовой стрелке.

- A. 2, 6, 10, 7, 1.
- B. 1, 3, 6, 9, 12.
- C. 4, 12, 8, 3, 9.
- D. 6, 7, 9, 2, 10.
- E. Нужна еще одна пробирка!

**Ответ:** A, C.

### ***Задача 3.2.2.5. Шагая по лестнице (2 балла)***

*Темы: молекулярная биология, метод Сэнгера.*

#### ***Условие***

Одним из самых популярных и используемых методов секвенирования ДНК долгое время был метод Сэнгера, за который в 1980 году была присуждена Нобелевская премия. Этот метод позволяет считывать последовательности до 1 000 пар нуклеотидов, и потому активно используется для секвенирования и по сей день, например, отдельных участков генома для анализа мутаций.

При проведении секвенирования по Сэнгеру реакционную смесь разделяют методом капиллярного гель-электрофореза. На рис. 3.2.18 приведена «секвенирующая лестница», по которой можно определить последовательность ДНК.



Рис. 3.2.18

Изучите рис. 3.2.18 и рассчитайте, какое количество энергии необходимо затратить, чтобы разорвать дуплекс из расшифрованной и комплементарной цепей, если энергия одной водородной связи равна в среднем 40 кДж/моль. В ответе укажите целое натуральное число без размерности.

### Список литературы

- <https://biomolecula.ru/articles/metody-v-kartinkakh-sekvenirovanie-nukleinovyx-kislot> (pdf-версия веб-страницы <https://disk.yandex.ru/i/-27yN3oOeu5aFw>).

**Ответ:** 2 400.

### Задача 3.2.2.6. Доверяй, но проверяй (2 балла)

Темы: молекулярная биология, гель-электрофорез.

#### Условие

Научный руководитель выдал лаборанту пробирку с плазмидой pсDNA3.2\_YFP, с помощью которой можно нарабатывать желтый флуоресцентный белок (англ. Yellow Fluorescent Protein, YFP) в клетках млекопитающих, и попросил убедиться в ее соответствии коммерческой плазмиде с помощью построения рестрикционной карты на основе следующих ферментов Aра I, BciV I, Bts I, Dra III и Nco I.

Он целый день проводил реакции рестрикции в различных вариантах плазмиды pсDNA3.2\_YEF и попросил напарника провести гель-электрофорез вместо себя. Напарник выполнил просьбу, но случайно забыл, в каком порядке наносил образцы на агарозный гель. Фотография гель-электрофореза представлена на рис. 3.2.19.

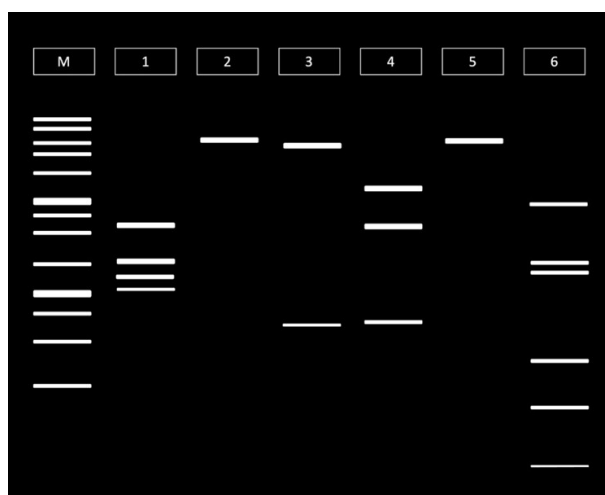


Рис. 3.2.19

Выберите варианты ответов, где в реакционной смеси присутствуют продукты гидролиза плазмиды pCDNA3.2\_YFP, рестриктазами Aar I и Dga III, если в качестве ДНК-маркера использовалась смесь 1kb «СибЭнзайм».

- A. Дорожка 1.
- B. Дорожка 2.
- C. Дорожка 3.
- D. Дорожка 4.
- E. Дорожка 5.
- F. Дорожка 6.
- G. Представлены результаты рестрикции другой плазмиды.
- H. Представлены результаты рестрикции другими рестриктазами.

### Список литературы

- Карта плазмиды pCDNA3.2\_YFP: <https://www.addgene.org/84910/> (дополнительная ссылка на карту <https://disk.yandex.ru/i/H1lW4S6D7t2KzA>).
- ДНК-маркер СибЭнзайм: <https://sibenzyme.com/product/1-kb-13-fragmentov-ot-0-25-do-10-kb/> (pdf-версия веб-страницы <https://disk.yandex.ru/i/pcUDr4DL5mLi2Q>).
- Предлагаемый софт для решения задачи: UGENE <http://ugene.net/ru/>.

**Ответ:** B, C, E.

### Задача 3.2.2.7. NCBI: ген PCNA (1 балл)

Темы: биоинформатика, работа с базами данных, NCBI.



**Условие**

Белок PCNA играет исключительно важную роль в репликации ДНК эукариот и, например, связывает ДНК-полимеразу дельта (эпсилон) при репликации основной (отстающей) цепи.

Изучите информацию о гене PCNA человека [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene?cmd=retrieve&dopt=default&rn=1&list\\_uids=5111](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene?cmd=retrieve&dopt=default&rn=1&list_uids=5111) (pdf-версия веб-страницы <https://disk.yandex.ru/i/JFHWzeUK2s9Cyw>) в базе данных NCBI.

Выберите верные варианты ответа:

- A. Ген PCNA человека лежит в 20 хромосоме.
- B. Ген PCNA человека лежит в 12 хромосоме.
- C. Ген PCNA человека лежит в 7 хромосоме.
- D. Ген PCNA человека содержит 20 экзонов.
- E. Ген PCNA человека содержит 12 экзонов.
- F. Ген PCNA человека содержит 7 экзонов.

**Ответ:** A, F.

**Задача 3.2.2.8. NCBI: белок PCNA (1 балл)**

*Темы: биоинформатика, работа с базами данных, NCBI.*

**Условие**

Белок PCNA играет исключительно важную роль в репликации ДНК эукариот. Изучите информацию о гене PCNA человека в genbank [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NG\\_047066.1](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NG_047066.1) (pdf-версия веб-страницы [https://disk.yandex.ru/i/Ks\\_X3BPhdeH87g](https://disk.yandex.ru/i/Ks_X3BPhdeH87g)). Определите число аминокислотных остатков в данном белке, исходя из последовательности CDS.

**Ответ:** 261.

**Задача 3.2.2.9. UGENE: молекулярная масса PCNA (1 балл)**

*Темы: биоинформатика, работа с базами данных, UGENE.*

**Условие**

Откройте аминокислотную последовательность PCNA из прошлой задачи в UGENE и определите молекулярную массу белка.

Введите молекулярную массу PCNA в грамм на моль (г/моль) в виде целого числа.

**Ответ:** 28 772.

## **Второй блок задач**

Командные задачи второго блока для 10–11 классов открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/70127/enter/>.

### **Задача 3.2.2.10. Эффект бабочки (2 балла)**

*Темы: биоинформатика, поиск мутаций.*

#### **Условие**

Мутации в генах могут приводить к развитию различных заболеваний. Одной из таких болезней является серповидно-клеточная анемия, вызванная точечной мутацией в гене гемоглобина.

**Задача.** Найдите мутацию, вызывающую серповидно-клеточную анемию, и проведите анализ последствий этой мутации.

Поиск мутации: найдите последовательность нормального гена гемоглобина и мутантного гена, вызвавшего серповидноклеточную анемию. Используйте базу данных OMIM (Online Mendelian Inheritance in Man) для поиска информации о мутации.

Выравнивание последовательностей: проведите выравнивание нормальной и мутированной последовательностей с помощью программы Clustal Omega или аналогичных инструментов.

Найдите аминокислоту, замена которой приводит к развитию серповидноклеточной анемии. В ответ введите эту аминокислоту (из нормального белка) и по одной фланкирующей аминокислоте слева и справа (в трехбуквенном коде, с большой буквы). Пример: GlyAspTrp.

**Ответ:** ProGluGlu.

### **Задача 3.2.2.11. Поиск шпильки (5 баллов)**

*Темы: биоинформатика, программирование.*

#### **Условие**

Шпилька в последовательности ДНК — это структура, образуемая двумя строго комплементарными участками одинаковой длины, которые расположены зеркально относительно середины участка. Учитывать шпильки в последовательности ДНК необходимо при дизайне различных олигонуклеотидов, в том числе праймеров.

**Задача.** Напишите программу, которая будет осуществлять поиск шпильки в последовательности ДНК. Шпилькой считается последовательность, состоящая из двух комплементарных половин без петли. В данной задаче необходимо считать, что минимальная длина шпильки — 4 нуклеотида. В последовательности может не быть шпильки, или вся последовательность может представлять собой шпильку.

### Формат входных данных

Программа должна принять (через `input()`) одну строку ДНК.

### Формат выходных данных

Программа должна вывести (через `print()`) последовательность с маскированными повторами.

### Примеры

#### Пример №1

<b>Стандартный ввод</b>
ACTGCGCCAG
<b>Стандартный вывод</b>
GCGC

### Решение

Ниже представлено решение на языке Python.

#### Python

```

1  a = input().upper()
2  maxi = 0
3  p = "" # Инициализируем p как пустую строку
4
5  for i in range(len(a)):
6      for j in range(i + 1, len(a)):
7          srez = a[i:j + 1] # Исправлено: srez должен быть присвоен, а
            ↪ не a[i:j+1]
8          if len(srez) < 4:
9              continue
10         if len(srez) % 2 == 0:
11             flag = True
12             a1 = srez[:len(srez) // 2]
13             a2 = srez[len(srez) // 2::1][-1]
14             for k in range(len(a1)):
15                 if (a1[k] == 'C' and a2[k] == 'G') or \
16                     (a1[k] == 'T' and a2[k] == 'A') or \
17                     (a1[k] == 'G' and a2[k] == 'C') or \
18                     (a1[k] == 'A' and a2[k] == 'T'):
19                     pass
20             else:
21                 flag = False
22                 break
23         if flag == True:
24             if len(srez) > maxi:
25                 maxi = len(srez)
26                 p = srez
27  print(p)

```

### **Задача 3.2.2.12. Поиск самой длинной общей подстроки (5 баллов)**

*Темы: биоинформатика, программирование.*

#### **Условие**

Поиск самой длинной общей подстроки (LCS) — это задача нахождения наибольшего непрерывного совпадения между двумя последовательностями. LCS часто используют в биоинформатике для поиска консервативных регионов, которые могут быть полезны при дизайне тест-систем.

Например, при создании теста для вирусов гриппа А и В можно искать общую подстроку в генах гемагглютинаина (НА), чтобы разработать универсальные праймеры. LCS подходит лучше, чем выравнивание, если требуется строгое совпадение без пропусков, как в случае создания праймеров для ПЦР. Кроме того, поиск LCS быстрее, чем полное выравнивание, что важно для анализа больших данных. В данной задаче необходимо найти самую длинную общую подстроку для двух последовательностей ДНК.

**Задача.** Напишите программу, которая будет выполнять поиск самой длинной общей подстроки в двух последовательностях ДНК.

#### **Формат входных данных**

Программа должна принять (через `input()`) строку, содержащую две последовательности ДНК, разделенные пробелом.

#### **Формат выходных данных**

Программа должна вывести (через `print()`) последовательность самой длинной общей подстроки для этих двух последовательностей.

#### **Примеры**

##### *Пример №1*

<b>Стандартный ввод</b>
ACCGTT CCAGCA
<b>Стандартный вывод</b>
CC

#### **Решение**

Ниже представлено решение на языке Python.

## Python

```

1 def longest_common_substring(str1, str2):
2     substrings = []
3     for i in range(len(str1)):
4         for j in range(i + 1, len(str1) + 1):
5             substrings.append(str1[i:j])
6     substrings.sort(key=len, reverse=True)
7     for substr in substrings:
8         if substr in str2:
9             return substr
10    return ""
11 str1, str2 = input().split()
12 result = longest_common_substring(str1, str2)
13 print(result)

```

### Задача 3.2.2.13. Историческое секвенирование (2 балла)

Темы: молекулярная биология, гель-электрофорез.

#### Условие

Другим методом секвенирования первого поколения было секвенирование Максама – Гилберта. Однако этот метод «вышел из моды», так как в нем используют опасные химикаты, а отсекуnderировать длинный фрагмент ДНК невозможно.

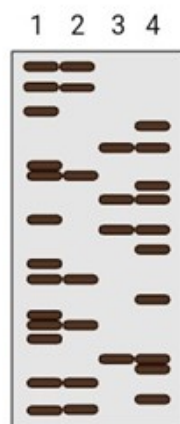


Рис. 3.2.20

Метод Максама – Гилберта основан на внесении разрывов по разным типам азотистых оснований с помощью химического воздействия. После обработки полученные фрагменты визуализируют с помощью денатурирующего полиакриламидного геля.

На рис. 3.2.20 приведен схематичный результат секвенирования. На первой дорожке образец обрабатывали концентрированной муравьиной кислотой с пиперидином, на второй — диметилсульфатом, на третьей — гидратом гидразина, а на четвертой — смесью гидрата гидразина с пиперидином.

Расшифруйте последовательность. В ответ запишите фрагмент в направлении  $5' \rightarrow 3'$  (заглавными латинскими буквами). Пример ответа: ATGC.

**Ответ:** GTGTCAGATGATCACTGACTAGG.

### **Задача 3.2.2.14. Пам-парам-пам, надоело бегать по пятам (2 балла)**

*Темы: молекулярная биология, CRISPR/Cas9.*

#### **Условие**

В 1980-х годах ученые Марио Капекки, Оливер Смитис и Мартин Эванс разработали метод нокаута (knockout) гена, который позволил продвинуть развитие обратной генетики. В 2007 году эти ученые получили Нобелевскую премию по физиологии и медицине за данный метод.



Рис. 3.2.21

Одним из главных преимуществ нокаутов генов является то, что они позволяют исследователям изучать функцию конкретного гена *in vivo* и понимать роль гена в нормальном развитии и физиологии, а также в патологии заболеваний. Сравнивая фенотип организма с нокаутированным геном, исследователи могут получить представление о биологических процессах, в которых участвует ген. Для получения нокаутов генов чаще всего используют систему CRISPR/Cas9, поскольку она наиболее точна, проста в дизайне и использовании по сравнению с другими системами генетического редактирования (TALEN, цинковыми пальцами и др.).

Для изучения некоего гена «X» методом обратной генетики было решено получить его нокаут при помощи белка Cas9, выделенного из *Streptococcus pyogenes*. Для редактирования была выбрана следующая область гена: 5'-TAGGAAGTAGGC TACGGTCTTTTGC GAACCCTTCGGCTGTATCTAGAGTGCTATTACTACAGTTCAC ATGGTTCTAGCCTTTATGATTACGGTCCGTCG-3'.

И сконструирована направляющая gRNA со спейсером: UGCUAUUACUACAG UUCACA.

Определите нуклеотидную последовательность PAM и введите ее в направлении 5' → 3'.

**Ответ:** TGG.

### **Задача 3.2.2.15. Полный нокаут (3 балла)**

*Темы: молекулярная биология, CRISPR/Cas9.*

### Условие

Процесс нокаута генов с помощью CRISPR/Cas9 включает в себя три основных шага:

1. Дизайн направляющей РНК (gRNA, guide — направляющая), которая нацелена на определенное место в геноме.
2. Доставка gRNA и фермента Cas9 (который действует как молекулярные ножницы) в целевую клетку.
3. Восстановление двуцепочечного разрыва в ДНК. Когда клетка репарирует двуцепочечный разрыв, возможно два пути репарации:
  - NHEJ (non-homologous end joining, нехомологичное соединение концов), в результате которого часто возникают инделы (инсерции или делеции нуклеотидов), что сдвигает открытую рамку считывания;
  - HDR (homology directed repair, гомологичная направленная репарация), в результате которой восстановление разрыва осуществляется за счет гомологичной рекомбинации по матрице-донору (как правило, это олигонуклеотид, содержащий нужную мутацию). Если происходит замена большого участка или всего гена, то этот процесс называется нок-ином (knock-in).



Рис. 3.2.22

Разработанную систему для нокаута гена «X» из прошлой задачи ввели в клетки мышей четырех линий и секвенировали целевую последовательность ДНК после редактирования. Затем в те же клеточные линии ввели ту же систему, но совместно с донором 5'-ТСТАГАГТГСТААТААААГТТКАСАТГГТ-3', и также секвенировали.

Изучите результаты секвенирования двух экспериментов и определите последовательности с нокаутом гена «X».

1. TAGGAAC TAGGCTACGGTCTTTTGCGAACCCCTTCGGCTGTATCTAGAGTG  
СТАТТАСТАСАГТТКСАКАСАТГГТТКТАКССТТТАТГАТТАСГГТССГТ  
СГ.
2. TAGGAAC TAGGCTACGGTCTTTTGCGAACCCCTTCGGCTGTATCTAGAGTG  
СТАТТАСТАСАГТАСАТГГТТКТАКССТТТАТГАТТАСГГТССГТКСГ.
3. TAGGAAC TAGGCTACGGTCTTTTGCGAACCCCTTCGGCTGTATCTAGAGTG





Ответ: 6.

### Задача 3.2.2.17. Лебедь, рак и щука 1 (3 балла)

Темы: молекулярная биология, цикл Кребса, работа с базами данных, NCBI.

#### Условие

Цикл трикарбоновых кислот (цикл Кребса) — это ключевой этап клеточного окисления глюкозы и других питательных веществ для получения энергии.

В начале цикла трикарбоновых кислот ацетил-КоА, который образуется при окислении глюкозы во время гликолиза, жирных кислот или аминокислот, отдает свою ацетильную группу четырехуглеродному соединению — оксалоацетату (щавелевоуксусной кислоте — ЩУКа), при этом образуется шестиуглеродный цитрат. Цитрат затем изомеризуется в изоцитрат, который далее дегидрируется и декарбоксилируется до пятиуглеродной кислоты —  $\alpha$ -кетоглутарата.  $\alpha$ -кетоглутарат вновь декарбоксилируется, превращаясь в четырехуглеродный сукцинат. Сукцинат затем превращается в фумарат под воздействием сукцинатдегидрогеназы, после чего он в два этапа ферментативно преобразуется снова в оксалоацетат — ЩУКу.

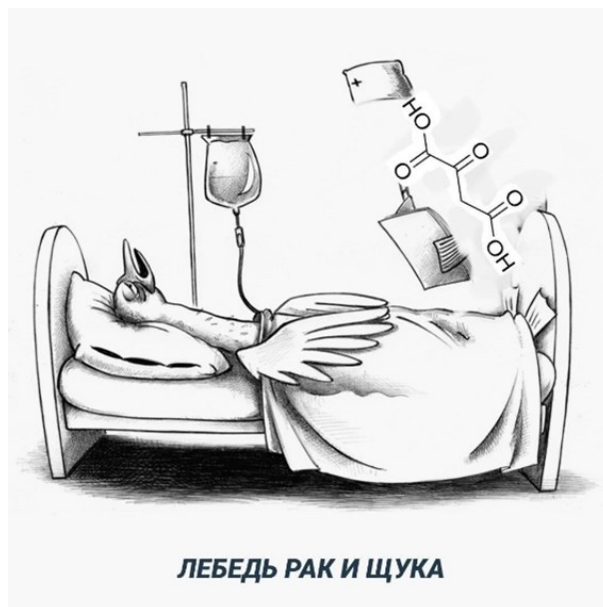


Рис. 3.2.24

Сукцинатдегидрогеназа (SDH) является центральным звеном между энергетическим обменом (цикл Кребса) и дыхательной цепью, обеспечивая эффективное использование выделенной энергии для синтеза АТФ. SDH состоит из четырех субъединиц: SDHA, SDHB, SDHC и SDHD. Субъединица А содержит ФАД и сайт связывания сукцината, что крайне важно для ферментативного преобразования сукцината в фумарат.

Всем известно, что цикл трикарбоновых кислот представляет собой один из основных энергетических путей в клетках не только животных, но и растений, и грибов, и бактерий. В связи с этим проанализируем генетические особенности субъединицы А сукцинатдегидрогеназы (SDH) у ЛЕБЕДЯ-шипунa (*Cygnus olor*).

**Задача.** Используя базу данных NCBI, определите, на какой хромосоме расположен ген SDHA у лебедя-шипуна, количество интронов в кодирующей последовательности гена SDHA и длину продукта трансляции SDHA. Ответ запишите в формате: [№ хромосомы][количество интронов][длина белка]. Пример ответа: 1\_2\_345.

**Ответ:** 2\_14\_661.

### **Задача 3.2.2.18. Лебедь, рак и щука 2 (3 балла)**

*Темы: работа с базами данных, NCBI, поиск мутаций.*

#### **Условие**

Когда механизмы регуляции таких путей, как цикл трикарбоновых кислот, нарушаются, в результате может развиваться серьезное заболевание. Ферменты цикла кодируются генами домашнего хозяйства, и отсутствие функциональных копий этих генов может быть фатальным. Мутации генов сукцинатдегидрогеназы (SDH) вызывают РАК надпочечников (феохромоцитому). В культурах клеток с такими мутациями накапливается сукцинат, что может привести к формированию нейроэндокринных опухолей таких, как параганглиома, карцинома почек и стромальная опухоль желудочно-кишечного тракта.

Предложены последовательности области гена SDHA из клеток параганглиомы, полученной от пяти особей лебедя-шипуна (*Cygnus olor*). Последовательности получали методом ПЦР с праймеров и секвенировали методом Сэнгера. Проведите множественное выравнивание последовательностей совместно с последовательностью дикого типа (NC\_049170.1 complement(92788988..92803671)) через модуль MUSCLE, находящийся в UGENE.

**Задача.** Определите наиболее часто встречающуюся мутацию, которая может приводить к образованию параганглиомы у лебедя-шипуна.

Ответ введите в формате с.XY>Z, где X — позиция нуклеотида, Y — истинный нуклеотид, Z — мутантный нуклеотид.

Последовательности (5' → 3') мутантных вариантов гена SDHA из *Cygnus olor*:

1. SDHA\_mut1 CCTGATGCTTTGTGCTCTACAAACAATCTATGGTGCTGAGGCTCGCAAGGAGTCCCGGGGTGCTTATGCCAGAGAGGACTATAAGGTACGGA.
2. SDHA\_mut2 CCTGATGCTTTGTGCTCTACAAACAATCTATGGTGCTGAGGCTCGCAAGCAGTCCCGGGGTGCTTATGCCAGAGAGGACTATAAGGTACGGA.
3. SDHA\_mut3 CCTGATGCTTTGTGCTCTACATACAATCTATGGTGCTGAGGCTCGCAAGGAGTCCCGGGGTGCCTATGCCAGAGAGGACTATAAGGTACGGA.
4. SDHA\_mut4 CCTGATGCTTTGTGCTCTACATACAATCTATGGTGCTGAGGCTCGCAAGGAGTCCCGGGGTGCTTATGCCAGAGAGGACTATAAGGTACGGA.
5. SDHA\_mut5 CCTGATGCTTTGTGCTCTACAAACAATCTATGGTGCTGAGGCTCGCAAGGAGTCCCGTGGTGCTTATGCCAGAGAGGACTATAAGGTACGGA.

### Список литературы

- Скачивание последовательности дикого типа: перейти по ссылке [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NC\\_049170.1?from=92788988&to=92803671&report=genbank&strand=true](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NC_049170.1?from=92788988&to=92803671&report=genbank&strand=true) ⇒ send to ⇒ coding sequence ⇒ create file.
- Предлагаемый софт для решения задачи: UGENE <http://ugene.net/ru/>.
- MUSCLE: подаваемый файл должен содержать все последовательности (дикий тип и мутантные варианты) и иметь формат fasta.

**Ответ:** с.1765T>C.

### Задача 3.2.2.19. Трансформация энчантис (2 балла)

Темы: молекулярная биология, трансформация.

#### Условие

Трансформация бактерий — это процесс, при котором бактерия поглощает чужеродную ДНК из окружающей среды. Встраивание такой ДНК в генетический аппарат клетки позволяет бактериям приобретать новые свойства, такие как устойчивость к антибиотикам или дополнительные метаболические возможности.

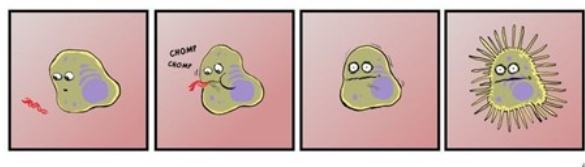


Рис. 3.2.25

В лабораторных условиях искусственная трансформация дает возможность вводить новые гены, изучать функции генома и создавать бактерии с полезными свойствами для биотехнологий. Существует два основных метода искусственной трансформации:

- Первый метод — химическая трансформация с тепловым шоком, когда с помощью химических веществ и теплового воздействия чужеродную ДНК вводят в клетку.
- Второй метод — электропорация, при которой электрический импульс временно делает мембрану клетки проницаемой, позволяя ДНК проникать внутрь.

**Эффективность трансформации (ЭТ)** оценивают по числу трансформированных клеток, выраженному в колониеобразующих единицах (КОЕ) на микрограмм (мкг) введенной ДНК (например, плазмидной).

$$\text{ЭТ} = \frac{\text{КОЕ}}{\text{количество трансформируемой плазмиды в мкг}}.$$

После приготовления химически и электрокомпетентных клеток *E. coli* штамма BL21 (DE3) проверяли эффективность их трансформации при помощи введения

стандартного плазмидного вектора pUC19 (2686 пн). Для этого приготовили два разведения плазмиды из стоковой (исходной) концентрацией 508 нг/мкл: (1) развели в 1 000 раз и (2) развели в 50 раз.

К электрокомпетентным клеткам добавили 2 мкл разведения плазмиды (1), а для химической трансформации использовали 5 мкл разведения плазмиды (2). После трансформаций клетки посеяли на чашки Петри следующим образом: после электропорации 1/20 от общего количества клеток, а химически трансформированных клеток — 1/10. После инкубации чашек Петри в термостате при 37 °С в течение 16 ч выросло 742 КОЕ после электропорации и 984 КОЕ после химической трансформации.

**Задача.** Определите, во сколько раз отличается эффективность трансформации методом электропорации от химического метода. Ответ округлите до целого числа.

**Ответ:** 75.

### ***Задача 3.2.2.20. Творческое задание (эссе) (15 баллов)***

*Темы: анализ научной информации, работа с литературой, письменная речь.*

#### ***Условие***

Умение анализировать научную информацию, работать с литературными источниками, письменно излагать свои мысли — является крайне востребованным навыком для молодого исследователя. Опыт проведения отборочного тура НТО показал, что написание короткого текста с развернутым ответом на вопрос оказалось одним из самых трудных и интересных заданий.

Нобелевская премия по химии в 2024 году присуждена за работы, связанные с компьютерными технологиями предсказания и укладки (фолдинга) белка.

**Задание.** Напишите текст (эссе) объемом не более 3 000 символов (с учетом пробелов) на тему: «В чем отличия инструментов AlphaFold и Rosetta, за разработку которых была присуждена Нобелевская премия? В чем преимущества AlphaFold?»

Проведите анализ литературных данных. Сопроводите текст ссылками на авторитетные источники. Аргументируйте точку зрения.

#### ***Критерии оценивания***

- Длина эссе — не более 3 000 символов (с учетом пробелов).
- Правильная аргументация, обоснование ответа.
- Отсутствие биологических ошибок.
- Ссылки на литературные источники.
- Текст написан лично автором, отсутствуют заимствованные фрагменты текста.
- Эссе, имеющие явные признаки использования ChatGPT, Алиса ГПТ и подобных инструментов, могут быть оценены в 0 (ноль) баллов.
- В зачет идет одно лучшее эссе от команды.

- При наличии нескольких одинаковых/стереотипных текстов, будет оцениваться текст, загруженный первым, остальные будут оценены в 0 баллов.
- При совпадении фрагментов текстов у разных команд будет оценен первый загруженный текст, остальные будут оценены в 0 баллов.
- При превышении рекомендованной длины текста оцениваться будут первые 3 000 символов (с учетом пробелов).
- Список литературы включается (!) состав в 3 000 символов.

### **Третий блок задач**

Командные задачи третьего блока для 10–11 классов открыты для решения. Соревнование доступно на платформе Яндекс.Контест: <https://contest.yandex.ru/contest/70129/enter/>.

#### **Задача 3.2.2.21. Фермент лактаза (5 баллов)**

*Темы: биоинформатика, работа с базами данных, физическая химия.*

##### **Условие**

Лактаза — это фермент, гидролизующий гликозидные связи между остатками галактозы и глюкозы в молекулы лактозы — основного молочного сахара. Недостаток этого фермента приводит к непереносимости лактозы.

У человека фермент лактаза транслируется в виде пре-фермента, содержащего сигнальный пептид для эффективного транспорта белкового продукта. После доставки сигнальный пептид отщепляется.

**Задача.** Рассчитайте изоэлектрическую точку **сигнального пептида** лактазы. Для выполнения задания используйте последовательность мРНК лактазы и вспомогательную информацию из базы данных NCBI (NM\_002299.4). Ответ округлите до целого значения.

P.S. Изоэлектрическая точка — величина pH среды, при которой суммарный электрический заряд пептида равен нулю.

$$pI = \frac{\sum pKa_i}{n} = \frac{pKa_1 + pKa_2 + pKa_3 + \dots}{n},$$

где  $pKa$  — константа диссоциации для полярных групп в пептиде,  $n$  — количество полярных групп в пептиде.

Справочная таблица со значениями  $pKa$  для аминокислот: <https://disk.yandex.ru/i/ZUYKDsDFQDJmRA>.

**Ответ:** 6.

#### **Задача 3.2.2.22. Филогенетические деревья. Матрица дистанций (5 баллов)**

*Темы: биоинформатика, программирование, филогенетические деревья.*

## Условие

Филогенетическое дерево — это графическое представление эволюционных связей между видами, популяциями или генами, основанное на сходстве их биологических характеристик, таких как последовательности ДНК или белков. Эти деревья помогают понять, как виды эволюционировали от общего предка, проследить генетическое разнообразие, а также исследовать процессы, связанные с изменениями в геномах. Одним из первых шагов в построении филогенетического дерева является вычисление матрицы расстояний, где каждое значение отражает степень различий между последовательностями. Например, расстояние Хэмминга измеряет количество позиций, в которых символы двух последовательностей различаются. Эта матрица затем используется для построения самого дерева.

Метод UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean) объединяет виды или группы с минимальным расстоянием и создает новое значение для кластеров, основываясь на среднем арифметическом. Повторяя этот процесс, UPGMA постепенно объединяет все виды в дерево, отображающее их эволюционные связи. Таким образом, построение матрицы расстояний и использование метода UPGMA — это два последовательных этапа, необходимых для анализа эволюционной истории на основе молекулярных данных. В этой задаче предстоит построить матрицу дистанций между последовательностями, а в следующей задаче — выполнить построение филогенетического дерева методом UPGMA.

**Задача.** Напишите программу, которая принимает на вход последовательности ДНК, попарно сравнивает все последовательности и определяет количество различий между ними (расстояние Хэмминга). Результаты попарного сравнения программа должна записать в симметричную матрицу  $N \times N$  (где  $N$  — количество последовательностей). Каждый элемент этой матрицы  $D_{ij}$  — это количество различий между  $i$ -й и  $j$ -й последовательностями.

## Формат входных данных

Программа должна принять (через `input()`) строку, содержащую произвольное количество последовательностей ДНК (больше двух), разделенных пробелами.

## Формат выходных данных

Программа должна вывести (через `print()`) матрицу дистанций в виде списка списков.

## Примеры

### Пример №1

<b>Стандартный ввод</b>
AGCT ACCT AGTT TGCA
<b>Стандартный вывод</b>
[[0, 1, 1, 2], [1, 0, 2, 3], [1, 2, 0, 3], [2, 3, 3, 0]]

**Решение**

Ниже представлено решение на языке Python.

**Python**

```

1 def hamming_distance(seq1, seq2):
2     """Calculates the Hamming distance between two sequences."""
3     return sum(e1 != e2 for e1, e2 in zip(seq1, seq2))
4 def compute_distance_matrix(dna_sequences):
5     """Creates a symmetric distance matrix for DNA sequences."""
6     n = len(dna_sequences)
7     matrix = [[0] * n for _ in range(n)]
8     for i in range(n):
9         for j in range(i + 1, n):
10            distance = hamming_distance(dna_sequences[i],
11                                         dna_sequences[j])
12            matrix[i][j] = distance
13            matrix[j][i] = distance # Symmetric value
14     return matrix
15 # Input DNA sequences
16 input_data = input()
17 dna_sequences = input_data.split()
18 # Calculate and print the distance matrix
19 result_matrix = compute_distance_matrix(dna_sequences)
20 print(result_matrix)

```

### **Задача 3.2.2.23. Филогенетические деревья. Метод UPGMA (5 баллов)**

Темы: биоинформатика, программирование, филогенетические деревья.

**Условие**

Напишите программу, которая принимает на вход одну строку, содержащую последовательности ДНК, разделенные пробелами. Необходимо рассчитать матрицу расстояний между этими последовательностями (где расстояние определяется как количество различий — расстояние Хэмминга), а затем использовать эту матрицу для построения филогенетического дерева методом UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean). На выходе программа должна вывести финальное филогенетическое дерево в формате строки, где узлы дерева представлены в скобках, а листья — номерами последовательностей (их позиции в исходной строке, начиная с 1). Дерево должно быть строго бинарным, а порядок объединения пар в скобках определен по возрастанию номеров.

**Формат входных данных**

Программа должна принять (через `input()`) строку, содержащую произвольное количество последовательностей ДНК (больше двух), разделенных пробелами.

## Формат выходных данных

Программа должна вывести (через `print()`) полученное филогенетическое древо.

## Примеры

### Пример №1

<b>Стандартный ввод</b>
AGCT ACCT AGTT TGCA
<b>Стандартный вывод</b>
(( (1, 2), 3), 4)

## Решение

Ниже представлено решение на языке Python.

### Python

```

1 def cd(str1, str2):
2     return sum(el1 != el2 for el1, el2 in zip(str1, str2)) +
   ↪ abs(len(str1) - len(str2))
3
4
5 def nop(seq):
6     s = len(seq)
7     t = [[0] * s for _ in range(s)]
8
9     for i in range(s):
10        for j in range(i + 1, s):
11            d = cd(seq[i], seq[j])
12            t[i][j] = d
13            t[j][i] = d
14
15    return t
16
17 def minc(t):
18     m = float("inf")
19     x, y = -1, -1
20
21     for i in range(len(t)):
22         for j in range(len(t[i])):
23             if t[i][j] < m and i != j:
24                 m = t[i][j]
25                 x, y = i, j
26
27    return x, y
28
29 def jl(l, a, b):
30     if b < a:
31         a, b = b, a
32
33    l[a] = "(" + l[a] + "," + l[b] + ")"

```



```

34     del l[b]
35
36
37 def jt(t, a, b):
38     if b < a:
39         a, b = b, a
40
41     row = []
42     for i in range(0, a):
43         row.append((t[a][i] + t[b][i]) / 2)
44     t[a] = row
45
46     for i in range(a + 1, b):
47         t[i][a] = (t[i][a] + t[b][i]) / 2
48
49     for i in range(b + 1, len(t)):
50         t[i][a] = (t[i][a] + t[i][b]) / 2
51         del t[i][b]
52
53     del t[b]
54
55 def upgma(t, l):
56     while len(l) > 1:
57         x, y = minc(t)
58         jt(t, x, y)
59         jl(l, x, y)
60
61     return l[0]
62
63 inp = input()
64 seq = inp.split()
65 dt = nop(seq)
66 l = [str(i+1) for i in range(len(seq))]
67 otv = upgma(dt, l)
68 print(otv)

```

### Задача 3.2.2.24. Место встречи изменить нельзя (3 балла)

Темы: молекулярная биология, теория вероятности.

#### Условие

При обработке больших неидентифицированных ранее молекул ДНК, например, геномов новооткрытых бактерий или фагов, бывает полезно примерно оценить вероятность встречи того или иного сайта рестрикции. Это позволяет правильно подобрать рестриктазы для построения карты генома.

Определите, во сколько раз отличается количество вероятных сайтов рестрикции MspI в геноме *E. coli* от количества вероятных сайтов этой же рестриктазы в геноме фага-лямбда, который заражает данную бактерию.

Предположим, что нуклеотиды в геномах расположены случайно и количество  $A = T = C = G$ . Таким образом, важны только длины геномов. В ответе укажите целое число, при необходимости округлите результат до ближайшего целого числа.

### Список литературы

- Геном *E. coli* — <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/U00096.2> (pdf-версия <https://disk.yandex.ru/d/vr8qwlPDHTjJJA>).
- Геном фага лямбда — <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/J02459> (pdf-версия [https://disk.yandex.ru/d/t8Tprl\\_RPyvjw](https://disk.yandex.ru/d/t8Tprl_RPyvjw)).

Ответ: 96.

### Задача 3.2.2.25. Урацил-ДНК-гликозилаза (3 балла)

Темы: молекулярная биология, ПЦР.

#### Условие

В смесь для ПЦР добавляют dUTP вместо (или вместе с) dTTP для того, чтобы предотвращать перекрестную контаминацию «чужими» образцами. Проанализируем, что произойдет, если добавить реакционную смесь для ПЦР dTTP и dUTP, а потом очистить продукты реакции от «контаминированных».

Для реакции ПЦР использовали мастер-микс 5x, содержащий Taq ДНК-полимеразу с «горячим стартом», смесь dNTP (dATP, dGTP и dCTP — 0,6 мМ, dTTP/dUTP — 0,3 мМ), 15 мМ ионы  $Mg^{2+}$ , реакционный буфер, глицерин, красители. В реакционную смесь объемом 25 мкл, содержащую 1x мастер-микс, добавили прямые (ATG) и обратные (GCA) праймеры по 0,4 мкМ и ДНК-матрицу: ATGACGAGGTCCTGC — 5 копий на 1 мкл реакционной смеси. После 10 раундов репликации полученную смесь обработали UDG — урацил-ДНК-гликозилазой, которая гидролизует урацил в составе ДНК.



Рис. 3.2.26

**Задача.** Определите процент продуктов, подвергшихся гидролизу UDG, если ДНК-полимераза включает dUTP каждый третий комплементарный нуклеотид от начала синтеза новой цепи. В ответе приведите целое число. Пример ответа: 100.

Ответ: 100.

### Задача 3.2.2.26. Fashion is my profession (4 балла)

Темы: молекулярная биология, белковая инженерия, математическая статистика.

### Условие

В результате воздействия различных факторов, например, ультрафиолета или активных форм кислорода, ДНК в клетке нарушает свою структуру. Наиболее часто из-за этого образуются окислительные повреждения ДНК, в частности — 8-оксогуанин.

Количество окислительных повреждений в одной клетке может достигать  $10^6$ – $10^7$  повреждений в сутки. Чтобы исправить такое огромное количество повреждений, внутри клетки работают ферменты эксцизионной репарации оснований (base excision repair — BER). За удаление 8-оксогуанина в человеческих клетках отвечает 8-оксогуанин-ДНК-гликозилаза (hOGG1, h — human).

Как известно, для многих ферментов существуют гомологи из других организмов, что характерно и для hOGG1. В клетках *E. coli* также присутствует система BER, а ДНК-гликозилаза Fpg (DNA-formamidopyrimidine-glycosylase — формамидопиримидин-ДНК-гликозилаза) имеет схожую каталитическую активность с hOGG1. В отличие от других гомологичных белков, hOGG1 и Fpg имеют совершенно разные аминокислотные последовательности, а также вторичную и третичную структуру.

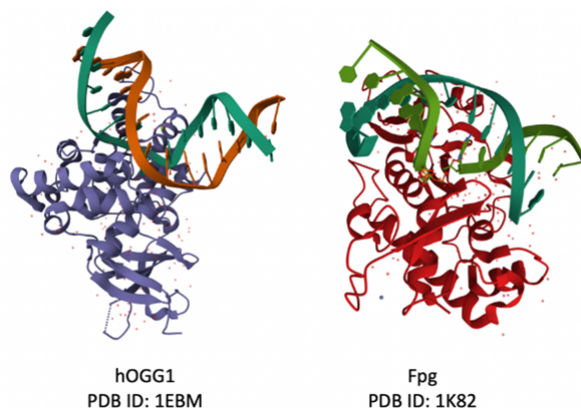


Рис. 3.2.27

Таким образом, данные ферменты гомологичны по функциям, но различаются. Чтобы частично продемонстрировать это, проведем следующий эксперимент.

Для сравнения первичной структуры ферментов OGG1 и Fpg их независимо обработали химотрипсином и проанализировали продукты реакции методом белкового гель-электрофореза. Среди множества продуктов каждой реакции определите их моду и в ответе укажите абсолютную разницу (модуль) между данными показателями.

### Решение

Взяв последовательности полипептидов, необходимо расщепить их в соответствии с указанными условиями. Для каждого пептида выбрать наиболее часто встречающуюся длину продуктов гидролиза и оценить разность.

### Список литературы

- human OGG1 — <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/U88527> (pdf-версия <https://disk.yandex.ru/i/jfpoybkzjyXKxQ>).
- Fpg *E. coli* — [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NC\\_000913.3?from=3810343&to=3811152&report=genbank&strand=true](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NC_000913.3?from=3810343&to=3811152&report=genbank&strand=true) (pdf-версия <https://disk.yandex.ru/i/Hi01lFltgdWn9Q>).
- Статья в Википедии про моду — [https://ru.wikipedia.org/wiki/Мода\\_\(статистика\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Мода_(статистика)).

Ответ: 3.

### Задача 3.2.2.27. Скованные одной цепью, связанные одной целью (5 баллов)

Темы: биохимия, ферментативный катализ.

#### Условие

В биохимии важно измерение кинетических параметров ферментативных реакций.

К одной из наиболее известных и простых моделей ферментативной кинетики относят модель Михаэлиса – Ментен, предложенную в 1913 году. Она объясняет характерную гиперболическую зависимость активности фермента от концентрации субстрата и позволяет получать константы, которые количественно характеризуют эффективность фермента. Простейшая кинетическая схема, для которой справедливо уравнение Михаэлиса – Ментен:



где  $E$  — фермент,  $S$  — субстрат,  $ES$  — комплекс фермент-субстрат,  $P$  — продукт.

Кинетическое уравнение имеет следующий вид:

$$v = \frac{V_m \cdot S}{S + K_m},$$

где  $v$  — скорость реакции,  $V_m$  — максимальная скорость реакции,  $K_m$  — константа Михаэлиса (численно равна концентрации субстрата, при которой скорость реакции составляет половину от максимальной),  $S$  — концентрация субстрата.

Константа  $K_m$  показывает сродство фермента к субстрату, т. е. насколько хорошо фермент связывает субстрат.

$$K_m = \frac{k_{-1} + k_2}{k_1},$$

где  $k_{-1}$  — константа скорости реакции распада фермент-субстратного комплекса на фермент и исходный субстрат,  $k_1$  — константа скорости реакции образования фермент-субстратного комплекса,  $k_2$  — константа скорости реакции распада фермент-субстратного комплекса на фермент и продукт. Далее будем называть  $k_2$  —  $k_{cat}$  (каталитическая константа).

Как известно, для ДНК-полимераз субстратами выступают ДНК-матрица и dNTP, и принято измерять точность  $k_{ins}$  (ins — точность включения — insertion), которая состоит из показателей специфичности включения неверного нуклеотида  $k_{sp,w}$  (w — wrong) к верному  $k_{sp,r}$  (r — right).

Специфичность:

$$k_{sp} = \frac{k_{cat}}{K_m}.$$

Точность:

$$k_{ins} = \frac{k_{sp,w}}{k_{sp,r}}.$$

Для ферментативной реакции включения dCTP и dATP напротив 8-оксогуанина на субстрате типа «праймер-матрица» фрагментом Кленова ДНК-полимеразы I *E. coli* измерили кинетические параметры в условиях кинетики Михаэлиса – Ментен. Результаты представлены в таблице 3.2.2.

Таблица 3.2.2

dNTP	[S], nM	$V \times 10^{-4}$ , nM/sec	$V_{max}$ , nM/sec	$K_{cat}$ , $s^{-1} \times 10^{-3}$
dATP	100	58,33	0,056	282
dCTP	100	4,31	0,004	479

Определите точность включения dATP напротив 8-оксогуанина фрагментом Кленова ДНК-полимеразы I *E. coli* на субстрате «праймер-матрица». В ответе укажите число с точностью до двух знаков после запятой (десятичный разделитель — точка).

### Список литературы

- Статья про уравнение Михаэлиса – Ментен: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Уравнение\\_Михаэлиса\\_-\\_Ментен](https://ru.wikipedia.org/wiki/Уравнение_Михаэлиса_-_Ментен).

**Ответ:** 0.57.

### Задача 3.2.2.28. Выбери меня! (1 балл)

Темы: молекулярная биология, ПЦР.

#### Условие

Выберите верные утверждения о подборе праймеров для получения ПЦР-продукта с геномной ДНК и дальнейшего клонирования в плазмидный вектор для последующей продукции белка:

- Праймеры могут отжигаться в любом месте, главное, чтобы последовательность гена находилась между ними.
- Праймеры должны иметь температуры плавления, различающиеся не более, чем на 5 °C.

- С. Праймеры должны обязательно иметь одинаковую длину — не более 20 нт.
- Д. GC-состав прямого и обратного праймера может отличаться, главное, чтобы он был менее 30%.
- Е. Температура отжига праймера вычисляется по формуле  $T = 2(A + T) + 4(G + C)$ .
- Ф. Праймеры должны отжигаться ровно на начало и конец гена.

**Ответ:** В, Ф.

### **Задача 3.2.2.29. Нароботай меня! (2 балла)**

Темы: молекулярная биология, ПЦР.

#### **Условие**

Основываясь на предыдущем задании, выберите наилучшие праймеры для получения ампликона гена BGAL11, кодирующего бета-галактозидазу в *Arabidopsis thaliana*, для клонирования в плазмидный вектор и последующей наработки белка.

**Задача.** Выберите наилучшую пару праймеров, в которую добавлены оптимальные сайты рестрикции.

Последовательности праймеров даны в направлении  $5' \rightarrow 3'$ .

**Комментарий.** Порядок приоритета параметров для подбора праймеров от наиболее значимого до менее значимого — Tm, длина, GC-состав.

Выберите верные варианты ответа:

1. GGTCGTGGGAAGAAGAAGTGA.
2. GGCTTTTAACAGCTGTTC.
3. TTTTCACAGAGACATTGCC.
4. ATGAGAAAACATTCTCTTGATCG.
5. CAAGTGTGGTCGTGGGAAG.
6. ATGAGAAAACATGGAGGATCTGC.
7. GCTTTATCCCGTGCACCTTAAAC.
8. TGAGAAAACATTCTCTTGAT.
9. TCAGTTCTTCTTCGCTTACGG.
10. GGCAATGTCTCTGTGAAAA.
11. CGATCAAGAGAATGTTTTCTCAT.
12. TGGATGGTACACAACA.
13. TCAGTTCTTCTTCCCACGACC.
14. GTAAACTCGAAGGTA.
15. ATGAGAAAACATTCTCTT.

### Список литературы

- Ссылка на последовательность гена BGAL11 — [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NC\\_003075.7?from=16667837&to=16672188&report=genbank&strand=true](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NC_003075.7?from=16667837&to=16672188&report=genbank&strand=true) (pdf-версия <https://disk.yandex.ru/i/bcQimJA0H0dVJQ>).
- Возможный инструмент для решения задачи: UGENE <http://ugene.net/ru/>.

Ответ: 4,13.

### Задача 3.2.2.30. Вырежи меня! (2 балла)

Темы: молекулярная биология, рестрикция.

#### Условие

Во второй части данного задания были подобраны праймеры для получения ампликона гена BGAL11, но при реакции ПЦР с такими праймерами будут получены продукты с тупыми концами. Этот продукт невозможно клонировать вставку в плазмиду, поскольку могут возникнуть такие проблемы, как неверное направление вставки относительно промотора, самолигирование вектора/вставки из-за большой длины линейных фрагментов, включение нескольких копий вставки в вектор. Кроме этого, клонирование по тупым концам имеет намного более низкую эффективность, чем по липким концам. Для решения данных проблем генные инженеры добавляют к праймерам сайты рестрикции для того, чтобы получить липкие концы после проведения ПЦР.

В лаборатории имеется библиотека доступных рестриктаз, список которых представлен ниже. Необходимо выбрать наилучшие сайты рестрикции для клонирования гена BGAL11 в плазмидный вектор pBlueScript SK(–) с геном STAT2 (позиция в плазмиде 218–2749 пн) [1].

**Задача.** Вырежьте ген STAT2 и вставьте вместо него ген BGAL11 под промотор T3.

Библиотека лабораторных рестриктаз:

1. AfeI.
2. BamHI.
3. ClaI.
4. DraIII.
5. EcoRI.
6. EcoRV.
7. HaeI.
8. HaeII.
9. HindIII.
10. KpnI.
11. MfeI.

12. NcoI.
13. NdeI.
14. SalI.
15. XbaI.

В ответе укажите номер рестриктазы с обозначением прямого (F) и обратного (R) праймеров, разделенных дефисом. Пример ответа: 1F-2R.

### Список литературы

- Карта плазмиды pBlueScript SK(-) STAT2 — <https://www.addgene.org/8705/> — Addgene #8705 (или <https://disk.yandex.ru/i/UaMSyG7d919CWw>).

**Ответ:** 15F-14R.

### Задача 3.2.2.31. AlphaFold (5 баллов)

Темы: биоинформатика, анализ белковых структур, нейросети.

#### Условие

В 2020 году Нобелевская премия по химии была присуждена Дженнифер Дудне и Эммануэль Шарпантье за открытие системы CRISPR-Cas9 у бактерии *Streptococcus pyogenes*. Это открытие дало генным инженерам и молекулярным биологам удобный инструмент для направленного редактирования генома организмов.

В 2024 году Нобелевскую премию по химии дали Дэвиду Бэйкеру, Дэмису Хассабису и Джону Джамперу. Дэвис Хассабис и Джон Джампер являются основателями компании DeepMind и получили премию за разработку нейросетевых алгоритмов для предсказания структуры белков по их первичной аминокислотной последовательности. Созданная ими в 2020 году нейронная сеть AlphaFold2 произвела прорыв в предсказании структуры белка по последовательности аминокислот. В мае 2024 года DeepMind анонсировала новую нейронную сеть AlphaFold3, которая может предсказывать структуру не только одиночных белков, но и белок-белковых, белок-нуклеиновых комплексов и даже комплексов белок-лиганд для некоторых молекул. Компания предоставила открытый доступ к серверу AlphaFold Server (<https://alphafoldserver.com/>) для ученых со всего мира. Каждому Google-аккаунту доступно 20 моделирований в день.

Необходимо воспользоваться онлайн-сервисом AlphaFold3 Server, чтобы предсказать структуру комплекса белка SRISPR-Cas9 из *Streptococcus pyogenes* с гидовой РНК (gRNA) и целевой последовательностью двуцепочечной ДНК, а затем ответить на несколько вопросов.

Последовательность белка SRISPR-Cas9 из *Streptococcus pyogenes*:

```
MDKKYSIGLDIGTNSVGWAVITDEYKVPSSKKFKVLGNTDRHSIKKNLIGALLFDSC
ETAETRLKRTARRRYTRRKNRICYLQEIFSNEMAKVDDSFHRLSEESFLVEEDKK
HERHPIFGNIVDEVAYHEKYPTIYHLRKKLVDSTDKADLRILIYLAHAMIKFRGHF
LIEGDLNPDNSDVKLFIQLVQTYNQLFEENPINASGVDAKAILSARLSKSRLENL
```



IAQLPGEKKNGLFGNLIASLSGLTPNFKSNFDLAEDAKLQLSKDTYDDDLNLLAQ  
 IGDQYADLFLAAKNLSDAILLSDILRVNTEITKAPLSASMIKRYDEHHQDLTLLKAL  
 VRQQLPKEYKEIFFDQSKNGYAGYIDGGASQEEFYKFIKPILEKMDGTEELLVKLN  
 REDLLRKQRTFDNGSIPHQIHLGELHAILRRQEDFYFPLKDNREKIEKILTFRIPYYV  
 GPLARGNSRFAWMTRKSEETITPWNFEVVDKGASAQSFIERMTNFDKNLPNEK  
 VLPKHSLLYEYFTVYNELTKVKYVTEGMRKPAFLSGEQKKAIVDLLFKTNRKVTV  
 KQLKEDYFKKIECFDSVEISGVEDRFNASLGTYHDLLKIIKDKDFLDNEENEDILED  
 IVLTTLTFEDREMIEERLKTYAHLFDDKVMKQLKRRRYTGWGRLSRKLINGIRDKQ  
 SGKTILDFLKSDGFANRNFMQLIHDDSLTFKEDIQKAQVSGQGDSLHEHIANLAGS  
 PAIKKGILQTVKVVDELVKVMGRHKPENIVIEMARENQTTQKGQKNSRERMKRIE  
 EGIKELGSQILKEHPVENTQLQNEKLYLYYLQNGRDMYVDQELDINRLSDYDVDH  
 IVPQSFLKDDSIDNKVLTRSDKNRGKSDNVPSEEVVKKMKNYWRQLLNAKLITQR  
 KFDNLTKAERGGLSELDKAGFIKRQLVETRQITKHVAQILDSRMNTKYDENDKLIR  
 EVKVITLKSCLVSDFRKDFQFYKVVREINNYHHAHDAYLNAVVG TALIKKYPKLESE  
 FVYGDYKVYDVRKMIKSEQEIGKATAKYFFYSNIMNFFKTEITLANGEIRKRPLIE  
 TNGETGEIVWDKGRDFATVRKVL SMPQVNIVKKTEVQTGGFSKESILPKRNSDKL  
 IARKKDWDPKKYGGFDSPTVAYSVLVVAKEVGKSKKLKSVKELLGITIMERSSE  
 KNPIDFLEAKGYKEVKKDLIKLPKYSLELENGRKRMLASAGELQKGNELALPSKY  
 VNFLYLASHYEKLKGSPEDEQKQLFVEQHKHYLDEIIEQISEFSKRVLADANLDK  
 VLSAYNKHDKPIREQAENIIHLFTLTNLGAPAAFKYFDTTIDRKRYTSTKEVL DAT  
 LIHQ SITGLYETRIDLSQLGGD

Последовательность гидовой PHK: GGCGCAUAAAGAUGAGACGCGUUUUAG  
 AGCUAUGCUGUUUUGAAAAAACAGCAUAGCAAGUUAAAAUAAGGCUAGUC  
 CGUUAUCAACUUGAAAAAGUGGCACCGAGUCGGUGCUUCG.

Последовательности двуцепочечной ДНК мишени (обе цепи записаны в направ-  
 лении 5' → 3'): GGCGCATAAAGATGAGACGCTGGCGATTAGCTAATCGCCAGCG  
 TCTCATCTTTATGCGCC.

**Задача.** Произведите структурное выравнивание и определите показатель  
 RMSD расчетных моделей с экспериментальной. PyMOL выдает все линейные раз-  
 меры в Ангстремах — параметр RMSD не исключение. Посчитайте среднее отклоне-  
 ние для пяти моделей, ответ приведите в пикометрах и округлите до целых. В ответе  
 укажите только число.

**Ответ:** любое значение в промежутке 215–235.

## 4. Заключительный этап

### 4.1. Работа наставника НТО при подготовке к 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. Заключительный этап требует высокой слаженности, уверенности и глубоких знаний, и наставник становится тем, кто объединяет усилия участников и направляет их в нужное русло.

Наставник помогает участникам:

- разобрать задания прошлых лет, используя официальные сборники, чтобы понять структуру финальных испытаний, типы задач и ожидаемый уровень сложности;
- изучить организационные особенности заключительного этапа, включая формат проведения, регламент, продолжительность и технические нюансы;
- спланировать подготовку — на основе даты начала финала составляется четкий график занятий, в котором распределены темы, практикумы и командные тренировки;
- обратиться (при необходимости) за консультацией к разработчикам заданий по профилю, уточнить, на какие аспекты подготовки следует обратить особое внимание, и получить дополнительные материалы.

Также рекомендуется участие в мероприятиях от организаторов, таких как:

- установочные вебинары и открытые разборы задач;
- хакатоны, практикумы и мастер-классы для финалистов;
- встречи в онлайн-формате, информация о которых публикуется в группе НТО во «ВКонтакте» и в телеграм-чатах профилей.

Наставнику необходимо уделить внимание работе на формировании устойчивой, продуктивной и мотивированной команды:

- **Сплочение команды.** Это особенно актуально, если участники живут в разных городах. Регулярные онлайн-встречи, совместная работа над задачами и неформальное общение помогают наладить доверие и улучшить командную динамику.
- **Анализ ролей.** Наставник вместе с командой определяет, кто за что отвечает, какие задачи входят в зону ответственности каждого участника. Также обсуждаются возможности взаимозаменяемости на случай непредвиденных ситуаций.
- **Оценка компетенций.** Важно определить, какими знаниями и навыками уже обладают участники, а какие необходимо развить. На основе этого формируется индивидуальный и командный план подготовки.
- **Участие в подготовительных мероприятиях от разработчиков профилей.**

---

Перед заключительным этапом проводятся установочные вебинары, разборы задач прошлых лет, практикумы, мастер-классы для финалистов. Информация о таких мероприятиях публикуется в группе НТО в VK и в чатах профилей в Telegram.

- **Практика в формате хакатонов.** Наставник может организовать дистанционные хакатоны или практикумы с использованием заданий прошлых лет и методических рекомендаций из официальных сборников.

Таким образом, наставник становится координатором и моральной опорой команды, помогая пройти заключительный этап НТО с максимальной уверенностью и результатом.

## 4.2. Предметный тур

### 4.2.1. Биология. 8–9 классы

#### **Задача 4.2.1.1. Ботаника (26 баллов)**

##### **Условие**

В овощном отделе магазина будущий молекулярный биолог Таисия обнаружила следующие овощи:

- а) картофель,
- б) батат,
- в) морковь,
- г) кольраби,
- д) свеклу,
- е) топинамбур,
- ж) имбирь.

Ответьте на вопросы, приведенные в заданиях.

**Задание 1.** (2 балла) Какую общую функцию выполняют для растений эти органы?

##### **Решение**

Данные части растений несут запасующую функцию, а также позволяют перезимовать и дать новые побеги в благоприятный сезон.

**Задание 2.** Назовите, какие видоизменения побега и корня можно обнаружить на примере перечисленных овощей а – ж. Какие из них являются побегами (7 баллов), а какие — корнями (5 баллов)?

##### **Решение**

- а) клубень,
- б) корнеклубень,
- в) корнеплод,
- г) надземный клубень,
- д) корнеплод,
- е) клубень,
- ж) корневище.

Побеги — а, г, е, ж; корни — б, в, д.

### **Критерии оценивания**

5 баллов; за каждое несоответствие, отсутствие или наличие неправильной буквы в категории, штраф 1 балл; минимальный балл за задание — 0 баллов.

**Задание 3.** (3 балла) Какие из видоизменений а–ж располагаются над землей, а какие являются подземными? В чем смысл преимущественно подземного расположения этих органов у растений?

### **Решение**

Надземным видоизменением является клубень кольраби. Остальные видоизменения — подземные, это необходимо для:

- защиты от холода и низкой влажности зимой,
- защиты от поедания фитофагами.

**Задание 4.** Бабушка Таисии каждый год весной высаживает картофель и морковь. Картофель *Solanum tuberosum* и морковь *Daucus carota* — двудольные растения, для которых характерно наличие стержневой корневой системы. Почему во время уборки урожая у моркови легко обнаружить главный корень, а в случае с картофелем главный корень не удастся обнаружить (3 балла)? Как получить растение картофеля с наличием главного корня (3 балла)? Почему этот способ используют редко (3 балла)?

### **Решение**

При посадке картофеля используют клубни, которые представляют собой побеги, способные давать придаточные корни (3 балла). При посадке моркови используют семена, в которых находится зародыш с зародышевым корешком, из которого развивается главный корень (3 балла). Если картофель вырастить из семени, можно получить картофель с выраженным главным корнем. Вырашивание картофеля из семени приводит к низким урожаям клубней в первый год и экономически нецелесообразно (3 балла).

## **Задача 4.2.1.2. Проращивание подсолнечника (20 баллов)**

### **Условие**

Маша провела эксперимент по проращиванию семян подсолнечника. Для этого она поместила по 100 проросших семян подсолнечника в несколько кювет с войлочными ковриками. Одну из кювет она поливала водой, в другую добавила небольшое количество фосфата кальция, в третью добавила фосфат кальция и один из штаммов бактерии *Bacillus megaterium*, которую часто добавляют в качестве бактериального удобрения. Далее Маша измеряла длину побегов следующие несколько дней с помощью линейки и заносила результаты в таблицу. По результатам наблюдений ей удалось построить диаграмму, представленную на рис. 4.2.1. Планки погрешностей отображают доверительный интервал, в котором находится истинное среднее значение длины проростков.

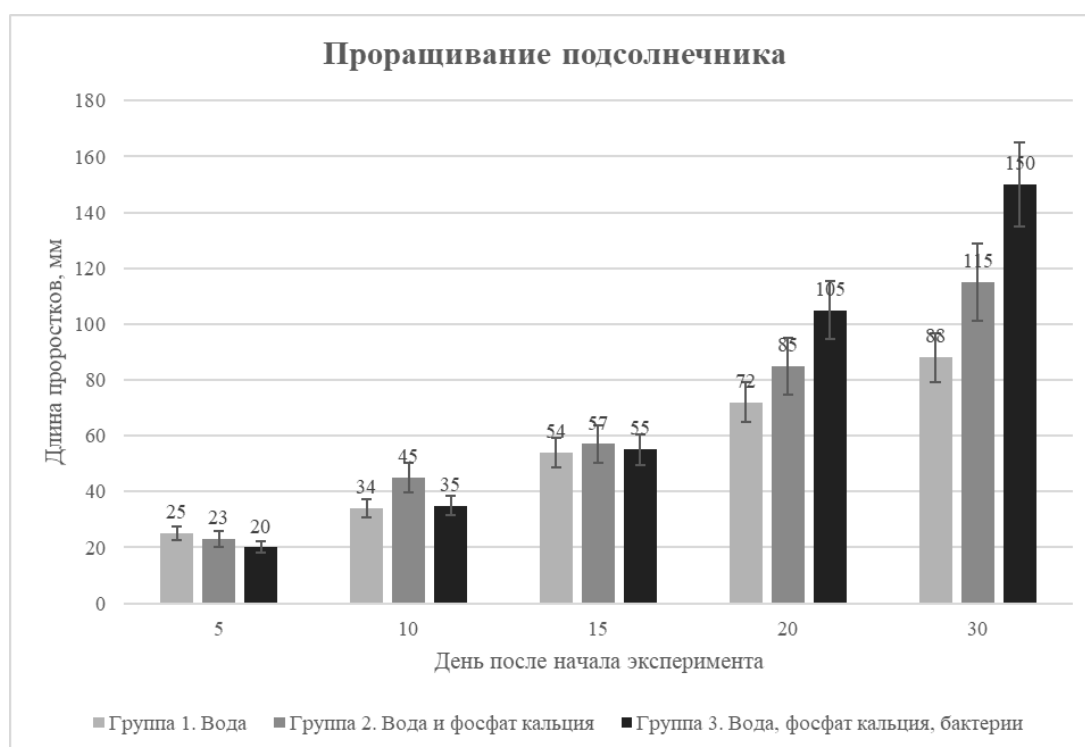


Рис. 4.2.1

Ответьте на вопросы, приведенные в заданиях.

**Задание 1.** (3 балла) Какая из групп в данном эксперименте является контрольной? Какие условия нужно соблюсти, чтобы можно было считать группу контрольной?

### **Решение**

Группу 2 (бактерий нет) можно считать контрольной для группы 3 (добавлены бактерии). Группу 1 (нет фосфата кальция) можно считать контролем для группы 2 (добавлен фосфат кальция). Все остальные условия (за исключением факторов различий — бактерии, фосфат) в группах должны быть одинаковыми (температура, влажность, освещенность, концентрация иных веществ), чтобы исключить влияния этих факторов.

**Задание 2.** (6 баллов) Какие из утверждений непосредственно вытекают из эксперимента:

- а) На 15-й день длина проростков подсолнечника значимо не различалась в разных группах.
- б) На 20-й день наблюдается значимое различие между длиной проростков подсолнечника между группами 1 и 2.
- в) Бактерии положительно влияют на рост растений.
- г) Растения в 3-й группе будут иметь большую длину во взрослом состоянии.
- д) Наличие дополнительных фосфатов стимулирует скорость роста проростков подсолнечника.
- е) Скорость роста проростков подсолнечника, получающих воду и бактерию

*Bacillus megaterium*, будет выше, чем для 2-й группы.

### **Решение**

Верные утверждения, следующие из текста, рисунка задачи: а и д; неверные утверждения: б, в, г, е.

**Задание 3.** (5 баллов) Предложите гипотезы, объясняющие, по какой причине на 30-й день длина проростков в 3-й группе превосходит длину во 2-й группе, если известно, что условия выращивания были одинаковыми.

### **Решение**

В 3-й группе присутствуют бактерии по сравнению со 2-й группой. Влияние бактерий может быть связано:

- с фиксацией атмосферного азота,
- с выделением веществ, повышающих доступность фосфата,
- с выделением ростовых факторов (в т. ч. растительных гормонов),
- с вытеснением патогенной микрофлоры.

За каждый пункт или за любое другое разумное объяснение — по 1 баллу, но не более 5 баллов.

**Задание 4.** (6 баллов) Почему доступный азот и фосфор могут ускорять рост растений? По какой причине именно эти элементы являются наиболее важными? Как растения, живущие на бедных почвах, решают проблему недостатка азота и фосфора?

### **Решение**

Азот и фосфор входят в состав белков и нуклеиновых кислот (2 балла), их недостаток может замедлять рост растения (1 балл). Клубеньки с симбиотическими азотфиксаторами, переход к хищничеству с формированием ловчих органов (3 балла).

## **Задача 4.2.1.3. Клеточная диффузия (18 баллов)**

### **Условие**

Проницаемость липидного бислоя в составе мембраны для различных веществ будет неодинаковой. Ключевыми параметрами, от которых будет зависеть возможность диффузии через мембрану, являются размер (молекулярная масса) молекул и наличие полярных и неполярных групп.

**Задание 1.** (6 баллов) Для каждого вещества выберите одно утверждение (обозначены буквенными кодами) о его размере (молекулярной массе).

Вещества:	Размер (молекулярная масса):
1. Азот.	А. Высокмолекулярные вещества, не могут проходить через липидный бислой.
2. Гемоглобин.	В. Вещества средней молекулярной массы.
3. Глюкоза.	С. Низкомолекулярные вещества, хорошо проходят через липидный бислой.
4. Инсулин.	
5. Аминокислота.	
6. Гелий.	

### Решение

1 — С, 2 — А, 3 — В, 4 — А, 5 — В, 6 — С.

**Задание 2.** (2 балла) Какое из перечисленных веществ будет быстрее всего проникать через липидный бислой? Кстати, именно из-за этого его используют глубоководные водолазы.

### Решение

Атом гелия имеет самый маленький размер. Гелиево-кислородные смеси используют при глубоководных погружениях, чтобы избежать кессонной болезни.

**Задание 3.** (6 баллов) Для скорости диффузии через мембрану обычно действует закон Фика:  $Q = \Delta C \cdot S/d$ , где  $S$  — площадь поверхности мембраны,  $\Delta C$  — разница концентрации по разные стороны мембраны,  $d$  — толщина мембраны,  $Q$  — скорость диффузии. В центре клетки одноклеточного организма кубической формы со стороной  $2x$  находится митохондрия. Оцените, во сколько раз изменится скорость диффузии кислорода, если:

- клетка растёт, увеличивая длину ребра до  $3x$ ;
- клетка, не меняя свой объём, уплощается в два раза, митохондрия продолжает находиться в центре.

### Решение

Вычислим скорость диффузии для исходного состояния:  $Q \sim 6 \cdot 4x^2/x = 24x$  (1 балл). Вычислим скорость диффузии для клетки 1:  $Q \sim 6 \cdot 9x^2/1,5x = 36x$ . Скорость диффузии для клетки 1 будет в  $36/24 = 1,5$  раза выше исходной (1 балл).

Вычислим скорость диффузии для клетки 2: при уменьшении высоты клетки в два раза при сохранении объёма, в два раза увеличивается площадь основания, при этом в два раза уменьшается расстояние диффузии. Скорость диффузии через эту грань:  $2 \cdot 4x^2/0,5x = 16x$  (1 балл). Высота боковых граней уменьшилась в два раза, при этом длина боковых граней увеличивается в  $\sqrt{2}$  раза. Расстояние увеличивается в  $\sqrt{2}$  раза:  $2\sqrt{2}x \cdot x/\sqrt{2}x = 2x$ . (1 балл). Таким образом, суммарную скорость диффузии можно оценить как  $Q \sim 2 \cdot 16x + 4 \cdot 2x = 40x$  (1 балл). Скорость диффузии для клетки 2 будет составлять  $10/6$  от исходной (1 балл).



**Задание 4.** (6 баллов) Полярные и заряженные вещества (ионы, глюкоза, аминокислоты), несмотря на небольшой размер, хорошо взаимодействуют с водой и плохо проходят через липидный бислой. Чтобы обеспечить транспорт этих веществ через мембрану, в ней находятся транспортные белки (белки-каналы, белки-переносчики). Обычно таких белков в мембране находится конечное количество. На рис. 4.2.2 приведены графики скорости проникновения двух веществ А и Б. Какой из графиков описывает диффузию кислорода, а какой — глюкозы? Аргументируйте ответ.

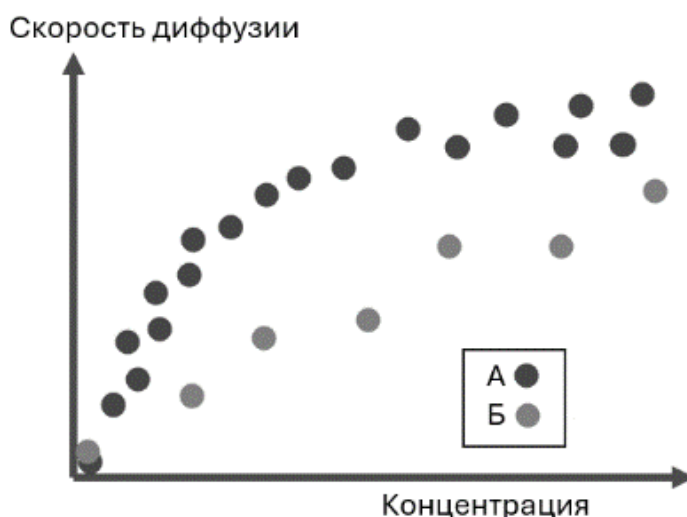


Рис. 4.2.2

### Решение

График Б лучше описывает диффузию кислорода, поскольку представляет прямую линию (1 балл). В задании 3.3 приведено уравнение Фика, где видно, что скорость диффузии прямо пропорциональна концентрации. (1 балл)

График А лучше описывает диффузию для глюкозы. (1 балл) Количество белков-переносчиков для глюкозы в мембране конечное. Когда задействованы все белки-переносчики, находящиеся в мембране, скорость диффузии перестает расти при дальнейшем увеличении концентрации глюкозы. (3 балла)

### Задача 4.2.1.4. Растительные гибриды (16 баллов)

#### Условие

Растения часто имеют механизмы защиты от самоопыления, и одним из таких механизмов является самостерильность. Пример реализации этого явления — локусы самостерильности. Пыльца прорастает на рыльце пестика лишь в том случае, если она не содержит аллелей, которые есть у клеток рыльца пестика.

Какое расщепление по генотипам можно ожидать при скрещивании  $S_1S_1 \times S_2S_3$  в  $F_1$  и  $F_2$ ,  $F_3$ ? Приведите схемы скрещиваний, укажите генотипы гамет, укажите, какие гаметы погибают. Считайте, что растения исключительно диплоидные.

**Решение**

1. Рассчитаем
- $F_1$
- :

$$\begin{aligned} P: & S_1S_1 \times S_2S_3; \\ G: & S_1 \quad S_2, S_3; \\ F_1: & 1S_1S_2 : 1S_1S_3. \end{aligned}$$

(2 балла — гаметы и расщепление  $F_1$ )

2. Рассчитаем
- $F_2$
- .
- $S_1S_2$
- и
- $S_1S_3$
- способны скрещиваться только между собой (1 балл):

$$\begin{aligned} F_1: & S_1S_2 \times S_1S_3; \\ G: & S_1, S_2 \quad S_1, S_3 - \end{aligned}$$

— гаметы  $S_1$  не образуются в пыльниках, но образуются в плодolistиках. Возможны два направления скрещивания, когда пыльца переносится от  $S_1S_2$  к  $S_1S_3$  и наоборот:

$$\begin{array}{ll} G: S_2 \quad S_1, S_3; & \text{или} \\ F_2: 1S_2S_3 : 1S_2S_1; & G: S_1, S_2 \quad S_3; \\ (2 \text{ балла}) & F_2: 1S_2S_3 : 1S_1S_3. \\ & (2 \text{ балла}) \end{array}$$

Поскольку эти два варианта равновероятны, то

$$F_2 : 1 S_1S_2 : 2 S_2S_3 : 1 S_1S_3 (1 \text{ балл}).$$

3. Рассчитаем
- $F_3$
- .

Частота аллелей в пыльце для  $F_2 : 1 S_1S_2 : 2 S_2S_3 : 1 S_1S_3$ . Соотношение аллелей в пыльце будет:  $2 S_1 : 3 S_2 : 3 S_3$  (1 балл). При этом каждый из генотипов пыльников сможет прорасти только на одном варианте генотипов материнских растений, см. таблицу 4.2.1.

Таблица 4.2.1

$P : 2S_1 \times 2\varphi S_2S_3$	$P : 3S_2 \times 1\varphi S_1S_3$	$P : 3S_3 \times 1\varphi S_1S_2$
$G : 2S_1 \quad 2S_2, 2S_3$	$G : 3S_2 \quad 1S_1, 1S_3$	$G : 3S_3 \quad 1S_1, 1S_2$
$F_3 : 4S_1S_2 : 4S_1S_3$	$F_3 : 3S_1S_2 : 3S_2S_3$	$F_3 : 3S_1S_3 : 3S_2S_3$
(2 балла)	(2 балла)	(2 балла)

Складывая вместе, получаем  $F_3 : 7 S_1S_2 : 6 S_2S_3 : 7 S_1S_3$  (2 балла).**Задача 4.2.1.5. Синтез олигонуклеотидов и ПЦР (20 баллов)****Условие**

Большинство олигонуклеотидов синтезируется с помощью амидофосфитного метода, при этом синтез идет на колонке, к твердой фазе которой своим 3'-концом прикрепляется растущий олигонуклеотид. Каждый следующий нуклеотид добавляется с 5'-конца, для этого колонка промывается несколькими растворами. Изменяя

растворы можно добиваться добавления разных нуклеотидов. Повторяя процесс циклически, можно наращивать длину олигонуклеотида до необходимой.

В некоторых случаях при проведении ПЦР используют вырожденные праймеры, это смесь сходных праймеров, у которых в одной и той же позиции могут располагаться разные нуклеотиды. В этом случае в процессе синтеза добавляется смесь нескольких растворов, что приводит к тому, что на данной позиции может находиться комбинация нескольких нуклеотидов (например, А и G). Такой подход позволяет амплифицировать одни и те же фрагменты генома у различных организмов и не требует полного соответствия, например, его удобно использовать для амплификации генов у некультивируемых микроорганизмов в процессе поиска новых интересных для человека генов.

**Задание 1.** (6 баллов) Рассчитайте, какое количество **различных праймеров** содержится в каждом из двух вырожденных праймеров, если известно, что:

- N = A, T, C, G;
- B = G, C, T;
- D = A, G, T;
- H = A, C, T;
- V = A, G, C;
- R = A, G;
- Y = C, T;
- W = A, T;
- K = G, T;
- M = A, C;
- S = C, G.

Иногда применяют азотистое основание инозин (I), которое может образовывать водородные связи с C, U, T, A. В этом случае символа I в последовательности праймера присутствует лишь один вариант, а в случае наличия в праймере его аналога H — смесь из трех вариантов нуклеотидов в данной позиции.

Таблица 4.2.2

Название праймера	Последовательность
NF	TGYGAYCCNAARGCNGA
NR	CIGGIGARATGATGGC

### **Решение**

Для праймера NF в трех позициях (Y, Y, R) присутствуют два варианта нуклеотидов, а в двух (N, N) — четыре (1 балл). Таким образом, этот вырожденный праймер является смесью из  $2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 4 = 2^7 = 128$  праймеров (2 балла).

Для праймера NR в одной позиции (R) присутствуют два варианта нуклеотидов (1 балл), а в двух позициях находится инозин (I), это увеличивает количество возможных сайтов, которые может потенциально связать такой праймер, но не количество различных праймеров (1 балл). Таким образом, этот вырожденный

праймер является смесью из 2 праймеров (CIGGIGAAATGATGGC и CIGGIGAGATGATGGC) (1 балл).

**Задание 2.** (8 баллов) С использованием этих праймеров для чистой культуры нового штамма азотфиксирующих бактерий провели градиентную ПЦР, далее продукты ПЦР анализировали с помощью агарозного гель-электрофореза. В градиентной ПЦР происходит амплификация при различной температуре отжига праймеров, температура отжига праймеров приведена в таблице 4.2.3.

Таблица 4.2.3

Температура отжига, °C					Маркер длины, п. о.
53	55	58	60	63	
	■	■	■		900
					800
					700
					600
					500
■					400
■	■				300
■	■				200

Объясните, по какой причине целевого продукта нет при амплификации при 53 °C и при 63 °C?

### Решение

При температуре отжига выше температуры плавления праймеров праймеры **не могут образовать димеры с матричными цепями**, а значит, ДНК-полимераза **не может синтезировать вторую цепь** по матричной цепи ДНК, поэтому амплификация не идет (3 балла).

При низкой температуре существенно **увеличивается число возможных участков**, с которыми может связаться праймер, поскольку **не требуется полное комплементарное соответствие матричной ДНК и праймера**. Поэтому амплификация идет неспецифически. Если праймеры в ходе неспецифической амплификации формируют продукт меньшей длины, то **продукты меньшей длины получают преимущество** перед более длинными продуктами в ходе конкуренции за ферменты, т. к. **время их амплификации меньше**. Поэтому **целевой продукт может исчезнуть** из-за более высокой эффективности амплификации коротких продуктов (5 баллов).

**Задание 3.** (4 балла) Какая температура отжига будет оптимальна для амплификации, если известно, что длина целевого продукта около 900 пар оснований?

### Решение

Оптимальной для отжига праймеров будет температура 58 °C (2 балла). При

этой температуре амплифицируется **наибольшее количество целевого продукта** длиной 900 пар оснований, при этом праймеры работают специфически, **узнают только участки целевого гена** (2 балла).

**Задание 4.** (2 балла) Оцените температуру плавления праймера.

### **Решение**

В интервале **от 60 °С** (образуются димеры между праймером и матрицей) **до 63 °С** (нет димеров между праймером и матрицей) (2 балла за любое значение в пределах интервала или указание верного интервала.)

## **4.2.2. Биология. 10–11 классы**

### **Задача 4.2.2.1. Вырожденные праймеры (38 баллов)**

#### **Условие**

Большинство олигонуклеотидов-праймеров для ПЦР синтезируют с помощью амидофосфитного метода, при этом синтез идет на колонке, к твердой фазе которой своим 3'-концом прикрепляется растущий олигонуклеотид. Каждый следующий нуклеотид добавляется с 5'-конца, для этого колонка промывается несколькими растворами, изменяя растворы можно добиваться добавления разных нуклеотидов. Повторяя процесс циклически, можно наращивать длину олигонуклеотида до необходимой.

В некоторых случаях при проведении ПЦР используют вырожденные праймеры, это смесь сходных праймеров, у которых в одной и той же позиции могут располагаться разные нуклеотиды. В этом случае в процессе синтеза добавляется смесь нескольких растворов, что приводит к тому, что на данной позиции может находиться комбинация нескольких нуклеотидов (например, А и G). Такой подход позволяет амплифицировать одни и те же фрагменты генома у различных организмов и не требует полного соответствия, например, его удобно использовать для амплификации генов у некультивируемых микроорганизмов в процессе поиска новых, интересных для человека генов.

**Задание 1.** (6 баллов) Рассчитайте, какое количество **различных праймеров** содержится в каждом из двух вырожденных праймеров, если известно, что:

- N = A, T, C, G;
- B = G, C, T;
- D = A, G, T;
- H = A, C, T;
- V = A, G, C;
- R = A, G;
- Y = C, T;
- W = A, T;
- K = G, T;

- M = A, C;
- S = C, G.

Иногда применяют азотистое основание инозин (I), которое может образовывать водородные связи с C, U, T, A. В этом случае символа I в последовательности праймера присутствует лишь один вариант, а в случае наличия в праймере его аналога H — смесь из трех вариантов нуклеотидов в данной позиции.

Таблица 4.2.4

Название праймера	Последовательность
NF	TGYGAYCCNAARGCNGA
NR	CIGGIGARATGATGGC









### Решение

Для праймера NF в трех позициях (Y, Y, R) присутствуют два варианта нуклеотидов, а в двух (N, N) — четыре (1 балл). Таким образом, этот вырожденный праймер является смесью из  $2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 4 = 2^7 = 128$  праймеров (2 балла).

Для праймера NR в одной позиции (R) присутствуют два варианта нуклеотидов (1 балл), а в двух позициях находится инозин (I), это увеличивает количество возможных сайтов, которые может потенциально связать такой праймер, но не количество различных праймеров (1 балл). Таким образом, этот вырожденный праймер является смесью из двух праймеров (CIGGIGAAATGATGGC и CIGGIGAGATGATGGC) (1 балл).

**Задание 2.** (8 баллов) С использованием этих праймеров для чистой культуры нового штамма азотфиксирующих бактерий провели градиентную ПЦР, далее продукты ПЦР анализировали с помощью агарозного гель-электрофореза. В градиентной ПЦР происходит амплификация при различной температуре отжига праймеров, температура отжига праймеров приведена в таблице 4.2.5.

Таблица 4.2.5

Температура отжига, °C					Маркер длины, п. о.
53	55	58	60	63	
					900
					800
					700
					600
					500
					400
					300
					200

Объясните, по какой причине целевого продукта нет при амплификации при 53 °С и при 63 °С?

### **Решение**

При **температуре отжига выше температуры плавления праймеров** праймеры **не могут образовать димеры с матричными цепями**, а значит, ДНК-полимераза **не может синтезировать вторую цепь** по матричной цепи ДНК, поэтому амплификация не идет. (3 балла).

При низкой температуре существенно **увеличивается число возможных участков**, с которыми может связаться праймер, поскольку **не требуется полное комплементарное соответствие** матричной ДНК и праймера. Поэтому амплификация идет неспецифически. Если праймеры в ходе неспецифической амплификации формируют продукт меньшей длины, то продукты **меньшей длины получают преимущество** перед более длинными продуктами в ходе конкуренции за ферменты, т.к. **время их амплификации меньше**. Поэтому **целевой продукт может исчезнуть** из-за более высокой эффективности амплификации коротких продуктов (5 баллов).

**Задание 3.** (4 балла) Какая температура отжига будет оптимальна для амплификации, если известно, что длина целевого продукта около 900 пар оснований?

### **Решение**

Оптимальной для отжига праймеров будет температура 58 °С (2 балла). При этой температуре амплифицируется **наибольшее количество целевого продукта** длиной 900 пар оснований, при этом праймеры работают специфически, **узнают только участки целевого гена** (2 балла).

**Задание 4.** (4 балла) Оцените температуру плавления праймера.

### **Решение**

В интервале **от 60 °С** (образуются димеры между праймером и матрицей) **до 63 °С** (нет димеров между праймером и матрицей) (4 балла — по 2 балла за верхнюю и нижнюю границу интервала). Температура плавления всегда выше температуры отжига.

**Задание 5.** (5 баллов)

В геле также можно наблюдать наличие ярких полос до 100 п. о., причем при более низкой температуре отжига яркость этих полос сильно увеличивается. Что это за полосы?

### **Решение**

При низких температурах праймеры, **гибридуясь между собой**, могут образовывать короткие **димеры**, которые **могут достраиваться полимеразой**. Поскольку они очень короткие, при низких температурах они максимально

**быстро амплифицируются** и могут **затруднять амплификацию** целевого фрагмента.

**Задание 6** (7 баллов) Чтобы стабилизировать амплификацию, к вырожденным праймерам часто удлиняют с 5'-конца линкерными последовательностями, которые заведомо не встречаются в ДНК исследуемых организмов, например, вирусными.

5'-Вирусная последовательность	Вырожденный праймер -3'
--------------------------------	-------------------------

Чем отличается амплификация на начальном и последующих циклах для таких гибридных праймеров? За счет чего происходит стабилизация амплификации?

### **Решение**

На первых циклах (1, 2) происходит связывание вырожденного праймера и исходной матричной ДНК исследуемого организма, при этом **линкерная вирусная последовательность не входит в димер**, т.к. **в геноме исследуемого организма ее нет**. Вырожденные праймеры представляют собой смесь сходных праймеров, что позволяет им **на первых циклах специфично взаимодействовать** с различающимися матрицами (в т. ч. и разных организмов). **Но чем большее количество праймеров в наборе, тем меньше становится концентрация каждого уникального праймера в наборе, что уменьшает выход реакции**. После 2-го цикла в смеси появляются матрицы, **содержащие вирусные последовательности**, с такими матрицами гибридные праймеры связываются лучше, чем с исходной матрицей, дальнейшая амплификация сильно облегчается, т.к. **температура плавления гибридного праймера** (вирусная последовательность с вырожденной последовательностью) существенно выше температуры отжига.

На последующих циклах **амплификация с исходной матрицы прекращается**.

**Задание 7** (4 балла) Для использования нового гена интересующего нас фермента из нового штамма продукт его амплификации часто встраивают в разные плазмиды. Какие требования нужно предъявить к линкерной последовательности, чтобы облегчить процесс встройки в плазмиду?

### **Решение**

Линкерные последовательности праймеров в ходе ПЦР будут **входить в продукт амплификации**. Это часто используется для **введения нужных генетических конструкций и сайтов**. В данном случае можно разместить **в линкерной части праймера сайт для эндонуклеазы рестрикции**, который необходим для встройки целевого продукта в плазмиду.



### Задача 4.2.2.2. Растительные гибриды (30 баллов)

#### Условие

Растения часто имеют механизмы защиты от самоопыления, и одним из таких механизмов является самостерильность. Пример реализации этого явления — локусы самостерильности. Пыльца прорастает на рыльце пестика лишь в том случае, если она не содержит аллелей, которые есть у клеток рыльца пестика.

**Задание 1.** (16 баллов) Какое расщепление по генотипам можно ожидать при скрещивании  $S_1S_1 \times S_2S_3$  в  $F_1$  и  $F_2$ ,  $F_3$ ? Приведите схемы скрещиваний, укажите генотипы гамет, укажите, какие гаметы погибают. Считайте, что растения исключительно диплоидные.

#### Решение

1. Рассчитаем  $F_1$ :

$$\begin{aligned} P: & S_1S_1 \times S_2S_3; \\ G: & S_1 \quad S_2, S_3; \\ F_1: & 1S_1S_2 : 1S_1S_3. \end{aligned}$$

(2 балла — гаметы и расщепление  $F_1$ )

2. Рассчитаем  $F_2$ .  $S_1S_2$  и  $S_1S_3$  способны скрещиваться только между собой (1 балл):

$$\begin{aligned} F_1: & S_1S_2 \times S_1S_3; \\ G: & S_1, S_2 \quad S_1, S_3 - \end{aligned}$$

— гаметы  $S_1$  не образуются в пыльниках, но образуются в плодолистиках.

Возможны два направления скрещивания, когда пыльца переносится от  $S_1S_2$  к  $S_1S_3$  и наоборот:

$$\begin{array}{ll} G: S_2 \quad S_1, S_3; & \text{или} \quad G: S_1, S_2 \quad S_3; \\ F_2: 1S_2S_3 : 1S_2S_1; & F_2: 1S_2S_3 : 1S_1S_3. \\ (2 \text{ балла}) & (2 \text{ балла}) \end{array}$$

Поскольку эти два варианта равновероятны, то

$$F_2 : 1 S_1S_2 : 2 S_2S_3 : 1 S_1S_3 (1 \text{ балл}).$$

3. Рассчитаем  $F_3$ .

Частота аллелей в пыльце для  $F_2 : 1 S_1S_2 : 2 S_2S_3 : 1 S_1S_3$ . Соотношение аллелей в пыльце будет:  $2 S_1 : 3 S_2 : 3 S_3$  (1 балл). При этом каждый из генотипов пыльников сможет прорасти только на одном варианте генотипов материнских растений, см. таблицу 4.2.7.

Таблица 4.2.7

$P : 2S_1 \times 2 \varphi S_2 S_3$ $G : 2S_1 \quad 2S_2, 2S_3$ $F3 : 4S_1 S_2 : 4S_1 S_3$	$P : 3S_2 \times 1 \varphi S_1 S_3$ $G : 3S_2 \quad 1S_1, 1S_3$ $F3 : 3S_1 S_2 : 3S_2 S_3$	$P : 3S_3 \times 1 \varphi S_1 S_2$ $G : 3S_3 \quad 1S_1, 1S_2$ $F3 : 3S_1 S_3 : 3S_2 S_3$
(2 балла)	(2 балла)	(2 балла)

Складывая вместе, получаем  $F3 : 7 S_1 S_2 : 6 S_2 S_3 : 7 S_1 S_3$  (1 балл).

**Задание 2.** (6 баллов) В семеноводческой компании скрещивают две линии растений, производя высокоурожайные гибриды, которые продают садоводам. Для чего можно использовать аллели самостерильности при производстве гибридов этих растений? Смогут ли садоводы самостоятельно получить семена, содержащие полезные признаки гибрида? С какими проблемами они столкнутся?

### Решение

Аллели самостерильности можно использовать для защиты от самоопыления и для того, чтобы направить скрещивание в нужном направлении (2 балла).

В случае отсутствия систем самостерильности приходилось бы удалять тычинки и заниматься переносом пыльцы с нужных растений (1 балл).

Также аллели самостерильности блокируют появление семян в случае опыления собственной пыльцой, поэтому садоводы не смогут получить семена гибридных растений (1 балл).

Однако если садовод произведет скрещивание гибридов с растением с иным генотипом (1 балл), то семена получить возможно, однако будет потеряна уникальная комбинация генов, приводящая к высокой продуктивности гибрида (1 балл).

**Задание 3.** (5 баллов) Предположим, в популяции  $N = 10\,000$  растений, где есть три аллеля самостерильности  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ , происходят случайные скрещивания и нет отбора, локус самостерильности расположен в аутосоме. Порассуждайте, что будет происходить в  $F_1$ , если частота одного из аллелей  $p(S_1) = 0,8$  будет больше, чем частоты двух других  $q(S_2) = 0,1$  и  $r(S_3) = 0,1$ .

### Решение

Частоты пыльников с разными генотипами будут совпадать с частотами соответствующих аллелей. Рассмотрим для примера пыльник с генотипом  $S_1$ , ее частота будет  $p$ . При этом такая пыльник сможет прорасти только на пестике с генотипом  $S_2 S_3$ , для которого частота будет пропорциональна  $qr$ . Вероятность такого скрещивания пропорциональна  $pqr$  (1 балл), при этом будут образовываться иные генотипы  $S_1 S_2$  ( $pqr/2$ ) и  $S_1 S_3$  ( $pqr/2$ ) (1 балл). Для любого другого генотипа пыльника верны аналогичные рассуждения, поэтому вероятность для каждого из гетерозигот  $S_i S_j$  будет  $pqr$ , а общая вероятность  $3pqr$  (1 балл). Значит, частота  $S_1 S_2$ ,  $S_2 S_3$ ,  $S_1 S_3$  будет равна  $1/3$ , а новые частоты будут  $p = q = r = 1/3$  (2 балла).

**Задание 3.** (3 балла) В ходе мутации образуется четвертый аллель  $S_m$ . Что будет

происходить с частотой аллеля  $S_m$  в ряду поколений? Какой конечной частоты достигнет аллель  $S_m$ ? Предположите, что будет происходить с числом аллелей самостерильности в ходе эволюции?

### **Решение**

Аллель  $S_m$  — редкий в популяции и будет быстро распространяться, поскольку на первых этапах начнет прорастать на всех пестиках (1 балл). В конечном счете частоты аллелей станут равными и составят  $1/4$  (1 балл). Число аллелей самостерильности может расти (1 балл).

## **Задача 4.2.2.3. Клеточная диффузия (22 балла)**

### **Условие**

Проницаемость липидного бислоя в составе мембраны для различных веществ будет неодинаковой. Ключевыми параметрами, от которых будет зависеть возможность диффузии через мембрану, являются размер (молекулярная масса) молекул и наличие полярных и неполярных групп.

**Задание 1.** (6 баллов) Для каждого вещества выберите два утверждения (обозначены буквенными кодами) о его размере (молекулярной массе) и о степени полярности.

#### **Вещества:**

1. Йод.
2. Поваренная соль.
3. Сахар.
4. Инсулин.
5. Лизин.
6. Каротин.

#### **Размер (молекулярная масса):**

- A. Высокомолекулярные вещества, не могут проходить через липидный бислой.
- B. Вещества средней молекулярной массы.
- C. Низкомолекулярные вещества, очень хорошо проходят через липидный бислой.

#### **Полярность вещества:**

- D. Неполярное, очень хорошо проходит через липидный бислой.
- E. Полярное.
- F. Несет заряды, не проходит через липидный бислой.

### **Решение**

1 — CD, 2 — CF, 3 — BE, 4 — AF, 5 — BF, 6 — BD. По 1 баллу за каждое верное двухбуквенное сочетание.

**Задание 2.** (2 балла) Почему через липидный бислой полярные и заряженные молекулы проникают плохо?

### **Решение**

Полярные и заряженные молекулы хорошо образуют электростатические (ионные, водородные) связи с водой, поэтому для того, чтобы перейти из воды

в липидный бислой, требуется дополнительная энергия на разрыв всех связей. Ионы часто покрыты гидратной оболочкой, которая еще увеличивает их размер.

**Задание 3.** (1 балл) Как проникает в клетку сильнополярные молекулы воды, если вспомнить, что любой липидный бислой является жидким?

**Решение**

В текучем билипидном слое образуются короткоживущие поры, через которые может проникать вода.

**Задание 4.** (1 балл) Каким образом в клетку проникают ионы и аминокислоты?

**Решение**

Ионы и аминокислоты не могут проходить через липидный бислой из-за наличия зарядов. Для них в мембране клетки существуют белки-каналы, белки-транспортёры (засчитывать в качестве ответа и облегченную диффузию).

**Задание 5.** (3 балла) На рисунке приведены графики скорости проникновения двух веществ А и Б. Какой из графиков (А или Б) лучше описывает диффузию для аминокислот? Почему для графика А скорость диффузии при больших концентрациях перестает увеличиваться, а для графика Б продолжает линейно расти?

**Решение**

График А лучше описывает диффузию для аминокислот (1 балл). Количество белков-переносчиков для ионов и аминокислот в мембране конечно. До тех пор, пока концентрации малы, действует линейная зависимость между концентрацией и скоростью диффузии. Как только задействованы все белки-переносчики, находящиеся в мембране, скорость диффузии перестает расти при дальнейшем увеличении концентрации (2 балла).

**Задание 6.** (3 балла) Известно, что на графиках показана диффузия D-глюкозы и L-глюкозы. Чем отличаются эти формы глюкозы? Сопоставьте, какой из графиков А и Б соответствует D-глюкозе, а какой — L-глюкозе, аргументируйте свой ответ.

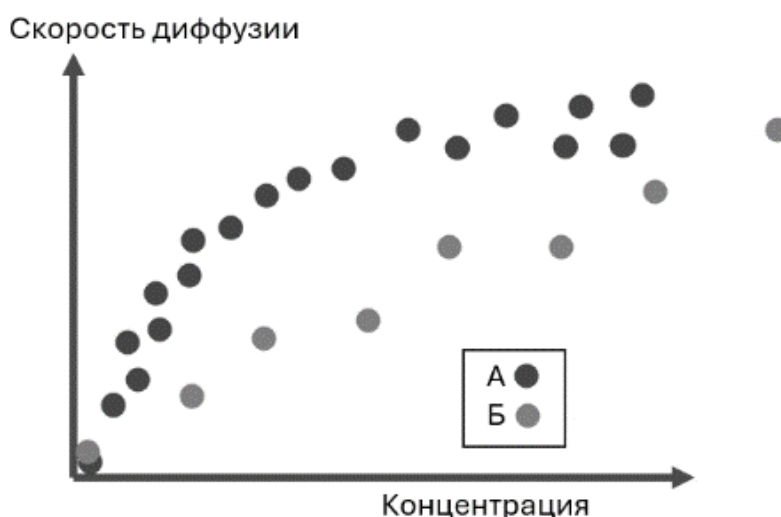


Рис. 4.2.3

**Решение**

D-глюкоза и L-глюкоза — оптические изомеры, зеркально-симметричные молекулы (1 балл). D-углеводы активно используются живыми клетками, в то же время L-углеводы не встречаются (кроме редчайших исключений) в живых организмах (1 балл). Для D-глюкозы в мембране клетки имеются каналы, т. к. данная молекула является важнейшей в клеточном метаболизме, а значит, подходящим графиком будет А. Для L-глюкозы каналов в мембране нет, а значит, ее скорость диффузии будет описываться графиком Б (1 балл).

**Задание 7.** (5 баллов) Для скорости диффузии через мембрану действует закон Фика:

$$Q = \Delta C \cdot S/d,$$

где  $S$  — площадь поверхности мембраны,  $\Delta C$  — разница концентрации по разные стороны мембраны,  $d$  — толщина мембраны,  $Q$  — скорость диффузии.

В центре клетки одноклеточного организма кубической формы со стороной  $2x$  находится митохондрия. Оцените, во сколько раз изменится доступность кислорода по сравнению с исходным состоянием, если:

- клетка растет, увеличивая длину ребра до  $3x$ ;
- клетка, не меняя свой объем, уплощается в 2 раза, оставаясь квадратной в сечении, митохондрия продолжает находиться в центре.

**Решение**

Вычислим скорость диффузии для исходного состояния:  $Q \sim 6 \cdot 4x^2/x = 24x$  (1 балл).

Вычислим скорость диффузии для клетки 1:  $Q \sim 6 \cdot 9x^2/1,5x = 36x$ . Скорость диффузии для клетки 1 будет в 1,5 раза выше исходной (1 балл).

Вычислим скорость диффузии для клетки 2.

При уменьшении высоты клетки в два раза при сохранении объема в два раза увеличивается площадь основания, при этом в два раза уменьшается расстояние диффузии. Скорость диффузии через эту грань:  $2 \cdot 4x^2 / 0,5x = 16x$  (1 балл). Высота боковых граней уменьшилась в два раза, при этом длина боковых граней увеличивается в  $\sqrt{2}$  раза. Расстояние увеличивается в  $\sqrt{2}$  раза:  $2\sqrt{2}x \cdot x / \sqrt{2}x = 2x$  (1 балл). Таким образом, суммарную скорость диффузии можно оценить как  $Q \sim 2 \cdot 16x + 4 \cdot 2x = 40x$ . Скорость диффузии для клетки 2 будет составлять 10/6 от исходной (2 балла).

#### **Задача 4.2.2.4. Теплая зима (10 баллов)**

##### **Условие**

Давно замечено, что весной и осенью одни и те же температурные условия за окном субъективно воспринимаются по-разному. Информация от терморепцепторов стекается в гипоталамус, который отвечает за терморегуляцию. Один из путей терморегуляции заключается в выделении гипоталамусом тиреолиберина, который приводит к высвобождению тиреотропного гормона (ТТГ) гипофизом. Под действием ТТГ железа **X** вырабатывает гормоны **Y** (малоактивен, много в крови) и **Z** (активен, мало в крови), используя для их синтеза аминокислоту **A** и простое вещество **B**. Дефицит **B** в еде приводит к нарушению синтеза этого гормона. Фермент отщепляет ион **B** и постепенно превращает **Y** в **Z**, продлевая действие этого высокоактивного гормона.

**Задание 1.** (4 балла) Назовите **X**, **Y**, **Z**, **A**, **B**.

##### **Решение**

**X** — щитовидная железа (1 балл), **Y** — тироксин (тетрайодтиронин, Т4), **Z** — трийодтиронин (Т3) (1 балл за два гормона), **A** — тирозин (1 балл), **B** — йод (1 балл).

**Задание 2.** (2 балла) Одной из мишеней гормона **Z** является бурый жир, который богат многочисленными каплями жира и митохондриями. Жир расщепляется на глицерин и жирные кислоты. Жирные кислоты транспортируются в митохондрии. Жирные кислоты в митохондриях находятся в комплексе с коферментом А (HS-CoA) и подвергаются циклическому  $\beta$ -окислению (см. рис. 4.2.4). В итоге в каждом цикле отщепляется двухуглеродный фрагмент ацетил-кофермент А ( $\text{CH}_3\text{--CO--SKoA}$ ), который в цикле трикарбоновых кислот (ЦТК, цикл Кребса) дает 3 молекулы NADH, 1 молекулу  $\text{FADH}_2$  и 1 молекулу АТФ. Рассчитайте, какое количество NADH,  $\text{FADH}_2$  и АТФ образуется из молекулы стеарил-КоА ( $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{CO--SKoA}$ ) в ходе протекания циклов  $\beta$ -окисления и цикла трикарбоновых кислот (ЦТК, цикл Кребса).

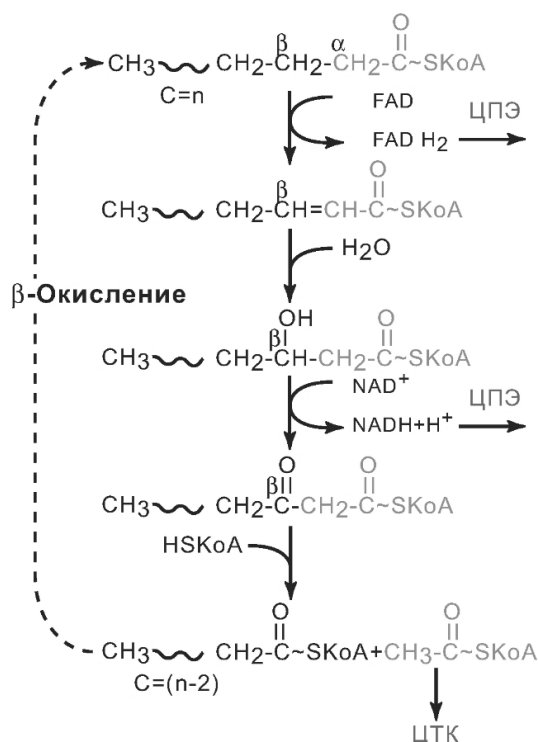


Рис. 4.2.4

**Решение**

Стеариновая кислота содержит 18 углеродов, если в ходе  $\beta$ -окисления отщепляется ацетил-КоА — двухуглеродный продукт ( $C_2$ ), то потребуется 8 циклов и получится 9 молекул ацетил-КоА (1 балл). 8 циклов  $\beta$ -окисления дадут 8 NADH и 8  $FADH_2$ . 9 молекул ацетил-КоА дадут 9 АТФ, 27 NADH и 9  $FADH_2$ . Суммируя, получаем 9 АТФ, 35 NADH и 17  $FADH_2$  (1 балл).

**Задание 3.** (1 балл) Обычно после протекания цикла Кребса и  $\beta$ -окисления энергия, заключенная в NADH и  $FADH_2$ , преобразуется в энергию АТФ в цепи переноса электронов: NADH — 2,5 АТФ и  $FADH_2$  — 1,5 АТФ. Рассчитайте, какое количество АТФ можно получить из NADH и  $FADH_2$ , которые были получены из стеарил-КоА на предыдущем этапе.

**Решение**

$17 FADH_2 \cdot 1,5 = 25,5$  АТФ;  $35 NADH \cdot 2,5 = 87,5$  АТФ; 9 АТФ, суммируя получаем 122 молекулы АТФ.

**Задание 4.** (3 балла) В цепи переноса электронов энергия, заключенная в NADH и  $FADH_2$ , преобразуется в несколько этапов. На последнем этапе энергия сохраняется в перепаде концентраций протонов в межмембранном пространстве и матриксе. На внутренней мембране митохондрий находится АТФ-синтетаза. Протоны, протекая из межмембранного пространства митохондрий через АТФ-синтетазу, приводят к синтезу АТФ, в которой и запасается энергия.

Поскольку гормон **Z** неполярный, то он легко проходит через мембраны клеток бурого жира и попадает в ядро клетки, где связывается с белками-рецепторами и запускает транскрипцию гена термогенина. После трансляции мРНК белок термогенин встраивается во внутреннюю мембрану митохондрий. Белок представляет канал для протонов. На последней стадии цепи переноса электронов протоны утекают из межмембранного пространства в матрикс через термогенин, синтез АТФ из NADH и FADH<sub>2</sub> прекращается, вся запасенная в них энергия превращается в тепло. Какое количество энергии выделяется в виде тепла из 1 моля стеариновой кислоты при отсутствии термогенина и при его присутствии, если принять, что стандартная энтальпия сгорания стеариновой кислоты 11 270 кДж/моль, энергия гидролиза АТФ 40 кДж/моль, синтез АТФ в цепи переноса электронов полностью прекращается. Для получения стеарил-КоА из стеариновой кислоты тратится 1 молекула АТФ. Насколько увеличилась выработка тепла (приведите ответ в процентах, округлив до целых)?

### **Решение**

Энергетический выход для стеариновой кислоты составит  $122 - 1 = 121$  молекулу АТФ, что соответствует  $121 \cdot 40 = 4\,840$  кДж. Без термогенина в виде тепла рассеивается  $11\,270 - 4\,840 = 6\,430$  кДж (1 балл). В присутствии термогенина выход составляет 9 молекул АТФ (в цикле Кребса) – 1 молекула (активация стеариновой кислоты) = 8 молекул АТФ, что соответствует  $8 \cdot 40 = 320$  кДж. С термогенином в виде тепла рассеивается  $11\,270 - 320 = 10\,950$  кДж (1 балл). Разделим  $10\,950 / 6\,430 = 1,70$ . Выработка тепла увеличилась на 70% (1 балл).



### 4.2.3. Химия. 8–9 классы

#### Задача 4.2.3.1. Откуда корни растут? (27 баллов)

##### Условие

В прошлом, 2024 году, свой юбилей праздновал Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН — ему исполнилось 40 лет. Изначально он был создан как Новосибирский институт биоорганической химии СО АН СССР, которым руководил академик Дмитрий Георгиевич Кнорре. Он являлся деканом факультета естественных наук НГУ и был специалистом в области химической кинетики, молекулярной биологии и биоорганической химии. В то время в институте работа велась по трем основным направлениям: расшифровка геномов различных вирусов, создание базы химии нуклеиновых кислот, разработка и создание различных приборов.

Сейчас в лабораториях Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН проводятся самые разные исследования:

- генодиагностика инфекционных, аутоиммунных и опухолевых заболеваний,
- производство ферментов для биотехнологии и медицинской диагностики,
- синтез олигонуклеотидов, их производных и нуклеозидтрифосфатов,
- создание противораковых препаратов направленного действия.

В институте активно разрабатываются методы синтетической биологии, геномного редактирования, а все лаборатории оснащены передовым оборудованием, с частью которого участники Олимпиады уже успели познакомиться на заключительном этапе.

**Задание 1.** (25,5 баллов) Разгадайте крисс-кросс кроссворд (таблица 4.2.8), в котором зашифрованы названия различных приборов, химической посуды и реактивов, а также фамилии некоторых ученых, в честь которых названы некоторые предметы. **Обратите внимание!** Слова 14 и 16 не пересекаются по последней букве.

1. Устройство, которое разделяет смеси на фракции с помощью центробежной силы.
2. Устройство, перемешивающее вещество в пробирке путем постоянного переворачивания.
3. Прибор для определения концентрации раствора путем пропускания света через кювету с раствором исследуемого образца.
4. Большое устройство для обеспечения стерильных условий. Необходим, например, для работы с клеточными культурами.
5. Горелка для жидкого топлива. В лаборатории используется для проведения качественных реакций при нагревании или стерилизации шпателей для посева клеток.
6. Фамилия ассистента Роберта Коха, в честь которого названа посуда, в которой на питательной среде растут клеточные культуры.
7. Герметичный аппарат, в котором проводят химические реакции, требующие повышенного давления и температуры.

8. Прибор, позволяющий очистить проточную воду от нежелательных примесей методом нагрева и конденсации воды.
9. Прибор, позволяющий задавать термоциклические программы. Иногда включает в себя детектор люминесценции для определения ее интенсивности на каждом цикле.
10. Линейный полисахарид, образованный из чередующихся остатков  $\beta$ -D-галактопиранозы и 3,6-ангидридо- $\alpha$ -L-галактопиранозы, объединенных связью 1 $\rightarrow$ 4.
11. Стеклопосуда с длинным суженным горлышком для проведения химических реакций.
12. Прибор для точного определения массы навески.
13. Устройство для поддержания постоянной температуры.
14. Приспособление для переноса жидкости точно определенного объема (7 букв).
15. Фамилия ученого, который исследовал процесс брожения и сущность разных болезней. В его честь названо пластиковое приспособление для посева клеточных культур.
16. Запаянная с одного конца трубка из тонкого стекла для проведения качественных химических реакций.
17. Оптический прибор для многократного увеличения образца. Используется, например, для изучения клеток и тканей.
18. Прибор, служащий для разделения веществ из смеси на отдельные компоненты за счет разного связывания каждого отдельного вещества сорбентом.
19. Метод разделения продуктов реакции по массе путем их движения сквозь поры геля под действием электрического тока.

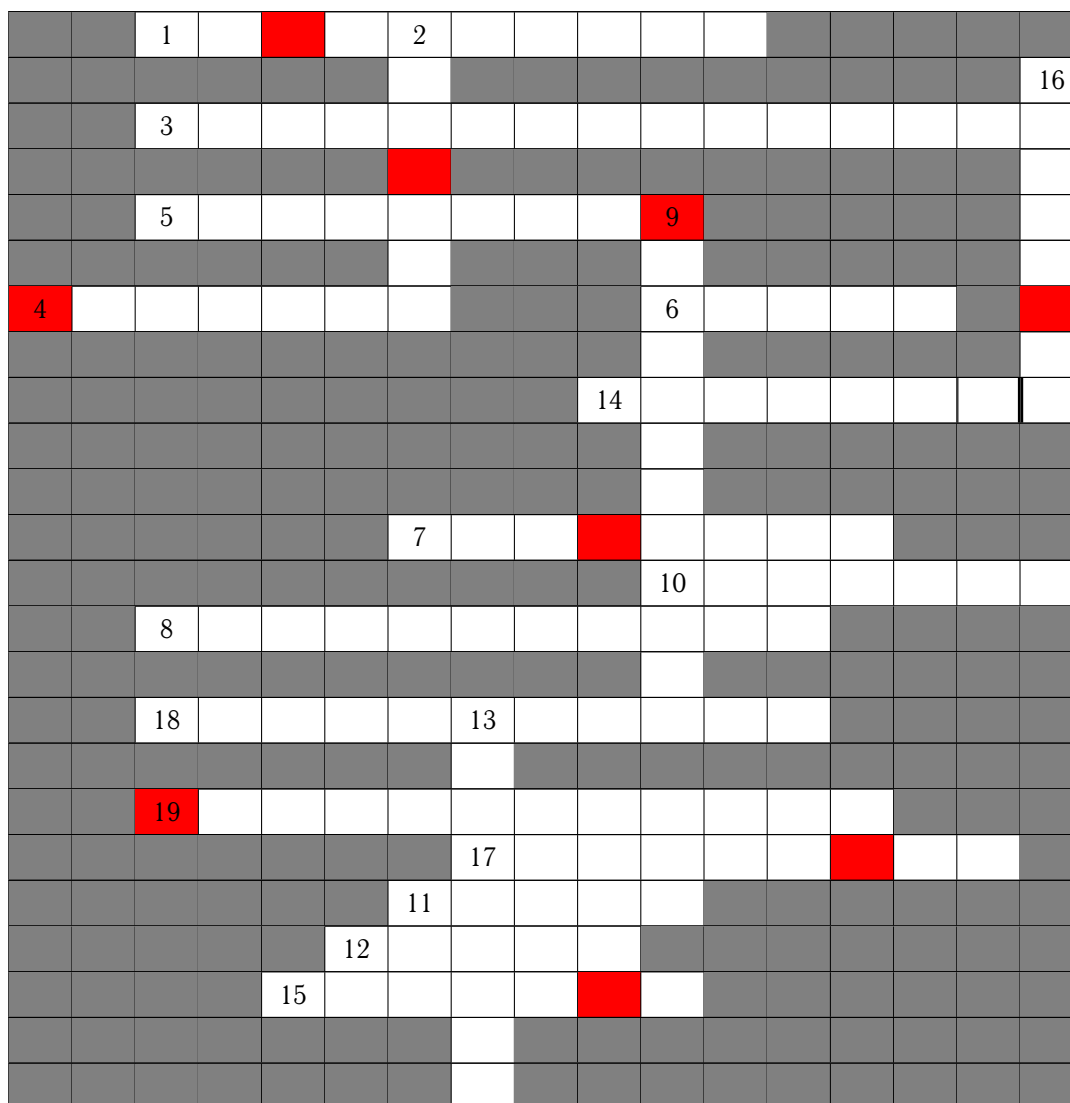
### **Решение**

1. Центрифуга.
2. Ротатор.
3. Спектрофотометр.
4. Ламинар.
5. Спиртовка.
6. Петри.
7. Автоклав.
8. Дистиллятор.
9. Амплификатор.
10. Агароза.
11. Колба.
12. Весы.
13. Термостат.
14. Пипетка.
15. Пастер.
16. Пробирка.

17. Микроскоп.  
 18. Хроматограф.  
 19. Электрофорез.

Слова 11, 12, 16, 17, 5, 14 — по 1 баллу, остальные по 1,5 балла. Всего 25,5 баллов.

Таблица 4.2.8. Кроссворд



**Задание 2.** (1,5 балла) Из выделенных в кроссворде букв сложите слово «Должность студента», низшая должность в лаборатории.

**Решение**

Лаборант — 1,5 балла.

### Задача 4.2.3.2. Хитрое оружие (25 баллов)

#### Условие

Представьте себе, что вы живете не в XXI веке, а на 7–10 веков раньше. Может быть, вы — рыцарь, и скоро рыцарский турнир, но ваши с противником силы не равны и кажется, что поражения вам не избежать? А может быть, вы — фрейлина при королевском дворе, где враги вашего правителя замышляют заговор против него? Вы понимаете, что тут без хитрости не обойтись!



Рис. 4.2.5

Простое вещество, образованное элементом X, — редкий активный металл. Препараты его солей широко используются в психиатрии для лечения биполярного аффективного расстройства (БАР) I и II типа, а также в качестве поддерживающей терапии для снижения риска возникновения рецидива.

Ионы данного металла выступают антагонистом ионов натрия в нервных и мышечных клетках. Таким образом они ослабляют проведение нервных импульсов (этим объясняется одно из частых побочных действий препаратов металла X — мышечная слабость). X также влияет на метаболизм и транспорт моноаминов (норадреналина, серотонина), повышает чувствительность некоторых областей мозга к дофамину.

В основе лечения препаратами X биполярных расстройств лежит их свойство относительно селективно ингибировать киназу гликогенсинтазы-3 (GSK-3) путем конкуренции с ионами магния.

На данной схеме (рис. 4.2.6) представлены превращения элемента X и его соединений. Все соединения от A до G содержат X. Соединения E, F, G используются в медицине как действующие вещества в препаратах X для лечения БАР I и II типа.

Соединение A — бинарное, получается при сгорании X в кислороде [1], причем в нем  $\omega(X) = 46,5\%$  по массе. X также является единственным металлом, который реагирует с азотом воздуха с образованием соединения B [2]. Кроме того, X реагирует с водородом с образованием C [3]. A, B и C гидролизуются (реагируют с водой) с образованием одного и того же продукта D, содержащего X [4, 5, 6].

При добавлении к D углекислого газа (D в избытке) образуется соединение

Е [7], которое является самым распространенным действующим веществом в препаратах Х. При добавлении к В серной кислоты образуется смесь двух средних солей [8], одна из которых — F — содержит Х. И наконец, при взаимодействии F с хлоридом бария получается соль G [9].

1. Определите элемент X и все его соединения, упомянутые в задаче.
2. Назовите соединения А–G.
3. Напишите реакции 1–9.

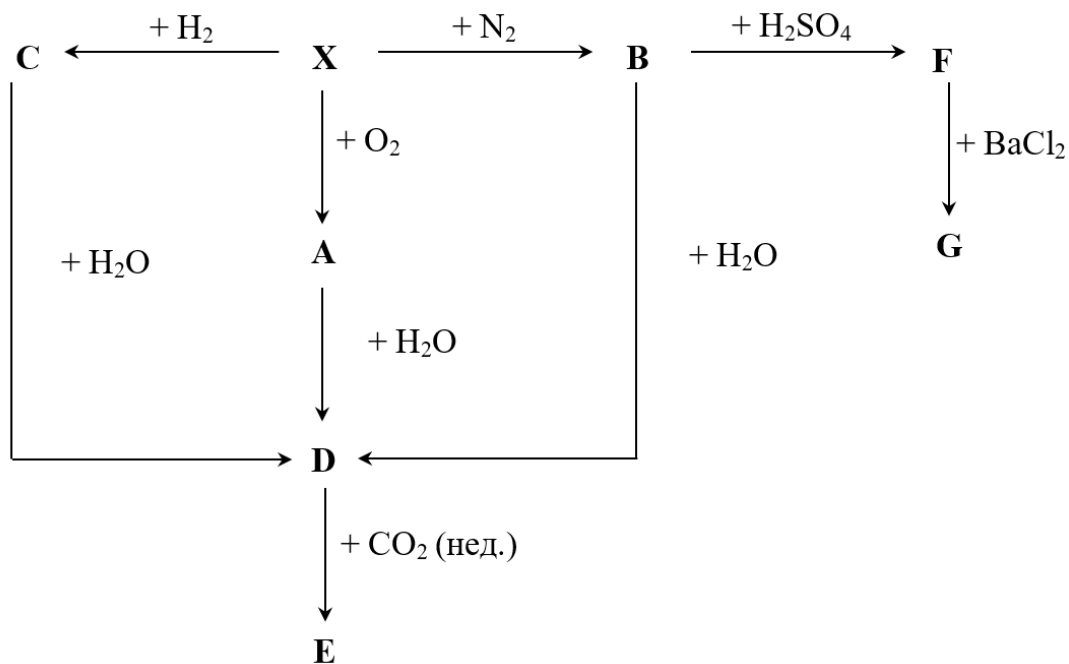


Рис. 4.2.6

### Решение

1. X — Li (или литий) — 2 балла.
2. А —  $\text{Li}_2\text{O}$ , оксид лития. В —  $\text{Li}_3\text{N}$ , нитрид лития. С —  $\text{LiH}$ , гидрид лития. D —  $\text{LiOH}$ , гидроксид лития. Е —  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ , карбонат лития. F —  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ , сульфат лития. G —  $\text{LiCl}$ , хлорид лития.

Верно указано соединение — 1 балл, верно указано название — 1 балл. Всего 14 баллов.

3. [1]  $4\text{Li} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{Li}_2\text{O}$ .  
 [2]  $6\text{Li} + \text{N}_2 \longrightarrow 2\text{Li}_3\text{N}$ .  
 [3]  $2\text{Li} + \text{H}_2 \longrightarrow 2\text{LiH}$ .  
 [4]  $\text{Li}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{LiOH}$ .  
 [5]  $\text{Li}_3\text{N} + 3\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3\text{LiOH} + \text{NH}_3 \uparrow$ .  
 [6]  $\text{LiH} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{LiOH} + \text{H}_2 \uparrow$ .  
 [7]  $2\text{LiOH} + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ .  
 [8]  $2\text{Li}_3\text{N} + 4\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow 3\text{Li}_2\text{SO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .  
 [9]  $\text{Li}_2\text{SO}_4 + \text{BaCl}_2 \longrightarrow 2\text{LiCl} + \text{BaSO}_4 \downarrow$ .

Верно написано уравнение реакции — 1 балл. Всего 9 баллов.

### Задача 4.2.3.3. Замедление (21 балл)

#### Условие

Вещество **X** — широко используемый ингибитор протеаз и эстераз, имеющий большое значение для биохимических исследований. Его основная функция заключается в ковалентном ингибировании протеаз. При полном сгорании вещества **X** образуются углекислый газ, серная кислота, плавиковая кислота и вода в соотношении 7 : 1 : 1 : 2. Известно, что массовая доля кислорода в соединении составляет 18,4%. Также известно, что в структуре содержится фенильный фрагмент, ( $C_6H_5$  или Ph), присутствует связь C–S и отсутствует связь C–F, сера имеет связь с четырьмя атомами, а водород связан только с атомами углерода. При реакции **X** с водой постепенно образуется смесь двух кислот **Y** и **Z** ( $M_z > M_y$ ). Недавно ученые показали, что за счет данной реакции вещество **X** можно эффективно использовать для реминерализации эмали. В основе лежит реакция гидроксиапатита,  $Ca_5(PO_4)_3(OH)$ , содержащегося в зубной эмали, с кислотой **Y** (реакция 1). Также известно, что с растворами **Y** нельзя работать в стеклянной посуде.



Рис. 4.2.7

1. Определите брутто-формулу вещества **X**.
2. Нарисуйте структурную формулу **X**. Фенильный фрагмент можно обозначить Ph.
3. Определите **Y** и **Z**. Для последнего определите структурную формулу (аналогично X).
4. Напишите уравнение реакции 1. Объясните, почему с растворами **Y** нельзя работать в стеклянной посуде, ответ подтвердите уравнением реакции.

#### Решение

1. Перепишем данное в условии соотношение продуктов как соотношение элементов. Тогда получим, что

$$C : S : F : H = 7 : 1 : 1 : (2 \cdot 2 + 2 + 1) = 7 : 1 : 1 : 7.$$

Положим, что **X** — это  $C_7H_7SFO_x$ . Найдем  $x$ :

$$16 \cdot x = (16 \cdot x + 7 \cdot 12 + 19 + 32 + 7) \cdot 0,184 = 2.$$

Решая уравнение, находим  $x = 2$ .

Итого: подходит брутто-формула  $C_7H_7SFO_2$ .

5 баллов за верную брутто-формулу.

2. Вычтем из брутто-формулы **X** структурный фрагмент  $C_6H_5$ . Получим  $CH_2SFO_2$ . Нет связи  $C-F$ , но есть связь  $C-S$ , следовательно, имеется связь  $S-F$  и фрагмент  $C-S-F$ . Осталось расставить два атома кислорода и водорода. С учетом всех уточняющих данных единственным способом будет разместить их следующим образом:  $CH_2-SO_2-F$ . Недостающий фрагмент определен. Таким образом, структура **X**:  $Ph-CH_2-SO_2-F$ .

5 баллов за верную структуру **X**.

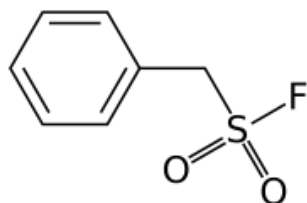


Рис. 4.2.8

3. **Y** — HF.

6 баллов (по 3 за каждое вещество).

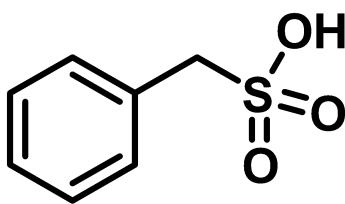
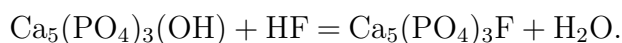
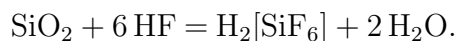


Рис. 4.2.9

- 4.



Нельзя работать, т. к. HF растворяет стекло по реакции:



По 2 балла за каждую реакцию, 1 балл за ответ на вопрос. Всего 5 баллов.

#### **Задача 4.2.3.4. Конфетный вкус (27 баллов)**

**Условие**

«...твой шепот нежный-нежный разгонит грусть!»  
©КВН, команда «ДАЛС»



Рис. 4.2.10

Углеводы — органические вещества, которые содержат карбонильную группу и несколько гидроксильных групп. Эти соединения получаются только в процессе фотосинтеза, но тем не менее они являются неотъемлемым компонентом клеток и тканей всех живых организмов, имеют разное строение и выполняют разные функции.

Углеводы делятся на несколько классов в зависимости от количества мономеров в своем составе: углеводы, содержащие одну единицу, называются моносахаридами, две единицы — дисахаридами, от трех до десяти единиц — олигосахаридами, а более десяти — полисахаридами. Другое название, которое используется для объединения низкомолекулярных углеводов, — сахара.

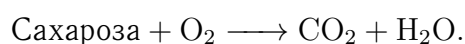
Одним из самых распространенных в природе дисахаридов является сахароза. Она встречается во многих фруктах, плодах и ягодах. Особенно велико содержание сахарозы в сахарной свекле и сахарном тростнике, из сока которых ее экстрагируют и очищают на сахарных заводах. После прохождения многих стадий обработки из чистой сахарозы получается сахар, который используется в производстве продуктов питания.

**Задание 1.** (4 балла) Определите брутто-формулу сахарозы, если общая формула углеводов  $C_x(H_2O)_y$ , углерода в 0,545 раз меньше, чем водорода. *Небольшая подсказка!* Воспользуйтесь справочными данными.

### **Решение**

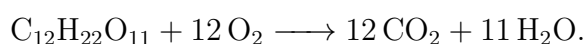
Из условия  $x = 2 \cdot 0,545 \cdot y$ . Тогда, чтобы получить молярную массу, необходимо составить уравнение:  $12 \cdot 0,545 \cdot 2y + 18y = 342$ . Находя из уравнения  $y = 11$ , подставляем в исходное и получим  $x = 12$ . Соответственно, брутто-формула сахарозы:  $C_{12}(H_2O)_{11}$ .

**Задание 2.** (8 баллов) Определите коэффициенты в уравнении сгорания сахарозы. По уравнению сгорания при 186 °С рассчитайте изменение энтальпии и энтропии в реакции. *Небольшая подсказка!* Воспользуйтесь справочными данными. Уравнение сгорания сахарозы (без коэффициентов):



### **Решение**

Уравнение сгорания:





За верно расставленные коэффициенты — 2 балла.

Для решения необходимо принять, что энтальпия и энтропия реакции не зависят от температуры. Эти параметры вычисляются, исходя из разницы в начальном и конечном состоянии реакции.

$$\Delta_r H^\circ = -241,82 \cdot 11 - 393,51 \cdot 12 + 2226,1 = -5\,156,04 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta_r S^\circ = 188,72 \cdot 11 + 213,67 \cdot 12 - 12 \cdot 205,04 - 360,24 = 1\,819,24 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}.$$

За расчет каждого параметра по 4 балла. Всего 8 баллов.

**Задание 3.** (5 баллов) Исходя из полученных значений, определите значение изменения энергии Гиббса для данной реакции и на основании этого сделайте вывод о направлении протекания данной реакции.

**Решение**

186 °С = 459 К. Энергия Гиббса вычисляется по формуле:

$$\Delta_r G^\circ = \Delta_r H^\circ - T \cdot \Delta_r S^\circ.$$

Полученное после подстановки в уравнение значений энтальпии и энтропии из задания 2 значение  $\Delta_r G^\circ = -5\,991,07 \text{ кДж/моль}$ .

**Задание 4.** (6 баллов) Напишите, какие мономеры входят в состав сахарозы. В каких еще углеводах встречаются эти мономеры? Приведите по два примера.

**Решение**

В состав сахарозы входят глюкоза и фруктоза — по 2 балла за название. Примеры соединений, в которые входит глюкоза: целлюлоза, крахмал, гликоген, мальтоза, лактоза и т. д. Примеры соединений, в которые входит фруктоза: рафиноза, инулин и т. д.

За каждый верный пример — 1,5 балла, всего 6 баллов. За каждый неверный пример — -1 балл, но в сумме не меньше 0.

**Справочные данные:**

Молярная масса сахарозы — 342 г/моль, 0 °С = 273 К.

Таблица 4.2.9

Вещество	$\Delta_f H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$\Delta_f S_{298}^\circ$ , Дж/моль·К
H <sub>2</sub> O <sub>(г.)</sub>	-241,82	188,72
CO <sub>2</sub>	-393,51	213,67
O <sub>2</sub>	—	205,04
Сахароза	-2226,1	360,24

## 4.2.4. Химия. 10–11 классы

### Задача 4.2.4.1. Откуда корни растут? (22 балла)

#### Условие

В прошлом, 2024 году, свой юбилей праздновал Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН — ему исполнилось 40 лет. Изначально он был создан как Новосибирский институт биоорганической химии СО АН СССР, которым руководил академик Дмитрий Георгиевич Кнорре. Д. Г. Кнорре возглавлял факультет естественных наук НГУ и был специалистом в области химической кинетики, молекулярной биологии и биоорганической химии. В то время в институте работа велась по трем основным направлениям: расшифровка геномов различных вирусов, создание базы химии нуклеиновых кислот, разработка и создание различных приборов.

Сейчас в лабораториях Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН занимаются самыми разными исследованиями:

- генодиагностикой инфекционных, аутоиммунных и опухолевых заболеваний,
- производством ферментов для биотехнологии и медицинской диагностики,
- синтезом олигонуклеотидов, их производных и нуклеозидтрифосфатов,
- созданием противораковых препаратов направленного действия.

В институте активно разрабатываются методы синтетической биологии, геномного редактирования, а все лаборатории оснащены передовым оборудованием. С некоторыми из них участники Олимпиады уже успели познакомиться на заключительном этапе.

**Задание 1.** (20 баллов) Разгадайте крисс-кросс кроссворд (таблица 4.2.10). В котором зашифрованы названия различных приборов, химической посуды и реактивов, а также фамилии некоторых ученых, в честь которых названы некоторые предметы. **Обратите внимание!** Слова 14 и 16 не пересекаются по последней букве.

1. Устройство, которое разделяет смеси на фракции с помощью центробежной силы.
2. Устройство, перемешивающее вещество в пробирке путем постоянного переворачивания.
3. Прибор для определения концентрации раствора путем пропускания света.
4. Большое устройство для обеспечения стерильных условий. Необходимо, например, для работы с клеточными культурами. Приведите краткое название.
5. Горелка для жидкого топлива. В лаборатории используется для проведения качественных реакций при нагревании или стерилизации шпателей для посева клеток.
6. Фамилия ассистента Роберта Коха, в честь которого названа посуда, в которой на питательной среде растут клеточные культуры.
7. Герметичный аппарат, в котором проводят химические реакции, требующие повышенного давления и температуры.
8. Устройство, поддерживающее необходимые оптимальные параметры для нара-

ботки клеток.

9. Прибор, позволяющий задавать термоциклические программы. Иногда включает в себя детектор люминесценции для определения ее интенсивности на каждом цикле.
10. Линейный полисахарид, образованный из чередующихся остатков  $\beta$ -D-галактопиранозы и 3,6-ангидридо- $\alpha$ -L-галактопиранозы, объединенных связью 1 $\rightarrow$ 4.
11. Стеклопосуда с длинным суженным горлышком для проведения химических реакций.
12. Прибор для точного определения массы навески.
13. Устройство для поддержания постоянной температуры.
14. Приспособление для переноса жидкости точно определенного объема (7 букв).
15. Фамилия ученого, который исследовал процесс брожения и сущность разных болезней. В его честь названо пластиковое приспособление для посева клеточных культур.
16. Запаянная с одного конца трубка из тонкого стекла для проведения качественных химических реакций.
17. Оптический прибор для многократного увеличения образца. Используется, например, для изучения клеток и тканей.
18. Прибор, служащий для разделения веществ из смеси на отдельные компоненты за счет разного связывания каждого отдельного вещества сорбентом.
19. Метод разделения продуктов реакции по массе путем их движения сквозь поры геля под действием электрического тока.
20. Раствор, используемый в экспериментах для поддержания постоянной кислотности среды реакционной смеси. Напишите сокращенное название.

### **Решение**

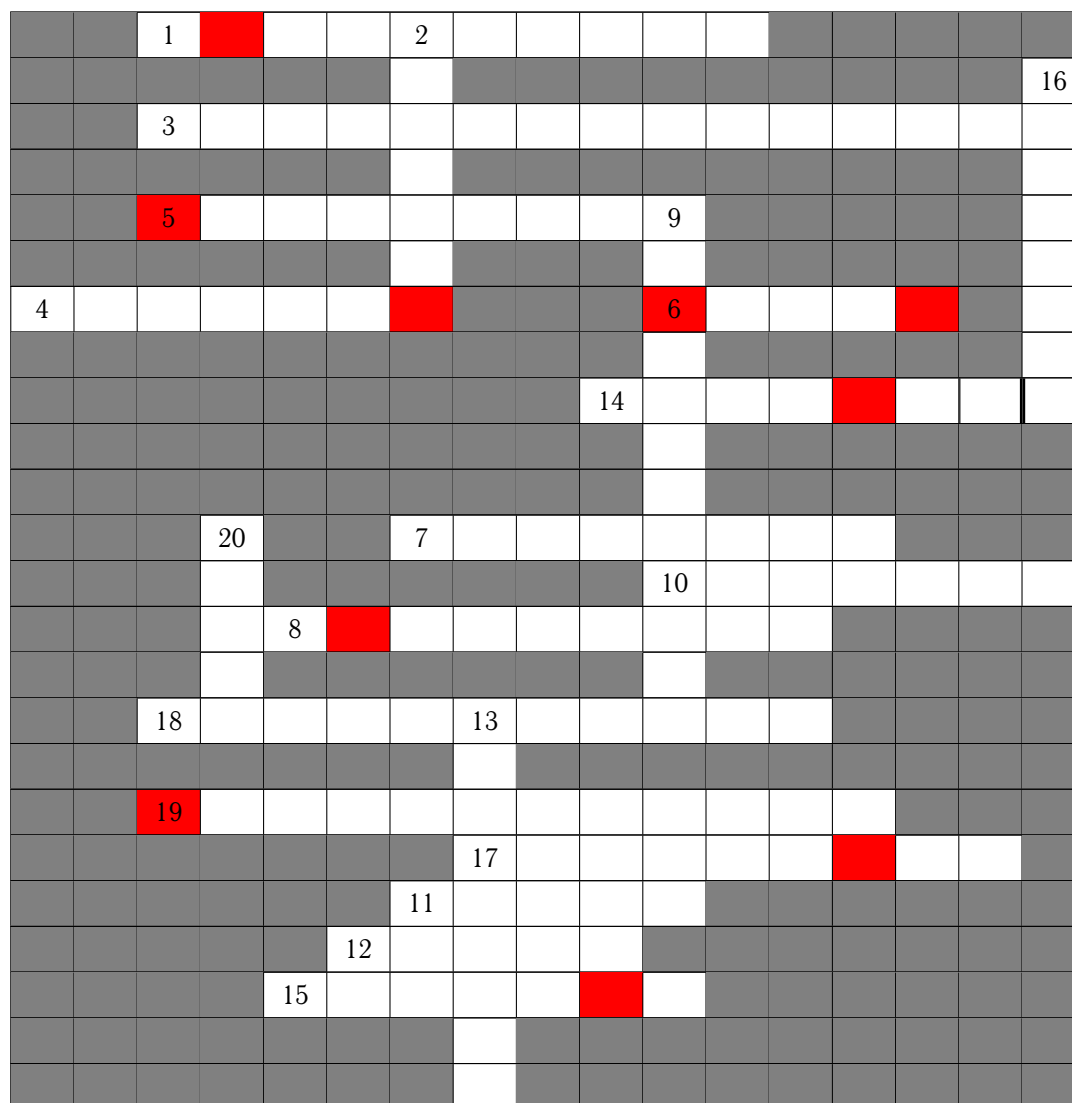
1. Центрифуга.
2. Ротатор.
3. Спектрофотометр.
4. Ламинар.
5. Спиртовка.
6. Петри.
7. Автоклав.
8. Инкубатор.
9. Амплификатор.
10. Агароза.
11. Колба.
12. Весы.
13. Термостат.
14. Пипетка.
15. Пастер.
16. Пробирка.
17. Микроскоп.
18. Хроматограф.

19. Электрофорез.

20. Буфер.

По 1 баллу за каждое верно угаданное слово.

Таблица 4.2.10. Кроссворд



**Задание 2.** (2 балла) Из выделенных в кроссворде букв сложите слово — то, что сотрудники института делают в рамках исследования для того, чтобы определить наиболее благоприятные условия протекания реакций.

**Решение**

Эксперимент.

### Задача 4.2.4.2. Хитрое оружие (26 баллов)

#### Условие

Представьте себе, что вы живете не в XXI веке, а на 7–10 веков раньше. Может быть, вы — рыцарь, и скоро рыцарский турнир, но ваши с противником силы не равны и кажется, что поражения вам не избежать? А может быть, вы — фрейлина при королевском дворе, где враги вашего правителя замышляют заговор против него? Вы понимаете, что тут без хитрости не обойтись!



Рис. 4.2.11

Соединения элемента **X** с глубокой древности использовались в качестве ядов. Его токсическое действие проявляется в блокаде пируватдегидрогеназного комплекса, что приводит к гипогликемии. Кроме того, соединения элемента **X** значительно снижают активность ферментов, участвующих в синтезе глутатиона (глутатионсинтетазы, глутатионредуктазы), вследствие чего возникает дефицит глутатиона в печени и ухудшаются процессы детоксикации соединений **X**.

На схеме (рис. 4.2.12) приведены превращения элемента **X** и его соединений. Все соединения **A–I** содержат **X**. Наиболее устойчивой формой **X** является оксид **A**, причем  $\omega(X) = 75,75\%$  по массе. Для выделения **X** из **A**, чтобы, например, доказать наличие яда в продуктах питания, используется следующая методика: пробу помещают в серную кислоту с добавлением нескольких гранул цинка. В результате протекающей химической реакции выделяется газ **B** [1], который при нагревании разлагается на два простых вещества — **X** и  $H_2$  [2]. Газ **B** является сильным восстановителем: восстанавливает серебро из раствора его нитрата, превращаясь при этом обратно в **A** [3].

В оксиде **A** элемент **X** находится в промежуточной степени окисления. Его можно доокислить до высшей, если твердофазно нагреть **A** с едким натром и гипохлоритом натрия, при этом получится соль **C** [4]. Если же добавить к **X** концентрированную азотную кислоту, то можно получить кислоту **D**, содержащую **X** в высшей степени окисления, в ходе реакции выделяется бурый газ [5]. При взаимодействии с **HI** проявляются окислительные свойства кислоты **D**, образуются кислота **E** и простое вещество [6].

**X** может взаимодействовать с галогенами с получением соответствующих галогенидов [7]. Галогениды **X**, в свою очередь, взаимодействуют с различными серо-содержащими соединениями. Например, при реакции **F** с сероводородом выпадает желтый осадок сульфида **X** [8], который не растворяется в кислотах, но может

быть растворен в избытке сульфида натрия с образованием **Н** [9]. Если к **Н** добавить соляную кислоту, снова выделяется сульфид **Г** [10]. Галогенид **Ф** сразу может быть растворен в дисульфиде натрия с образованием **И**, причем протекает окислительно-восстановительная реакция [11].

1. Определите элемент **Х**.
2. Расшифруйте схему превращений, дайте названия соединениям **В–Е, Н**.
3. Напишите реакции [1]–[11], упомянутые в условии задачи.

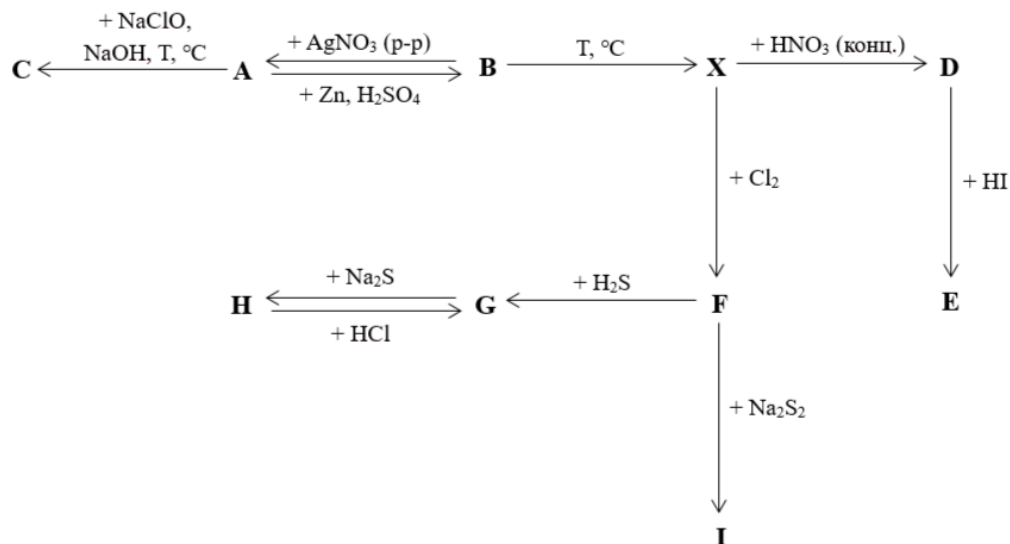


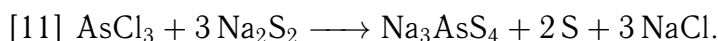
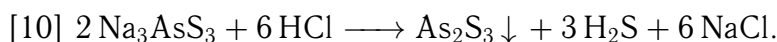
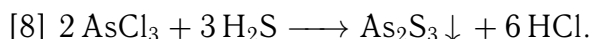
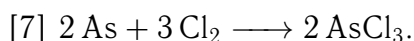
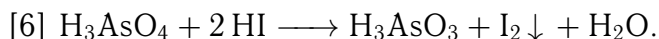
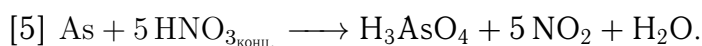
Рис. 4.2.12

### Решение

1. **Х** — As (или «мышьяк») — 1 балл.
2. **А** —  $\text{As}_2\text{O}_3$ .  
**В** —  $\text{AsH}_3$ , арсин.  
**С** —  $\text{Na}_3\text{AsO}_4$ , ортоарсенат натрия.  
**Д** —  $\text{H}_3\text{AsO}_4$ , мышьяковая кислота.  
**Е** —  $\text{H}_3\text{AsO}_3$ , мышьяковистая кислота.  
**Ф** —  $\text{AsCl}_3$ .  
**Г** —  $\text{As}_2\text{S}_3$ .  
**Н** —  $\text{Na}_3\text{AsS}_3$ , тритиоарсенит натрия.  
**И** —  $\text{Na}_3\text{AsS}_5$ .

Верно указано соединение — 1 балл, верно указано название — 1 балл.

3. [1]  $\text{As}_2\text{O}_3 + 6\text{Zn} + 6\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow 6\text{ZnSO}_4 + 2\text{AsH}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ .  
[2]  $2\text{AsH}_3 \longrightarrow 2\text{As} + 3\text{H}_2$ .  
[3]  $2\text{AsH}_3 + 12\text{AgNO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{As}_2\text{O}_3 + 12\text{Ag} + 12\text{HNO}_3$ .  
[4]  $\text{As}_2\text{O}_3 + 2\text{NaClO} + 6\text{NaOH} \longrightarrow 2\text{Na}_3\text{AsO}_4 + 2\text{NaCl} + 3\text{H}_2\text{O}$ .



В решениях приведены орто-формы (кислоты, соли, тиосоли), мета-формы тоже считаются верным ответом.

Верно написано уравнение реакции — 1 балл.

### Задача 4.2.4.3. Клик-химия (26 баллов)

#### Условие

В 2022 году Нобелевскую премию по химии вручили Барри Шарплессу, Каролин Р. Бертоззи и Мортену Мелдалю за создание и развитие клик-химии и биортогональной химии. Клик-химия — это универсальный синтетический подход, позволяющий эффективно проводить химические превращения. Клик-реакции характеризуются:

- около количественным выходом,
- универсальностью превращения,
- высокой селективностью,
- мягкими условиями,
- низкой чувствительностью к воздуху, влаге, параметрам растворителя,
- относительно высокой скоростью превращения.

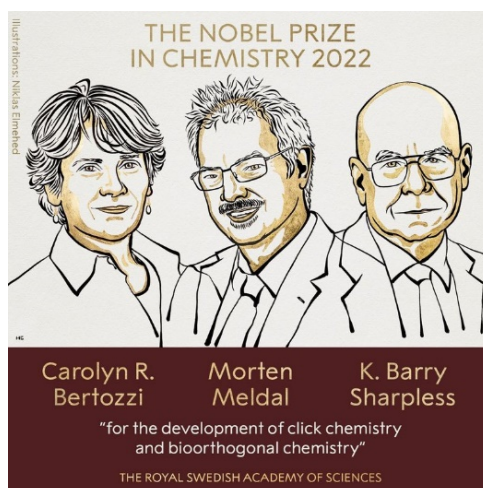


Рис. 4.2.13

Благодаря этому клик-химия находит множество приложений в фармацевтической отрасли: она позволяет осуществлять быстрый синтез библиотек соединений, а также «сшивать» разные функциональные фрагменты друг с другом и с биомолекулами. Некоторые клик-реакции также являются биортогональными — то есть могут протекать в биологических условиях.

Одной из первых и наиболее часто используемых реакций является азид-алкиновое циклоприсоединение (ААС,  $R-N_3$  — азидный фрагмент). В результате реакции образуется азотсодержащий пятичленный ароматический гетероцикл. Существует несколько распространенных разновидностей ААС: медь-катализируемое CuAAS, рутений-катализируемое RuAAS, а также вызванное напряженностью в цикле SPAAC (Strain Promoted). SPAAC отличается отсутствием необходимости в использовании катализаторов, в то время как для RuAAS и CuAAS характерна селективная реакция как правило, в RuAAS преимущественно образуется 1,5 изомер, а в CuAAS образуется 1,4 изомер. Кроме того, RuAAS, в отличие от CuAAS, не ограничен терминальными алкинами.

К примеру, SPAAC может быть использован для функционализации антител. Азидный фрагмент вводится лизин-специфичной реакцией п-азидобензоил фторида с антителом, причем степень конъюгации может регулироваться. Далее следует SPAAC, с помощью которого вводится функциональный фрагмент. Это может быть лекарственный фрагмент, токсин, олигонуклеотид, флуоресцентная метка.

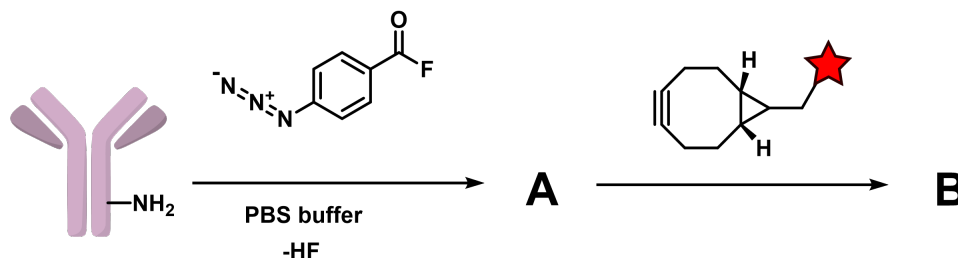


Рис. 4.2.14. Функционализация антител

Химия **SuFEx** (Сера (VI) Фторидный Обмен) — это универсальная и эффективная синтетическая методология, получившая широкое распространение с момента ее разработки Барри Шарплессом в 2014 году. В основе метода лежит реакция сера-центрированных электрофилов, содержащих S-F связь, с различными нуклеофилами.

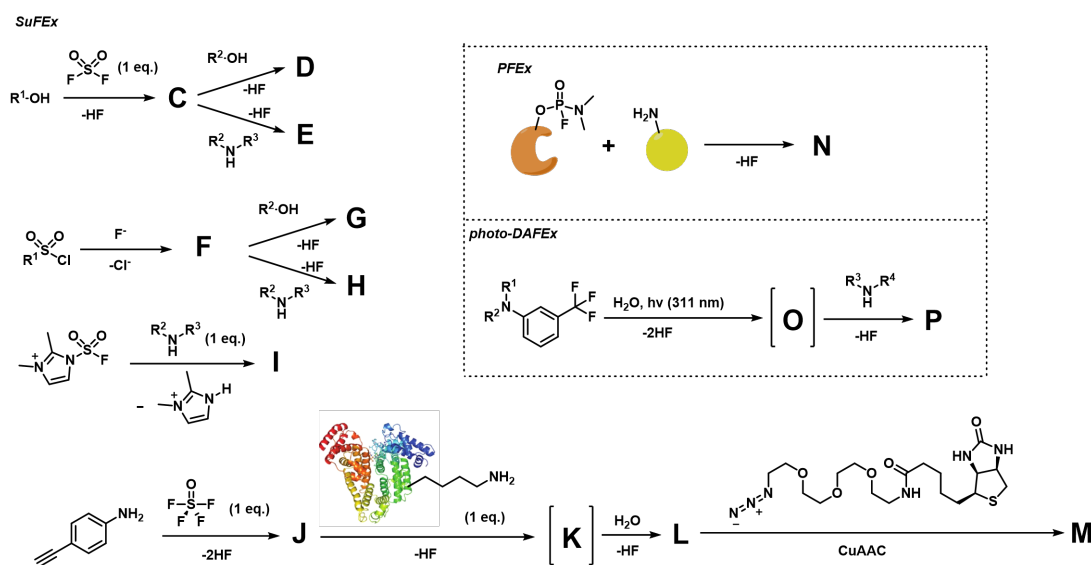


Рис. 4.2.15. SuFEx, PFEx, photo-DAFEx. 1 equiv. — один эквивалент, т. е. соотношение 1 : 1.



На рис. 4.2.15 представлены общие подходы SuFEx и пример синтеза конъюгата бычьего сывороточного альбумина с биотином. Известно, что в соединении **L** присутствуют две связи  $S=O$ . Совсем недавно в соавторстве с Барри Шарплессом был разработан аналог реакций SuFEx, Фосфор (V) Фторидный Обмен (PFEx), использующий более стабильные в биологических условиях производные фосфора. Данный подход уже был успешно применен для ковалентной сшивки взаимодействующих белков (рис. 4.2.15).

Альтернативным подходом является photo-DAFEx. Данный метод заключается в фотохимической генерации промежуточного продукта **O**, способного вступать во фторидный обмен, из инертного трифторметильного производного в результате фотохимического гидролиза. Известно, что продукт (**соединение O**) содержит фрагмент двойной связи  $C=O$ .

**Задание 1.** Приведите структуры **A – L**.

*Небольшая подсказка!* Фрагмент антитела в структуре **B** предлагается обозначить буквой **Y**, фрагмент белка в структурах **K**, **L**, **M** значком окружности (○). В структуре **N** фрагменты белков взаимодействуют, что необходимо проиллюстрировать в ответе (данную структуру рекомендуется рисовать приблизительно к тому, как нарисованы реагенты).

**Решение**

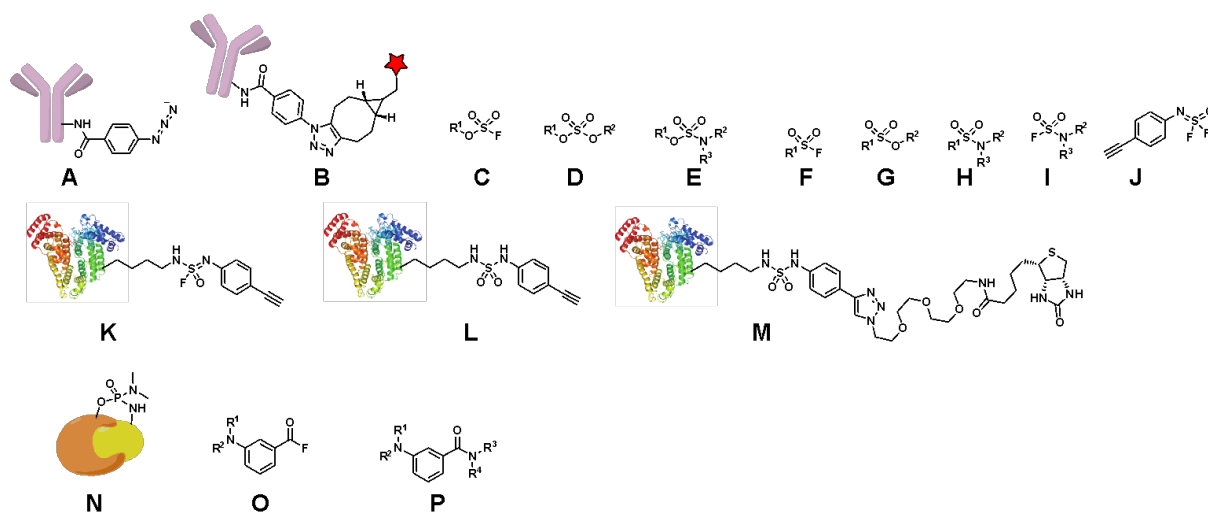


Рис. 4.2.16

Каждая структура — по 1,5 балла.

**Задание 2.** Предположите механизм действия противоопухолевых биоконъюгатов токсин-антитело (функцию токсина и антитела).

**Решение**

Антитело необходимо для селективной доставки в опухолевые клетки (за счет связывания с антигеном на поверхности опухолевой клетки), токсин — для уничтожения опухолевых клеток. Принимаются любые близкие по смыслу ответы (2 балла).

### Задача 4.2.4.4. Конфетный вкус (26 баллов)

#### Условие

«...твой шепот нежный-нежный разгонит грусть!»  
©КВН, команда «ДАЛС»



Рис. 4.2.17

Углеводы — органические вещества, которые содержат карбонильную группу и несколько гидроксильных групп. Эти соединения получаются только в процессе фотосинтеза, но тем не менее они являются неотъемлемым компонентом клеток и тканей всех живых организмов, бывают разного строения и выполняют разные функции.

Углеводы делятся на несколько классов в зависимости от количества мономеров в своем составе: углеводы, содержащие одну единицу, называются моносахаридами, две единицы — дисахаридами, от трех до десяти единиц — олигосахаридами, а более десяти — полисахаридами. Другое название, которое используется для объединения низкомолекулярных углеводов, — сахара.

Одним из самых распространенных в природе дисахаридов является сахароза. Она встречается во многих фруктах, плодах и ягодах. Особенно велико содержание сахарозы в сахарной свекле и сахарном тростнике, из сока которых ее экстрагируют и очищают на сахарных заводах. После прохождения многих стадий обработки из чистой сахарозы получается сахар, который используется в производстве продуктов питания.

**Задание 1.** Напишите уравнение сгорания сахарозы и определите ее брутто-формулу, если общая формула углеводов  $C_x(H_2O)_y$ , углерода в 0,545 раз меньше, чем водорода.

*Подсказка:* воспользуйтесь справочными данными.

#### Решение

Из условия  $x = 2 \cdot 0,545 \cdot y$ . Тогда, чтобы получить молярную массу, необходимо составить уравнение:  $12 \cdot 0,545 \cdot 2y + 18y = 342$ . Находя из уравнения  $y = 11$ , подставляем в исходное и получим  $x = 12$ . Соответственно, брутто-формула сахарозы:  $C_{12}(H_2O)_{11}$  (3 балла).

Уравнение сгорания сахарозы:  $C_{12}H_{22}O_{11} + 12 O_2 \longrightarrow 12 CO_2 + 11 H_2O$  (3 балла).

**Задание 2.** (8 баллов) По уравнению сгорания сахарозы при 186 °С рассчитайте изменение энтальпии и энтропии в реакции.

*Подсказка:* воспользуйтесь справочными данными.

### Решение

Для решения необходимо принять, что энтальпия и энтропия реакции не зависят от температуры. Эти параметры вычисляются, исходя из разницы в начальном и конечном состоянии реакции.

$$\Delta_r H^\circ = -241,82 \cdot 11 - 393,51 \cdot 12 + 2226,1 = -5\,156,04 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta_r S^\circ = 188,72 \cdot 11 + 213,67 \cdot 12 - 12 \cdot 205,04 - 360,24 = 1\,819,24 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}.$$

По 4 балла за каждый расчет. Всего 8 баллов.

**Задание 3.** (5 баллов) Исходя из полученных значений, определите значение изменения энергии Гиббса для данной реакции и на основании этого сделайте вывод о направлении протекания данной реакции.

### Решение

186 °С = 459 К. Энергия Гиббса вычисляется по формуле:

$$\Delta_r G^\circ = \Delta_r H^\circ - T \cdot \Delta_r S^\circ.$$

Полученное после подстановки в уравнение значений энтальпии и энтропии из задания 2 значение  $\Delta_r G^\circ = -156\,040 - 459 \cdot 1\,819,24 = -5\,991,07 \text{ кДж/моль}$ .

**Задание 4.** Напишите, какие мономеры входят в состав сахарозы, нарисуйте их строение в циклической форме. Какая связь между ними образуется?

### Решение

В состав сахарозы входят  $\alpha$ -глюкоза и  $\beta$ -D-фруктоза — по 1 баллу за название, 0,5, если не указан изомер  $\alpha$  или  $\beta$ .

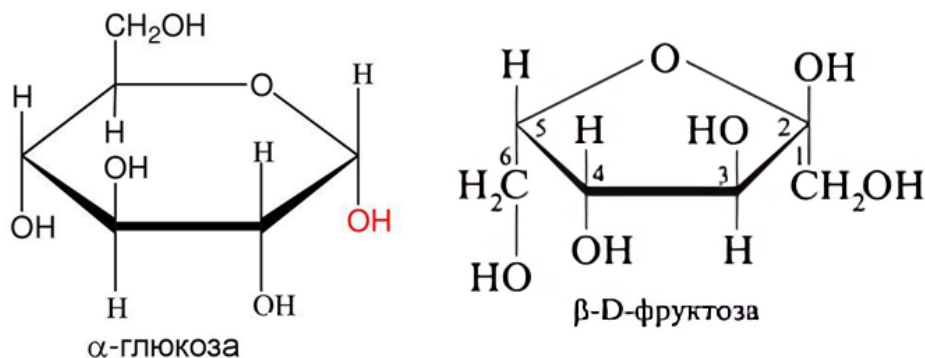


Рис. 4.2.18

Именно в таких формах мономеры входят в состав сахарозы — по 2 балла за каждую структуру. Между ними образуется гликозидная связь (эфирная также является правильным ответом) — 1 балл за название связи.

**Справочные данные:**

Молярная масса сахарозы — 342 г/моль, 0 °С = 273 К.

Таблица 4.2.11

Вещество	$\Delta_f H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$\Delta_f S_{298}^\circ$ , Дж/моль·К
H <sub>2</sub> O <sub>(г.)</sub>	−241,82	188,72
CO <sub>2</sub>	−393,51	213,67
O <sub>2</sub>	—	205,04
Сахароза	−2226,1	360,24

## **4.3. Инженерный тур**

### **4.3.1. Общая информация**

Задача финала посвящена изменению последовательности гена GFP в бактерии *E. coli* штамма BL21 при помощи ПЦР-мутагенеза.

### **4.3.2. Легенда задачи**

Для изменения последовательности гена применяются различные технологии управления свойствами биологических объектов. В данной задаче использован метод мутагенеза с применением ПЦР и мутантных праймеров.

### **4.3.3. Требования к команде и компетенциям участников**

Количество участников в команде: 3 человека.

Компетенции, которыми должны обладать члены команды:

- биоинформатик — 1 участник;
- младшие научные сотрудники молекулярно-биологической лаборатории (2–3 участника).

### **4.3.4. Оборудование и программное обеспечение**

Для работы в лаборатории используется оборудование:

- автоматические дозаторы,
- центрифуги,
- ПЦР-амплификатор,
- термостат,
- система гель-документации.

Биоинформатики используют программное обеспечение: Python (Anaconda), базы данных NCBI, UGENE, MEGA и другие.

### 4.3.5. Описание задачи 8–9 классы

**Этап 1. Лабораторная работа «Сайт-направленный мутагенез с использованием ПЦР» (15 баллов)**

#### Оборудование и реагенты:

- плазмида pQE30-GFP (концентрация 10 нг/мкл);
- 2X ПЦР-смесь Mastermix Pfu-Sso7d, 12,5 мкл (пробирка 0,2 мл);
- праймеры For и Rev (прямой и обратный) для плазмиды pQE30-GFP, по 5 мкл, 2 мкМ (2 пробирки 0,6 мл);
- milliQ, деионизованная вода;
- амплификатор;
- автоматические дозаторы объемом 1–10 мкл;
- наконечники для дозатора 10 мкл.

#### Протокол ПЦР:

1. Приготовьте реакционную смесь для ПЦР в пробирке объемом 0,2 мл.
2. Подпишите пробирку опознавательными знаками своей команды (для этого добавьте следующие компоненты в пробирку с 12,5 мкл 2X Mastermix Pfu-Sso7d (пробирка 200 мкл)): по 2,5 мкл 2 мкМ прямого (пробирка F) и обратного праймеров и \_\_\_\_ мкл воды mQ (суммарный объем реакционной смеси — 25 мкл).
3. В реакционную смесь внесите 1 мкл раствора плазмиды pQE30-GFP (пробирка ПЛ) и ресуспендируйте пипетированием в пробирке.
4. Поместите полученную реакционную смесь для ПЦР в амплификатор.

Таблица 4.3.1. Программа амплификации

Число циклов	Этап	Температура, °C	Время, с
1	Денатурация	98	30
25	Денатурация	98	10
	Отжиг праймеров	68	20
	Элонгация	72	180
1	Элонгация	72	120

#### Электрофорез в агарозном геле:

- Агароза; буфер 1×TAE; бромистый этидий.
- Маркер электрофоретической подвижности Sky-High (Биолабмикс).
- 4X краситель для нанесения ДНК (Биолабмикс).
- Камера для проведения электрофореза; трансиллюминатор или гель-док.
- Автоматические дозаторы объемом 1–10 мкл.
- Наконечники для дозатора 10 мкл.

### Протокол агарозного электрофореза:

1. Для приготовления 1%-го геля прилейте к навеске агарозы массой 1 г 100 мл 1×ТАЕ, доведите до кипения и растворите всю навеску при перемешивании. После остывания раствора агарозы до 50 °С добавьте 5 мкл бромистого этидия (10 мг/мл), перемешайте и перелейте раствор в форму для заливки геля.
2. В пробирку на 0,6 мкл внесите 6 мкл ПЦР-продукта из пробирки mut. **Внимание!** Оставшийся ПЦР-продукт mut (~19 мкл) передайте организаторам, он будет необходим для дальнейшей работы. К 6 мкл отобранного образца добавьте \_\_\_ мкл 4X буфера для нанесения и перемешайте пипетированием.
3. Нанесите на агарозный гель 6 мкл подготовленного образца, смешанного с краской.
4. Нанесите на агарозный гель 2 мкл маркера длин ДНК.
5. Проведите электрофорез в следующих условиях: 120 В, 45 мин.
6. Получите изображения геля после электрофореза.

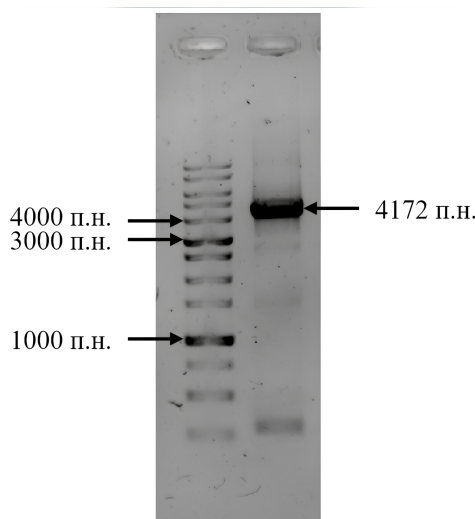


Рис. 4.3.1. Ожидаемый результат

### Теоретическое задание «ПЦР-мутант»

Ежедневно клетки подвергаются действию широкого спектра мутагенных веществ, негативный эффект которых может сказаться на целостности генетической информации в результате повреждения молекул ДНК.

Термин «мутация» был впервые предложен Голландским ботаником Хуго Де Фризом, и в первостепенной своей значимости означает стойкое изменение генотипа клетки. Мутации в клетках могут быть результатом как внутреннего (эндогенного) воздействия, так и внешнего (экзогенного). Примером эндогенного влияния может послужить формирование неканонической пары во время репликации или репарации ДНК. Пример экзогенного — это воздействие радиации или ультрафиолета на молекулу ДНК. В клетках существует система репарации ДНК, направленная на исправление «ошибок» в геноме.

Ученые искусственно вводят мутации в ДНК для того, чтобы изменить последовательность, которая кодирует белок. Сайт-направленный мутагенез — один из

способов введения мутации, осуществляемый с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР). Его суть заключается в том, что один из праймеров не полностью комплементарен участку ДНК, вследствие чего продуктом ПЦР будет не исходная матричная ДНК, а ее мутантная копия.

**Задание 1.** Какое строение имеет молекула ДНК? Какие особенности строения молекулы ДНК обеспечивают наработку продуктов ПЦР? (2 балла)

**Ответ:** двойная спираль; антипараллельность, комплементарность.

**Задание 2.** Какие существуют мутации по типу изменения генетического материала? К каким последствиям они приводят? (1 балл)

**Ответ:** синонимичные и изменяющие тип аминокислоты, делеции, дупликации, инсерции.

**Задание 3.** Объясните, почему мутация со сдвигом рамки считывания несет самые тяжелые последствия для организма? (1 балл)

**Ответ:** изменяются, кодоны, аминокислотная последовательность, возникают стоп-кодоны.

Во время эксперимента мутацию вносили в плазмиду pQE30-GFP, которая содержит в себе последовательность, кодирующую белок GFP. На рис. 4.3.2 приведена часть последовательности этой плазмиды (верхняя цепь — в направлении 5'-3').

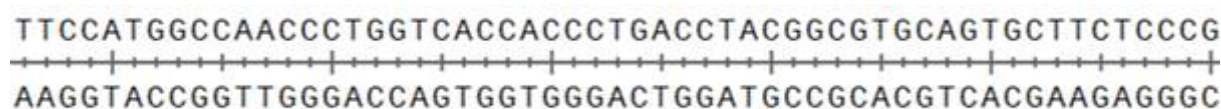


Рис. 4.3.2

Для ПЦР использованы следующие праймеры:

Q5\_BFP\_For 5'-CACCCCTGACCCATGGCGTGCAGT-3',

Q5\_XFP\_Rev 5'-GTGACCAGGGTTGGCCATG-3'

(For — прямой праймер, Rev — обратный).

**Задание 4.** Рассчитайте в процентах GC-состав праймеров. Исходя из количества водородных связей, которые образуются между праймером и ДНК, оцените, какой из них должен иметь большую температуру отжига. (1 балл)

**Ответ:** For — 61 водородная связь, GC состав 73%. Rev — 50 водородных связей, GC состав 72%. У прямого праймера выше температура плавления.

**Задание 5.** На рисунке укажите места отжига праймеров. Какой из них отвечает за появление мутации в итоговом ПЦР продукте? В каком месте происходит мутация, к какому типу она относится? (2 балла)

**Ответ:** мутация в прямом праймере.

**Задание 6.** Как изменится состав пептида, который будет получен после синтеза с ПЦР-продукта, по сравнению с пептидом, синтезированным с исходной последовательности? (1 балл)

**Ответ:** произойдет замена, связанная с изменением кодонов (в прямом праймере).



Таблица 4.3.2. Генетический код (и РНК)

Первое основание	Второе основание				Третье основание
	У	Ц	А	Г	
У	Фен	Сер	Тир	Цис	У
	Фен	Сер	Тир	Цис	Ц
	Лей	Сер	—	—	А
	Лей	Сер	—	Три	Г
Ц	Лей	Про	Гис	Арг	У
	Лей	Про	Гис	Арг	Ц
	Лей	Про	Глн	Арг	А
	Лей	Про	Глн	Арг	Г
А	Иле	Тре	Асн	Сер	У
	Иле	Тре	Асн	Сер	Ц
	Иле	Тре	Лиз	Арг	А
	Мет	Тре	Лиз	Арг	Г
Г	Вал	Ала	Асп	Гли	У
	Вал	Ала	Асп	Гли	Ц
	Вал	Ала	Глу	Гли	А
	Вал	Ала	Глу	Гли	Г

### Теоретическое задание «Побег из форе́за»

Для визуализации ПЦР-продукта после сайт-направленного мутагенеза ученые используют электрофорез в агарозном геле.

В основе данного метода лежит разделение заряженных частиц в электрическом поле. Электрофорез позволяет определить длину молекулы ДНК, которая наработана в результате ПЦР. Между тем, электрофорез можно использовать не только для разделения нуклеиновых кислот, но и белков.

Белки, аналогично нуклеиновым кислотам, обладают поверхностным зарядом. Однако суммарный заряд для каждого белка уникален и предопределяется рядом факторов:

- аминокислотная последовательность белка,
- аминокислотный состав белка,
- водородный показатель раствора, в котором растворен белок.

Для электрофоретического разделения белков наибольшую ценность представляет водородный показатель (рН), отражающий концентрацию протонов в среде.

**Задание 7.** По каким особенностям строения классифицируют аминокислоты? Как называется единственная аминокислота? Как называется единственная оптически неактивная аминокислота? (1 балл)

**Ответ:** по строению радикала; пролин; глицин.

**Задание 8.** Как называют связи, которые удерживают остатки аминокислот в первичной структуре белка? Перечислите, с помощью каких связей удерживается вторичная структура белка? (1 балл)

**Ответ:** пептидные (ковалентные); водородные, между пептидными связями разных витков.

**Задание 9.** Как называется аминокислота, наличие которой в последовательности белка ведет к повороту цепи? (1 балл)

**Ответ:** пролин.

В зависимости от pH-среды раствора полипептид может быть заряжен положительно, отрицательно или нейтрально, заряд полипептида тем временем складывается из зарядов аминокислот, входящих в его состав.

**Задание 10.** Определите, к катоду или к аноду будет мигрировать полипептид FENNGY при разном pH раствора? Обратите внимание, что в каноническом виде последовательность аминокислот принято записывать в направлении от N-конца к C-концу. Направление отметьте в таблице 4.3.3. (2 балла)

Таблица 4.3.3

pH раствора	К катоду	К аноду	Не движется
3,9	+		
6,0			+
10,9		+	

**Ответ:** изоэлектрическая точка белка — это pH среды, при которой суммарный электрический заряд белка равен нулю; в упрощенном случае значение pH для изоэлектрической точки пептида (без учета боковых радикалов) вычисляется по формуле:

$$pI = \frac{pK_{a1} + pK_{a2}}{2}.$$

**Задание 11.** Рассчитайте значение pH изоэлектрической точки для дипептида VM. Определите, при каком максимальном значении pH молекула будет двигаться к катоду, и при каком минимальном pH — к аноду. (2 балла)

**Ответ:** на N-конце находится Val, на C-конце Met, вычислим  $pI(VM) = (9,62 + 2,28)/2 = 11,9/2 = 5,95$ ; при pH 5,95 пептид не будет иметь заряд и подвижность при электрофорезе; при снижении pH будет заряжен положительно, при повышении — отрицательно.

Таблица 4.3.4

Animo Acid	Abbreviaton		pK <sub>1</sub>	pK <sub>2</sub>	pK <sub>r</sub>
	3-Letters	1-Letters	-COOH-	-NH <sub>3</sub> <sup>+</sup>	R group
Alanine	Ala	A	2,34	9,69	—
Arginine	Arg	R	2,17	9,04	12,48
Asparagine	Asn	N	2,02	8,80	—
Aspartic Acid	Asp	D	1,88	9,60	3,65
Cysteine	Cys	C	1,96	10,128	8,18
Glutamis Acid	Glu	E	2,19	9,67	4,25

Animo Acid	Abbreviaton		pK <sub>1</sub>	pK <sub>2</sub>	pK <sub>r</sub>
	3-Letters	1-Letters	-COOH-	-NH <sub>3</sub> <sup>+</sup>	R group
Glutamine	Gln	Q	2,17	9,13	—
Glycine	Gly	G	2,34	9,60	—
Histidine	His	H	1,82	9,17	6,0
Isoleucine	Ile	I	2,36	9,60	—
Leucine	Leu	L	2,36	9,60	—
Lysine	Lys	K	2,18	8,95	10,53
Methoinine	Met	M	2,28	9,21	—
Phenylalanine	Phe	F	1,83	9,13	—
Proline	Pro	P	1,99	10,60	—
Serine	Ser	S	2,21	9,15	—
Threonine	Thr	T	2,09	9,10	—
Tryptophan	Trp	W	2,83	9,39	—
Tyrosine	Tyr	Y	2,20	9,11	10,07
Valine	Val	V	2,32	9,62	—

### **Биоинформатика 1. «Поиск мутации» (10 баллов)**

В биоинформатике анализ геномных данных играет ключевую роль в изучении генетических вариаций, которые могут влиять на функции генов и вызывать заболевания. Одним из важных этапов такого анализа является поиск мутаций в данных секвенирования, таких как инсерции (вставки) и делеции (удаления). SAM-файл (Sequence Alignment/Map), полученный после выравнивания прочтений на референсный геном с помощью программ вроде BWA или Bowtie, содержит информацию о позициях выравнивания и различиях между прочтениями и референсом. Эти различия, описанные в CIGAR строке, могут указывать на мутации.

Поиск мутаций важен не только для изучения генетических заболеваний и эволюции организмов, но и для геномного редактирования, где их точное определение дает возможность оценить эффективность инструментов вроде CRISPR-Cas9 и минимизировать off-target эффекты.

В данном задании следует:

1. Проанализировать SAM-файл.
2. Найти мутации.
3. Определить координаты мутаций в геноме.
4. Оценить частоту мутаций.

Это поможет развить навыки работы с биоинформатическими данными и понять принципы интерпретации геномных вариаций.

SAM-файл состоит из двух частей: заголовков и выравниваний. Заголовки начинаются с символа @ и содержат метаинформацию о референсном геноме и параметрах выравнивания. Строки выравнивания состоят из следующих столбцов (разделенных знаками пробела):

- название прочтения,

- флаг выравнивания,
- хромосома, на которую выравнивалось прочтение,
- позиция выравнивания (координата начала выравнивания на хромосоме),
- качество выравнивания,
- строка CIGAR,
- другие данные.

CIGAR-строка (Compact Idiosyncratic Gapped Alignment Report) описывает, как `read` выравнивается на референсный геном. Она состоит из пар чисел и символов, где число указывает длину операции, а символ — ее тип.

Основные символы CIGAR строки:

- M (совпадение, Match),
- I (инсерция, Insertion),
- D (делеция, Deletion),
- S (мягкое клиппирование, Soft clipping),
- N (пропуск в референсе, Skipped region).

Например, строка `3M1D4M` означает, что первые 3 нуклеотида `read` совпадают с референсом, затем следует делеция 1 нуклеотида, а после — еще 4 совпадающих нуклеотида.

### **Задача**

Напишите программу, которая будет принимать на вход файл в формате `Sam`. Программа должна считать этот файл и найти в нем строки с мутациями. Для каждой мутации программа должна записать название по следующему шаблону: [тип мутации (del — делеция или ins — инсерция)]\_[хромосома]\_[координата начала мутации]\_[координата конца мутации], например: `del_chr1_100_105`, `ins_chr7_100_101`. Затем программа должна подсчитать частоту каждой мутации и вывести на экран мутации с частотой  $> 10\%$  в порядке убывания частоты.

Пример входного файла: `Test_alignment.sam`

Правильный вывод для этого файла:

```
del_chr1_108_108
ins_chr1_141_142.
```

### **Критерии оценивания**

- Реализовано считывание входного файла — 1 балл.
- Реализован поиск строк с мутацией — 2 балла.
- Реализована запись мутации по образцу — 3 балла.
- Реализовано определение частоты мутации — 3 балла.
- Реализован вывод на экран мутаций с частотой  $> 10\%$  в порядке убывания частоты — 1 балл.

**Ответ.**

## Python

```

1  def read_sam(Test_alignment):
2      mutations={}
3      with open(Test_alignment, "r") as file:
4          for line in file:
5              if (line.startswith("@")):
6                  continue
7              st=line.split()
8              chrom=st[2]
9              posis=int(st[3])
10             cigar=st[5]
11             i=0
12             while i<len(cigar):
13                 num=""
14                 while i<len(cigar) and cigar[i].isdigit():
15                     num+=cigar[i]
16                     i+=1
17                 if (i<len(cigar)):
18                     letter=cigar[i]
19                     if (letter=="D"):
20                         s=posis
21                         e=posis+int(num)-1
22                         mut=f"del_{chrom}_{s}_{e}"
23                         mutations[mut]=mutations.get(mut, 0)+1
24                         posis+=int(num)
25                     elif (letter=="I"):
26                         s=posis
27                         e=posis+int(num)-1
28                         mut=f"ins_{chrom}_{s}_{e}"
29                         if (mut=="ins_chrl_141_142"):
30                             mutations[mut]=mutations.get(mut, 0)+1
31                     else:
32                         posis+=int(num)
33                 i+=1
34             return mutations
35  def chastota(mutations):
36      s=sum(mutations.values())
37      return {k: ((v/s)*100) for k, v in mutations.items()}
38  def glavnai(Test_alignment):
39      mutations=read_sam(Test_alignment)
40      sty=chastota(mutations)
41      filtr={k: v for k, v in sty.items() if (v>10)}
42      sort=sorted(filtr.items(), key=lambda x: x[1], reverse=True)
43      for mutation, w in sort:
44          print(f"{mutation}")
45  glavnai("Test_alignment.sam")

```

## Этап 2. Лабораторная работа «Электропорация компетентных клеток» (15 баллов)

### Оборудование и реактивы:

- Продукт ПЦР, полученный в первый день плазида pQE30-mutGFP, если ПЦР прошла неудачно (пробирка 0,6 мл).
- Электрокомпетентные клетки *E. coli* штамм BL21, 50 мкл (1 пробирка, 0,6 мл).
- Среда SOC, 950 мкл (1 пробирка, 1,5 мл).
- 1 М ИПТГ (изопропил-бета-D-тиогаляктозид).

- Супероптимальная среда с катаболической репрессией SOC 1 мл (от англ. Super Optimal broth with Catabolite repression): 2% триптон, 0,5% дрожжевой экстракт, 10 мМ NaCl, 2,5 мМ KCl, 10 мМ MgCl<sub>2</sub>, 10 мМ MgSO<sub>4</sub>, 20 мМ глюкоза.
- 0,8%-й раствор NaCl.
- Чашки Петри с агаризованной средой LB с ампициллином.
- Одноразовые шпатели Дригальского.
- Спиртовка.
- Термостат для пробирок.
- Центрифуга.
- Инкубатор с перемешиванием.
- Инкубатор для чашек Петри.
- Автоматический дозатор объемом 1–10 мкл и 20–200 мкл.
- Наконечники для дозатора 10 мкл, 200 мкл, 1 000 мкл.

### **Протокол электропорации**

1. Пробирки со средой SOC разморозить в термостате при 37 °С.
2. Бактериальные клетки разморозить на льду (5–10 мин).
3. Плазмиды и кюветы для электропорации охладить на льду.
4. Добавить 1 мкл плазмиды или ПЦР-продукта в пробирку с клетками.
5. Перенести клеточную суспензию в кювету для электропорации и равномерно распределить.
6. Поместить кювету в электропоратор.
7. Запустить программу Ecl, нажать кнопку **pulse** для электрического импульса.
8. Быстро добавить к клеткам теплую среду SOC.
9. Аккуратно ресуспендировать клетки в кювете, перенести в пробирку, подписать.
10. Инкубировать электропорированные клетки в шейкер-инкубаторе при 37 °С в течение 30–60 мин.

### **Перенос бактерий на чашку Петри (порядок действий):**

1. Открутить клетки на настольной центрифуге при 6 000 г<sub>г</sub> в течение 3 мин.
2. Занести пробирки с клетками под ламинар.
3. Аккуратно слить супернатант, оставить на дне 20–50 мкл жидкости.
4. Ресуспендировать клетки.
5. Втереть в чашку Петри 40 мкл 1 М ИПТГ стерильным шпателем Дригальского.
6. Перенести бактерии на чашку Петри, растереть (можно тем же) шпателем Дригальского до полного впитывания. Подписать чашку Петри со стороны среды.
7. Инкубировать чашки Петри в инкубаторе при 37 °С в течение ночи.

На контрольную чашку организатор наносит бактерии, трансформированные по тому же протоколу плазмидой pQE30-GFP, с немутированным геном GFP.

### Теоретическое задание «Еколя, трансформируйся!»

Сегодня на практике участники ознакомились с одним из методов трансформации клеток.

Трансформация представляет собой процесс поглощения инородного генетического материала клетками с последующей его интеграцией в свой геном. В природе трансформация — один из способов горизонтального переноса генов. Она помогает бактериям выживать по ряду причин:

- позволяет им быстро адаптироваться к изменениям в окружающей среде, получая гены, которые обеспечивают устойчивость к антибиотикам или другим стрессовым факторам,
- способствует генетическому разнообразию, что увеличивает шансы на выживание популяции в условиях естественного отбора,
- дает возможность приобретать новые метаболические пути и функции, позволяя использовать различные источники пищи и ресурсы.

Трансформацию широко применяют в молекулярной биологии и генной инженерии.

Сегодня были использованы компетентные клетки *E. coli* штамма BL21(DE3). Их заранее обрабатывают для повышения способности поглощать чужеродную ДНК из окружающей среды. Клетки *E. coli* были трансформированы двумя разными плазмидами: первая несет в себе ген, кодирующий белок GFP (контрольная), вторая — содержит мутацию в этом гене (она была получена в первый день).

**Задание 1.** Какие другие методы используют для трансформации бактериальных клеток? Кратко опишите суть этих методов. (1 балл)

**Ответ:** два основных метода, используемых в лаборатории — электропорация и химическая трансформация; при химической трансформации используют компетентные клетки, выращенные и быстро замороженные в среде  $\text{CaCl}_2$ ; клеткам добавляют плазмиду и проводят «тепловой шок» — нагревают до 42 °С. В результате клетки захватывают плазмидную ДНК и происходит трансформация.

**Задание 2.** Опишите, для чего нужен шаг, на котором смесь клеток с плазмидой после электропорации перемещают в среду SOC? (2 балла)

**Ответ:** в среде SOC существуют оптимальные условия для роста клеток, происходит наработка продуктов генов устойчивости к антибиотикам; клетка репарирует повреждения ДНК (например, возникающие при мутагенезе), делится 1–2 раза, и выживают только клетки с относительно целым геномом.

**Задание 3.** Какие структурные элементы должна содержать плазида для эффективной наработки белка в клетках? (2 балла)

**Ответ:** промотор, терминатор, регуляторные элементы, необходимые для транскрипции и трансляции мРНК.

**Задание 4.** Почему в научных лабораториях используют специально разработанные штаммы бактерий, а не их дикие варианты? Чем отличаются эти штаммы? (2 балла)

**Ответ:** штаммы для экспрессии белков содержат мутации, которые стабилизируют структуру белка, способствуют его укладке, снижают деградацию мРНК, делают возможной индукцию экспрессии целевого гена.

### Теоретическое задание «Среда, мои чуваки»

После трансформации клетки помещаются в питательную среду SOC, затем высеиваются на чашки Петри, в которых заранее подготовлена питательная среда LB (*lysogeny broth*). Основными компонентами этой питательной среды выступают триптон, экстракт дрожжей, NaCl и агар. Кроме того, до застывания в питательную среду был добавлен антибиотик Ампициллин, а после застывания на поверхность нанесли ИПТГ (изопропил-бета-D-тиогалактозид).

**Задание 5.** Опишите, какие функции выполняет каждый из основных компонентов питательной среды LB. Для чего добавляют антибиотик и ИПТГ? (2 балла)

**Ответ:** триптон, дрожжевой экстракт — питательные вещества для роста бактерий; агар — для того, чтобы сделать среду твердой, пригодной для роста колоний бактерий; антибиотик — для того, чтобы выявить бактерии, которые содержат плазмиду; ИПТГ — для индукции экспрессии целевого гена.

Один из организаторов готовил среду для всех команд-финалистов. Предлагаем повторить все расчеты, которые понадобились ему в ходе приготовления реактивов. Исходно в лаборатории есть сухие реактивы: триптон, экстракт дрожжей, NaCl и агар, а также 1М раствор ИПТГ и 100 мг/мл раствор ампициллина.

**Задание 6.** Рассчитайте, каким должен быть конечный объем питательной среды, которую делает организатор, если на финале будет 7 команд, каждой команде нужно по 3 чашки Петри (объем чашки Петри примерно 30 мл, среда занимает 1/3 объема). Учтите, что на случай непредвиденных ситуаций организаторы готовят все реактивы с избытком в 1,5 раза. (2 балла)

**Ответ:** 315 мл.

**Задание 7.** Рассчитайте массы основных компонентов этой среды, если известно, что массовая доля агара в конечной смеси составляет 1,45%, триптона — 1%, NaCl и дрожжевой экстракт — по 0,5%. Для расчетов примите, что в растопленном виде плотность среды равна плотности воды. Какой объем исходного раствора антибиотика необходимо взять, если он должен составлять тысячную часть от объема среды? (2 балла)

**Ответ:** агар — 4,56 г; триптон — 3,15 г; хлорид натрия — 1,57 г; дрожжевой экстракт — 1,57 г; антибиотик — 315 мкл.

**Задание 8.** Чтобы участники смогли самостоятельно нанести на каждую чашку Петри 40 мкл 100 мМ ИПТГ, организатору необходимо приготовить каждой команде по 1 пробирке, из которой команда будет наносить ИПТГ на все свои чашки. Какой итоговый объем должен получиться у организатора в пробирке для каждой команды (не забудьте, что все реактивы готовятся с полуторным избытком)? Какой объем исходного раствора ИПТГ организатору нужно добавить в пробирку для каждой команды, чтобы получить нужную концентрацию? (2 балла)

**Ответ:** 180 мкл.

### Биоинформатика 2. «Поиск мутации» (15 баллов)

Участникам предоставлена аминокислотная последовательность белка неизвестного происхождения. Поставлена задача — проанализировать этот белок с использованием базы данных, NCBI, UniProt, PDB и ответить на следующие вопросы:



1. Найдите гомологичные белки с помощью инструмента BLAST. Какие белки имеют наибольшее сходство с предоставленной последовательностью? Укажите их идентификаторы (ID) и организмы.
2. Найдите этот белок в базе данных PDB и посмотрите трехмерную структуру. Какие элементы вторичной структуры присутствуют в этом белке?
3. Какие функциональные домены присутствуют в этом белке? Почему они важны для его функции?
4. К какому биологическому процессу относится этот белок?
5. Есть ли у этого белка посттрансляционные модификации? Если да, то какие и как они могут влиять на его функцию?
6. Есть ли у этого белка изоформы? Если да, то как они отличаются?
7. Какие взаимодействия с другими белками характерны для этого белка?

**Фрагмент последовательности:** metpsqrrat rsgaqasstp lsptritrql ekedlqelnd rlav yidrvr sletenaglr.

### Ответы

**Вопрос 1.** Представлены 25 самых схожих последовательностей, их было больше. Все они имели низкий E-value и в большинстве представляли собой последовательность Ламина А/С.

Neotoma lepida OBS64991.1  
 Homo sapiens AHI07399.1  
 Homo sapiens KAI2519636.1  
 Homo sapiens KAI2519635.1  
 Saguinus oedipus KAK2084423.1  
 Homo sapiens KAI2519634.1  
 Ptilocolobus tephrosceles XP\_023069786.1  
 Puma concolor XP\_025770955.1  
 Homo sapiens KAI2519631.1  
 Homo sapiens 6JLB\_A  
 Homo sapiens AAN33088.1  
 Pongo abelii PNJ56704.1  
 Gracilinanus agilis XP\_044540329.1  
 Homo sapiens ABB04050.1  
 Homo sapiens AAW32539.1  
 Rhinolophus ferrumequinum KAF6293089.1  
 Homo sapiens KAI2519630.1  
 Panthera uncia XP\_049490771.1  
 Ovis canadensis XP\_069400509.1  
 Bos taurus NP\_001029225.1  
 Sus scrofa AAY44742.1  
 Pongo pygmaeus XP\_054325363.1  
 Phyllostomus discolor KAF6074864.1

*Sigmodon hispidus* KAL1778273.1

*Myotis myotis* KAF6290871.1

**Вопрос 2.** Данный белок включает в свою структуру несколько альфа-спиралей и неспиральные N-конец и С-конец. С-конец содержит имунноглобулин-подобный домен (Ig), который в свою очередь содержит бета-слои.

**Вопрос 3.** С-конец и N-конец белка участвуют в формировании продольных взаимодействий, что позволяет формировать промежуточные филаменты. Это важно, так как позволяет создавать ламиновый каркас на внутренней стороне ядерной мембраны.

Помимо того, основной альфа-спиральный домен белка, необходимый для выполнения белком функции по созданию каркаса для ядерной оболочки, содержит домены для образования связей в димерах белка (гидрофобный шов на одной из альфа-спиралей). Белок содержит домены, позволяющие ему связывать хроматин (Ig-fold), поэтому он может соединять хроматин и ядерную оболочку.

Глобулярный Ig-fold-домен участвует в формировании связей с другими белками (титин, актин, PCNA), что имеет большое значение для осуществления его воздействия на репликацию и структурных взаимодействий. Кроме того, в структуре белка есть последовательность, отвечающая за его транспорт в ядро после синтеза (NLS).

**Вопрос 4.** Данный белок участвует в процессе организации хроматина и сборке оболочки ядра. Помимо этого, белок связан с процессом деления клетки, поскольку при делении разрушение ядерной оболочки связано с его фосфорилированием и разрушением связей между его филаментами.

Некоторые белки участвуют в репарации ДНК: привлекаются белками репарации ДНК XRCC4 и IFFO1 к двухцепочечным разрывам ДНК (DSB) для предотвращения транслокации хромосом путем иммобилизации разорванных концов ДНК, регуляции экспрессии генов, репликации (благодаря связыванию через Ig-fold домен PCNA).

**Вопрос 5.** Да, А-Ламин претерпевает фанерзилирование, запускающее удаление последнего трипептида с С-конца и после этого претерпевает метилирование для своего созревания. Помимо этого, ламины испытывают сайт-специфическое фосфорилирование, что способствует либо их нацеливанию на ядерную мембрану и сборке в ее промежуточные филаменты, либо, наоборот, способствует разборке промежуточных филаментов в зависимости от изоформы и сайта.

**Вопрос 6.** Да, есть: А, В1, В2, С. Изоформы А и С — результат альтернативного сплайсинга одного гена LMNA, они имеют общие последовательности аминокислот (566), В1 и В2 — продукты разных других генов с высокой схожестью. Кроме того, как результат альтернативного сплайсинга LMNA выделяют второстепенные изоформы AΔ10 и C2.

**Вопрос 7.** Разные изоформы ламина способны взаимодействовать друг с другом, образуя гомодимеры и гетеродимеры. Данный белок также взаимодействует с титином в мышцах с белком, увеличивающим процессивность ДНК-полимеразы PCNA. Помимо этого, они взаимодействуют с внутренними белками ядерной мембраны, в том числе другим структурным белком, эмерином, интегральными белками, прикрепляющими их к мембране ядра (LBR).

### Этап 3. Лабораторная работа «Рестрикционный анализ плазмидной ДНК» (15 баллов)

#### Оборудование и реактивы:

- Комплект плазмид для идентификации (пробирки 0,6 мл с цифровыми обозначениями \_\_\_ и \_\_\_) по 11 мкл плазмиды с концентрацией 40 нг/мкл.
- Рестрикционные буферы: 10xSE-буфер B, 10xSE-буфер G, 10xSE-буфер O, 10xSE-буфер W, 10xSE-буфер Y, 10xSE-буфер ROSE (Сибэнзайм).
- Эндонуклеазы рестрикции: Acc16 I, 5 ед./мкл, BamH I, 5 ед./мкл, Pst I, 5 ед./мкл, Vne I, 5 ед./мкл (Сибэнзайм).
- Деионизованная вода класса milliQ (1 мл).
- Автоматические дозаторы объемом 1–10 мкл, 20–200 мкл.
- Наконечники для автоматического дозатора: 10 мкл, 200 мкл.
- Термостат.

#### Задание

В ходе данной работы необходимо с помощью рестрикционного анализа определить, какие две плазмиды выданы. Карты плазмид представлены на схеме: обозначены название, размер плазмиды, а также расположение сайтов, по которым гидролизуют эндонуклеазы рестрикции Acc16 I, BamH I, Pst I и Vne I.

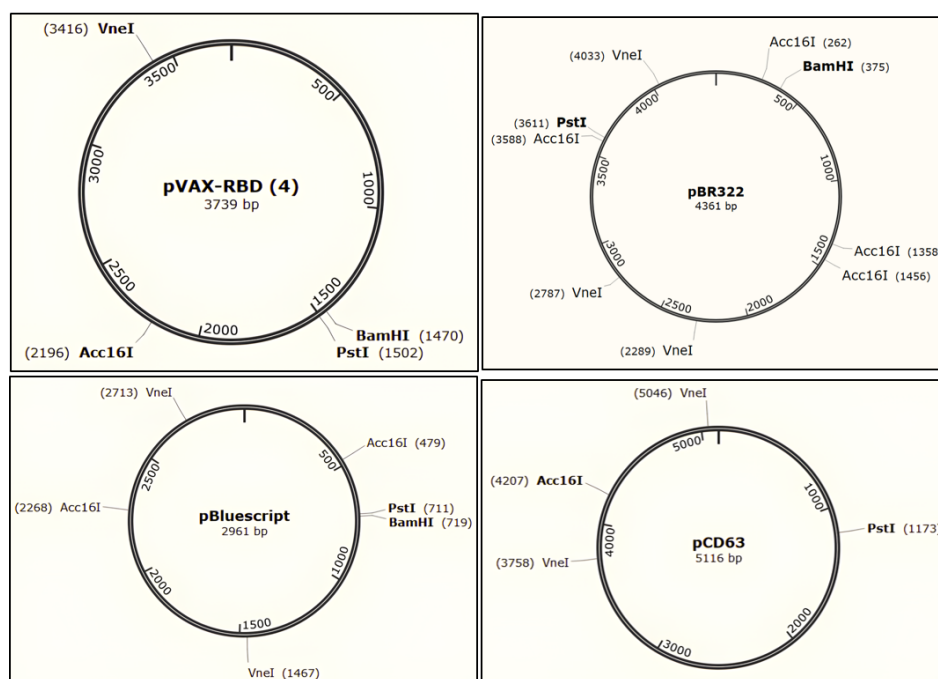


Рис. 4.3.3. Карты плазмид

Для анализа необходимо использовать пару эндонуклеаз рестрикции, то есть одновременно в одной пробирке провести гидролиз ДНК плазмиды двумя ферментами (Acc16 I + BamH I) или (Pst I + Vne I). В результате у каждой команды получится по четыре пробирки с реакционными смесями.

Для того чтобы рестриктазы работали корректно, нужно подобрать для них оптимальный реакционный буфер. При использовании неоптимального буфера возможно появление звездчатой активности — снижения или изменения специфичности

эндонуклеаз рестрикции ([https://ru.wikipedia.org/wiki/Эндонуклеазы\\_рестрикции](https://ru.wikipedia.org/wiki/Эндонуклеазы_рестрикции)). В результате фермент будет неизбирательно разрезать ДНК, и полученные в ходе такого эксперимента данные не позволят правильно идентифицировать плазмиду.

Ниже представлена таблица 4.3.5, отображающая активность эндонуклеаз рестрикции в разных буферных растворах. Следует подобрать для каждой пары рестриктаз оптимальный буферный растворы и провести рестрикционный анализ плазмид согласно протоколу.

Таблица 4.3.5

Фермент	Сайт узнавания	Активность в буфере, % от максимальной						Оптимальная температура, °C
		B	G	O	W	Y	R	
Acc16 I	TGC↑GCA ACG↓CGT	50–75	75–100	25–50	100	75–100	70	37
BamH I	G↑GATCC CCTAG↓G	25–50	100	75–100	75–100	25–50	100	37
Pst I	CTGCA↑G G↓ACGTC	10–25	25–50	1100	25–50	25–50	50	37
Vne I	G↑TGCAC CACGT↓G	10–25	25–50	100	25–50	25–50	100	37

### Протокол:

1. Возьмите две чистые пробирки объемом 0,6 мл и подпишите их так же, как обозначены две неизвестные выданные плазмиды.
2. **На обеих** пробирках поставьте обозначение «**A+B**» («A» обозначает эндонуклеазу рестрикции Acc16 I, «B» — эндонуклеазу рестрикции BamH I).
3. Возьмите еще две чистые пробирки объемом 0,6 мл и снова подпишите их так же, как обозначены две неизвестные выданные плазмиды.
4. **На обеих** пробирках поставьте обозначение «**P+V**» («P» обозначает эндонуклеазу рестрикции Pst I, «V» — эндонуклеазу рестрикции Vne I).
5. Внесите в каждую из пробирок соответствующие реагенты в количестве, указанном в таблице 4.3.6. Порядок добавления реагентов следующий: вода mQ, 10X буфер, плазмиды, рестриктазы (по 2 шт!). Конечный объем реакционной смеси — 10 мкл.
6. Поместите реакционные смеси в твердотельный термостат на 37 °C на 30 мин.

Таблица 4.3.6

Компонент	Плазмида «__» «A+B»	Плазмида «__» «A+B»	Плазмида «__» «P+V»	Плазмида «__» «P+V»
milliQ	мкл	мкл	мкл	мкл
10X буфер	мкл	мкл	мкл	мкл
Название буфера				
Плазмида «__»	4 мкл	—	4 мкл	—

Компонент	Плазмида «__» «A+B»	Плазмида «__» «A+B»	Плазмида «__» «P+V»	Плазмида «__» «P+V»
Плазмида «__»	—	4 мкл	—	4 мкл
Acc16 I	1 мкл	1 мкл	—	—
BamH I	1 мкл	1 мкл	—	—
Pst I	—	—	1 мкл	1 мкл
Vne I	—	—	1 мкл	1 мкл

### **Электрофоретический анализ в агарозном геле**

#### **Оборудование и реактивы:**

- Агароза, буфер 1×ТАЕ, маркер длин ДНК.
- Камера для горизонтального электрофореза.
- Трансиллюминатор.
- Автоматические дозаторы объемом 1–10 мкл.
- Наконечники для дозатора 10 мкл.

#### **Протокол:**

1. Для приготовления геля прилейте к навеске агарозы массой 1 г 100 мл 1×ТАЕ, доведите до кипения и растворите всю навеску при перемешивании.
2. После остывания раствора агарозы установите в форму гребенки и перелейте раствор агарозы.
3. Добавьте к образцам по \_\_\_\_ мкл 4X красителя для нанесения на гель.
4. Нанесите на гель весь объем каждой из реакционных смесей с буфером для нанесения, запишите порядок нанесения образцов.
5. Нанесите на агарозный гель маркер длин ДНК.
6. Запустите электрофорез в следующих условиях: 120 В, 40 мин.
7. Получите изображения геля после электрофореза с помощью трансиллюминатора.
8. Проведите анализ продуктов рестрикции, установите, какие плазмиды были выданы вашей команде.

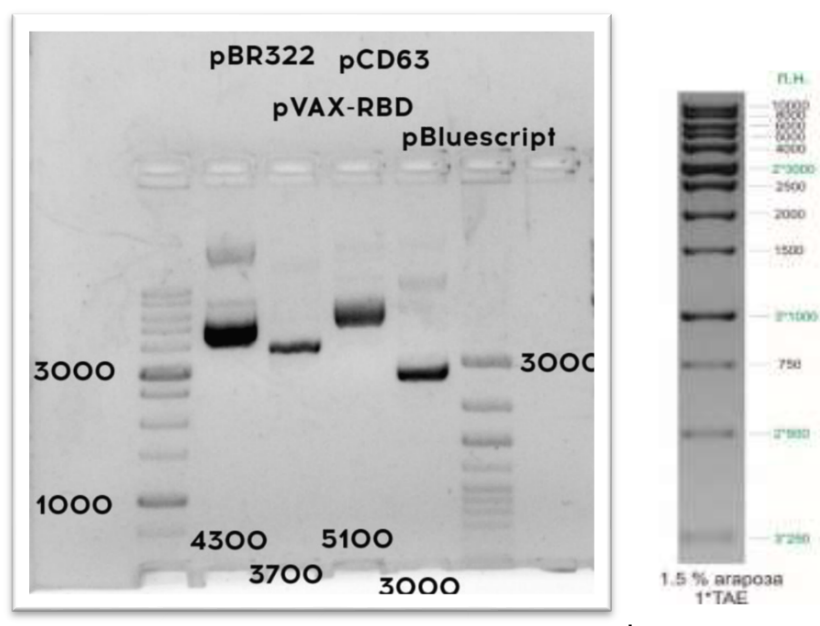


Рис. 4.3.4. Результаты электрофореза контрольных плазмид

**Задание 1.** Определите, какие плазмиды вам были выданы?

Плазмида \_\_\_\_, плазмида \_\_\_\_.

**Задание 2.** Используя карты плазмид pVAX-RBD, pBR322, pBluescript и pCD63, вычислите размеры продуктов, которые должны получиться в результате гидролиза этих плазмид эндонуклеазами рестрикции.

Таблица 4.3.7

Плазмиды	Эндонуклеазы рестрикции	Длина продуктов, п. н.
pVAX-RBD	Acc16 I + BamH I	
	Pst I + Vne I	
pBR322	Acc16 I + BamH I	
	Pst I + Vne I	
pBluescript	Acc16 I + BamH I	
	Pst I + Vne I	
pCD63	Acc16 I + BamH I	
	Pst I + Vne I	

### Теоретическое задание «Семь раз отмерь, один раз отрежь»

Сегодня в ходе лабораторной работы предстоит проводить рестрикционный анализ. Рестриктазы — это ферменты, которые способны распознавать специфические последовательности ДНК и разрезать их в определенных местах. Впервые они были обнаружены у бактерий, где выполняли защитную функцию, разрушая чужеродную ДНК, например, вирусную.

Рестриктазы широко используются в лабораторных условиях для создания рекомбинантных молекул ДНК. С их помощью ученые могут вырезать нужные фрагменты ДНК и вставлять их в другие молекулы, например, в плазмиды или векторы. Это позволяет клонировать гены, изучать их функции, создавать генетически модифицированные организмы и разрабатывать новые методы лечения заболеваний. Кроме того, рестриктазы применяются, например, в секвенировании для получения коротких фрагментов ДНК, которые будет возможно «прочитать».

**Задание 3.** Студент проводил эксперимент: взял 200 нг ДНК и добавил в реакцию не 1 мкл рестриктазы, а 10 мкл, после чего после гель-электрофореза увидел только пустую дорожку. Предположите, из-за чего так произошло?

**Ответ:** избыток рестриктазы гидролизует ДНК не только по специфическим сайтам рестрикции, в результате чего образовались короткие продукты, которые не видны на электрофорезе.

**Задание 4.** После этого студент решил переделать эксперимент, но в этот раз забыл добавить в реакцию смесь буферный раствор. Что он увидит на электрофорезе и почему? Какие необходимые для рестриктаз компоненты содержит буферный раствор?

**Ответ:** в отсутствие буферного раствора рестриктаза не будет проявлять активность, либо активность будет сильно снижена; буферный раствор содержит соли и вещества, поддерживающие pH раствора.

### ***Теоретическое задание «Авантюристам вход воспрещен»***

Райан Гослинг устроился в лабораторию нейрофизиологии, где основной спектр исследований сводится к изучению дофаминовых рецепторов человека. Они играют заметную роль в создании приятных эмоций и тягу к стремлению к чему-то новому.

В настоящий момент у человека идентифицированы пять типов дофаминовых рецепторов: D1, D2, D3, D4 и D5. По некоторым научным данным, за чувство удовольствия от поиска новизны отвечает рецептор D4, кодирующийся геном DRD4. Именно он определяет, сколько удовольствия человек получит при совершении чего-то нового или удивительного.

Одна из вариаций рецептора D4 в головном мозге приводит к пониженной чувствительности к удовлетворению после испытанной новизны, в силу этого люди, имеющие такую особенность, более склонны к совершению рискованных поступков, например, прыжки с парашютом, покорение горных вершин, кругосветное путешествие. Поэтому этой аллели дали название «ген авантюризма».

Представим на секунду, что Райан Гослинг — ваш подопечный в проекте, где необходимо из культуры человеческих клеток достать ген, кодирующий данный рецептор, и клонировать его в плазмиду. Для этого нужно провести ряд манипуляций. Отвечая на вопросы, составьте план, по которому можно правильно провести клонирование человеческого гена в плазмиду.

**Задание 5.** Почему для успешного клонирования гена DRD4 необходимо выделять из клеток молекулу РНК, а не ДНК?

**Ответ:** требуется выделить именно продукт того гена, который работает в головном мозге, для этого необходимо использовать мРНК.

**Задание 6.** Фермент X используется для получения комплементарной молекулы ДНК по матрице молекулы РНК. Как называется фермент X?

**Ответ:** обратная транскриптаза (ревертаза).

**Задание 7.** Какие организмы содержат фермент X? С какой целью они используют его?

**Ответ:** например, ретровирусы используют обратную транскриптазу в жизненном цикле для синтеза кДНК и интеграции в геном; геном человека содержит множество ретротранспозонов, многие из которых кодируют функциональную обратную транскриптазу; кроме того, активный центр обратной транскриптазы содержит теломеразу.

**Задание 8.** В результате прошлых опытов была получена последовательность комплементарной ДНК гена DRD4. Следующая цель — вставить данный ген в плазмиду. Однако для этого необходимо к последовательности добавить сайты рестрикции. Предложите способ, как можно это сделать, используя один из методов молекулярной биологии.

**Ответ:** например, добавить сайты рестрикции можно с помощью ПЦР; для этого к 5'-концам праймеров добавляют последовательность сайта рестрикции и несколько нуклеотидов «с краю», чтобы обеспечить место для посадки рестриктазы.

**Задание 9.** Напишите план, по которому вы будете клонировать кДНК гена DRD4 в плазмиду. Составьте список ферментов для использования при всех имеющихся манипуляциях. Укажите назначение этих ферментов в данном эксперименте.

**Ответ:** если кДНК уже наработана, то нужны рестриктаза для получения липких концов в ПЦР-продукте и гидролиза плазмиды и ДНК-лигаза для лигирования ПЦР-продукта в плазмиду; если кДНК еще не наработана, то обратная транскриптаза (и обратный праймер), а также ДНК-полимераза для проведения ПЦР.

### **Биоинформатика 3. «Химеры» (20 баллов)**

В мифологии химера — это огнедышащее существо с элементами различных животных, например, с головой и телом льва и хвостом змеи, из спины которого вырастает козья голова.

В молекулярной биологии также встречаются свои химеры. Одна из них — филадельфийская хромосома, возникающая вследствие реципрокной транслокации генетического материала между частями генов ABL1 хромосомы 9 и BCR хромосомы 22. Эта геномная аномалия является частой причиной возникновения онкологических заболеваний системы кроветворения, таких как хронический миелоидный лейкоз и острый лимфобластный лейкоз.

Разрывы генов могут происходить в разных их частях, и возможны разные места слияния участков ДНК. Так, одной из возможных форм химерного гена *BCR-ABL1* является форма e1a2 (место слияния находится между экзоном 1 гена BCR и экзоном 2 гена ABL1).



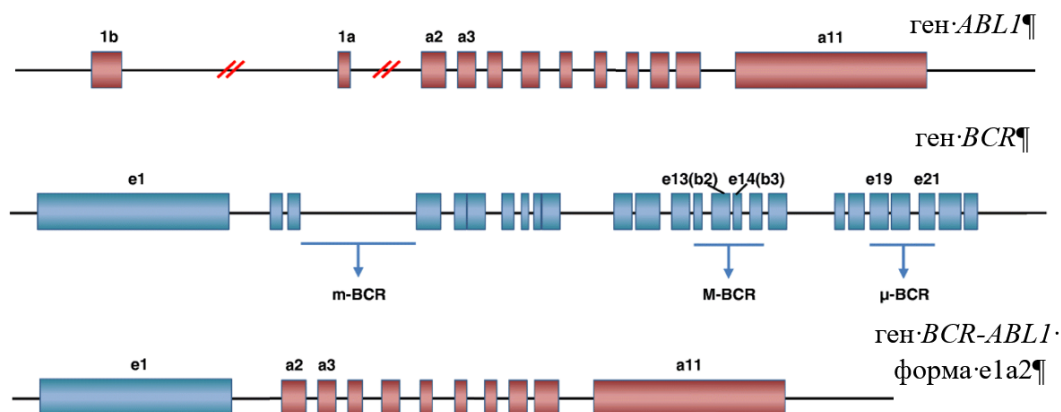


Рис. 4.3.5

**Задание 1.** Используя данные о последовательностях экзонов генов *ABL1* и *BCR* человека из базы данных Ensembl (для однозначности используете последовательности экзонов ENST00000318560.6 и ENST00000305877.13), определите правильную последовательность химерного гена *BCR-ABL1* формы e1a2 без учета последовательностей интронов. В качестве ответа предоставьте файл формата **gbr** с последовательностью и укажите длину полученной последовательности.

**Ответ:** длина 7037 bp, файл в папке <https://disk.yandex.ru/d/YoyGQopPuw5Cfq/8-9/>.

Вы поставили задачу — создать модельную линию эукариотических клеток, стабильно экспрессирующих ген *BCR-ABL1*. Данная модель может быть использована при разработке новых диагностических систем и лекарственных препаратов.

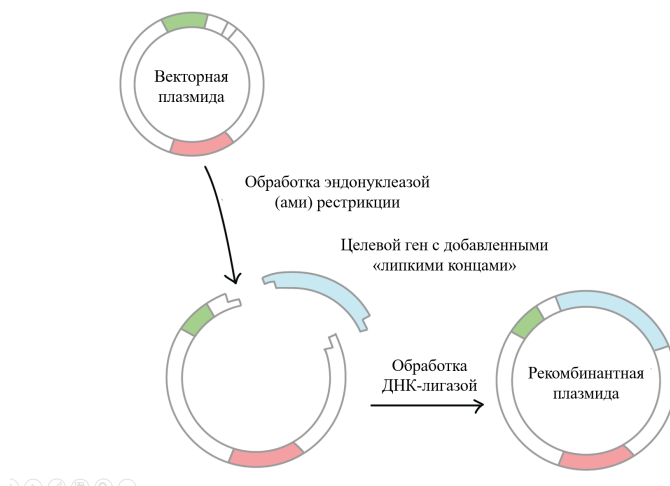


Рис. 4.3.6

Для достижения этой цели вы решили клонировать ген *BCR-ABL1* методом рестрикции и лигирования по «липким концам», поэтому необходимо выбрать подходящий плазмидный вектор и гидролизовать его определенными эндонуклеазами рестрикции для получения его линейлизованной формы с «липкими концами». Кроме того, нужно амплифицировать ген *BCR-ABL1* с использованием пары праймеров, содержащих вложенные дополнительные «липкие концы».

Следующий шаг — проведение реакции лигирования вектора и амплифицированной последовательности гена для получения рекомбинантной плазмиды.

Наконец, необходимо проверить качество клонирования рестрикционным анализом.

**Задание 2.** Выберите из предоставленных плазмидных векторов подходящий для описанной задачи. При выборе учитывайте наличие всех необходимых элементов для эффективной экспрессии гена *BCR-ABL1* в эукариотических клетках, а также возможность получения большого числа копий полученной рекомбинантной плазмиды в бактериях.

Определите эндонуклеазу(ы) рестрикции, которую(ые) можно использовать для получения линейной формы выбранного вами вектора с «липкими концами» для последующего клонирования гена *BCR-ABL1*. В качестве ответа предоставьте названия выбранных вами вектора и эндонуклеаз(ы) рестрикции. Аргументируйте свой выбор.

**Ответ:** pCMV v3 плазида содержит *ori* и селективный маркер для получения большого числа копий полученной рекомбинантной плазмиды в бактериях, а также содержит *ori* и селективный маркер для экспрессии генов в эукариотических клетках; кроме того, присутствует multiple cloning site (MCS) с уникальными сайтами рестрикции для получения линейаризованного вектора с «липкими концами»; MCS фланкирован промотором CMV и  $\beta$ -globin poly(A) signal для эффективной экспрессии целевого гена); эндонуклеазы рестрикции BmtI и SacI находятся в области MCS, обладают единственным в плазмиде сайтом рестрикции и позволяют линейаризовать плазмиду pCMV v3 с получением «липких» концов для клонирования.

Также см. файлы в папке <https://disk.yandex.ru/d/YoyGQoppUw5Cfg/8-9/>.

**Задание 3.** Подберите прямой и обратный праймеры для амплификации гена *BCR-ABL1* для дальнейшего клонирования. Для этого используйте последовательность гена *BCR-ABL1*, полученную в задании 1 (без интронов). К подобранным праймерам добавьте «липкие концы» для клонирования, соответствующие «липким концам» линейаризованной векторной плазмиды из задания 2.

Учитывайте, что температуры плавления итоговых прямого и обратного праймера должны быть примерно одинаковы  $\pm 2$  °C (55–60 °C), кроме того, праймеры не должны образовывать шпичечных структур. Используйте OligoCalc для оценки качества подобранных праймеров.

В качестве ответа файлом `txt` предоставьте последовательность прямого и обратного праймера от 5 (с указанием, где прямой праймер, а где — обратный). Для каждого из них укажите температуру плавления.

**Ответ:** прямой праймер — GATCGCAGAGTGCGGGC (температура плавления 60 °C); обратный праймер — TCGATTCTAATGTAAACACTGATTT (температура плавления 58 °C); не образуют шпичечных структур и не нарушают последовательности экзонов целевого гена.

**Задание 4.** Предоставьте последовательность полученной в результате клонирования рекомбинантной последовательности в формате `gbr`.

**Ответ:** см. файл в папке <https://disk.yandex.ru/d/YoyGQoppUw5Cfg/8-9/>.

**Задание 5.** Предложите эндонуклеазу(ы) рестрикции, с использованием кото-

рой(ых) можно было бы проверить эффективность встраивание целевого гена в векторную плазмиду. В качестве ответа укажите названия выбранных вами эндонуклеаз рестрикции, а также длины фрагментов ДНК, которые будут получены при гидролизе выбранными ферментами рекомбинантной плазмиды и векторной плазмиды.

**Ответ:** при гидролизе эндонуклеазами рестрикции SspI, BsaI векторной плазмиды будут получаться фрагменты длиной 3724 bp, 743 bp, а рекомбинантной плазмиды — 4471bp, 3529bp, 2740bp, 743bp; таким образом можно определить правильной полученной генетической конструкции.

#### **Этап 4. Творческое задание (10 баллов)**

Напишите эссе на тему «На какие “Большие вызовы”, которые стоят сегодня перед медицинской кибернетикой, могут ответить технологии управления свойствами биологических объектов?» Приведите конкретные примеры. Длина текста — до 2 000 символов с пробелами

#### **Критерии оценивания эссе**

- сформулированы «Большие вызовы» (проблемы) медицинской кибернетики;
- определено, какие технологии управления свойствами биологических объектов могут помочь на них ответить;
- приведена аргументация, почему решение данных проблем имеет значение для медицинской кибернетики.

### **4.3.6. Описание задачи 10–11 классы**

#### **Этап 1. Лабораторная работа «Сайт-направленный мутагенез с использованием ПЦР» (15 баллов)**

##### **Оборудование и реагенты:**

- Плазмида pQE30-GFP (концентрация 10 нг/мкл).
- 2X Mastermix Pfu-Sso7d, 12,5 мкл (пробирка 0,2 мл).
- Праймеры For и Rev (прямой и обратный) для плазмиды pQE30-GFP, по 5 мкл, 2 мкМ (2 пробирки 0,6 мл).
- milliQ, деионизованная вода.
- Амплификатор.
- Автоматические дозаторы объемом 1–10 мкл.
- Наконечники для дозатора 10 мкл.

##### **Протокол ПЦР:**

1. Приготовьте реакционную смесь для ПЦР в пробирке объемом 0,2 мл. Подпишите пробирку опознавательными знаками своей команды. Для этого добавьте следующие компоненты в пробирку с 12,5 мкл 2X Mastermix Pfu-Sso7d (пробирка 200 мкл): по 2,5 мкл 2 мкМ прямого (пробирка F) и обратного

праймеров и \_\_\_\_ мкл воды mQ. Суммарный объем реакционной смеси 25 мкл. (1 балл)

- В реакционную смесь внесите 1 мкл раствора плазмиды pQE30-GFP (пробирка ПЛ) и ресуспендируйте пипетированием в пробирке.
- Поместите полученную реакционную смесь для ПЦР в амплификатор.

Таблица 4.3.8. Программа амплификации

Число циклов	Этап	Температура, °C	Время, с
1	Денатурация	98	30
25	Денатурация	98	10
	Отжиг праймеров	68	20
	Элонгация	72	180
1	Элонгация	72	120

#### Электрофорез в агарозном геле:

- Агароза; буфер 1×TAE; бромистый этидий.
- Маркер электрофоретической подвижности Sky-High (Биолабмикс).
- 4×краситель для нанесения ДНК (Биолабмикс).
- Камера для проведения электрофореза; трансиллюминатор или гель-док.
- Автоматические дозаторы объемом 1–10 мкл.
- Наконечники для дозатора 10 мкл.

#### Протокол агарозного электрофореза

- Для приготовления 1%-го геля прилейте к навеске агарозы массой 1 г 100 мл 1×TAE, доведите до кипения и растворите всю навеску при перемешивании. После остывания раствора агарозы до 50 °C добавьте 5 мкл бромистого этидия (10 мг/мл), перемешайте и перелейте раствор в форму для заливки геля.
- В пробирку на 0,6 мкл внесите 6 мкл ПЦР продукта из ПЦР-пробирки. **Внимание!** Оставшийся ПЦР продукт (~19 мкл) передайте организаторам, он будет необходим для дальнейшей работы. К 6 мкл отобранного образца добавьте \_\_\_\_ мкл 4X буфера для нанесения и перемешайте пипетированием.
- Нанесите на агарозный гель 6 мкл подготовленного образца, смешанного с краской.
- Нанесите на агарозный гель 2 мкл маркера длин ДНК.
- Проведите электрофорез в следующих условиях: 120 В, 45 мин.
- Получите изображения геля после электрофореза.

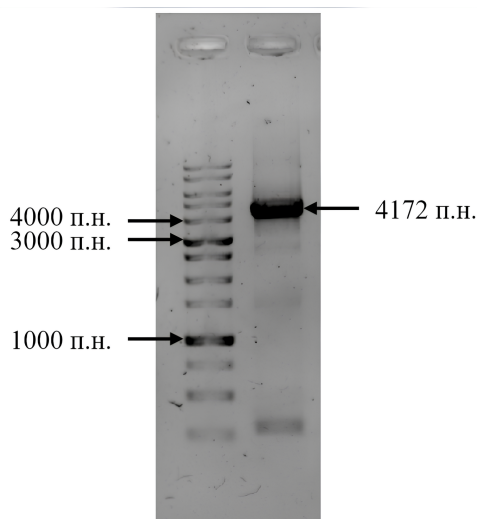


Рис. 4.3.7. Ожидаемый результат

### Теоретическое задание «ДНК-полимеразы: Taq, Pfu и «Фьюжн»»

Для классической ПЦР используют Taq-полимеразу, которая была выделена из термофильной бактерии *Thermus aquaticus* во второй половине XX века. С задачей ПЦР-диагностики (амплификации коротких фрагментов ДНК и их визуализации в агарозном геле или с детекцией в режиме реального времени) Taq-полимераза справляется отлично. Недостатком этой полимеразы является относительно низкая точность, так как у нее отсутствует 3'-5' экзонуклеазная корректирующая (proofreading) активность. Taq-полимераза допускает около 1 ошибки (неправильно встроенного нуклеотида) на каждые 9 000 нуклеотидов.

Для того чтобы клонировать ПЦР-продукты в следующий вектор, такой точности недостаточно, особенно в случае протяженных фрагментов ДНК (некоторые гены могут иметь длину значительно больше 9 000 нуклеотидов).

Для амплификации протяженных фрагментов обычно используют ДНК-полимеразу Pfu, выделенную из археи *Pyrococcus furiosus* (оптимальная температура роста — 100 °C). Pfu содержит экзонуклеазный корректирующий домен и поэтому имеет точность около 1 ошибки на 1–1,3 млн нуклеотидов.

Для максимально точной амплификации используют «фьюжн» (слитую, химерную) ДНК-полимеразу Pfu-Sso7d, в которой к полимеразе Pfu добавлен ДНК-связывающий белок Sso7d термофильной археи *Sulfolobus solfataricus*, который связывает малую бороздку ДНК и стабилизирует комплекс полимеразы с матрицей.

**Задание 1.** Перечислите принципы репликации, которые имеют отношение к ПЦР.

**Ответ:** комплементарность, антипараллельность, униполярность.

**Задание 2.** Почему процессивности и точности Taq-полимеразы недостаточно для использования в клонировании? К чему может привести использование Taq-полимеразы для клонирования гена? (2 балла)

**Ответ:** если ДНК-полимераза совершит ошибку в первых циклах амплификации (чего нельзя исключить), то эта ошибка сохранится во всех следующих циклах ПЦР; использование неточной полимеразы может привести к изменению аминокислотной

последовательности или появлению стоп-кодонов в кодирующей последовательности.

**Задание 3.** Предположите, как помогает увеличить точность «фьюжн»-полимеразы домен Sso7d? (1 балл)

**Ответ:** снижает вероятность диссоциации ДНК-полимеразы от матрицы, увеличивает процессивность, работает аналогично PCNA («скользящей застежки»).

**Задание 4.** Почему после клонирования даже высокоточной ДНК-полимеразой всегда секвенируют получившуюся конструкцию? (1 балл)

**Ответ:** потому что нельзя исключить возникновение ошибки, которые могут повлиять на последовательность нуклеотидов.

**Задание 5.** Какие компоненты, кроме ДНК-полимеразы, содержит мастер-микс? (1 балл)

**Ответ:** dNTP, буферные компоненты,  $MgCl_2$ .

### Теоретическое задание «Приключения GFP»

Изучите фрагмент матрицы ДНК, использованной для ПЦР (см. рис.8).

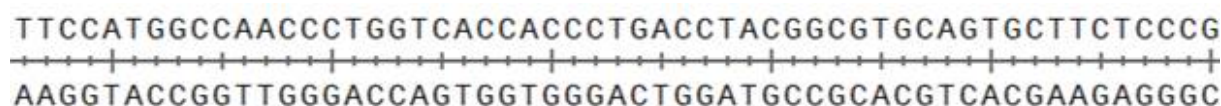


Рис. 4.3.8. Фрагмент матрицы ДНК, использованной для ПЦР

В ПЦР были использованы следующие праймеры:

For 5'-CACCCCTGACCCATGGCGTGCAGT-3',

Rev 5'-GTGACCAGGGTTGGCCATG-3'

**Задание 6.** На фрагменте матрицы ДНК укажите места отжига праймеров. Какой из праймеров отвечает за появление мутации в итоговом ПЦР продукте? (2 балла)

**Ответ:** прямой.

**Задание 7.** На схеме плазмиды pQE-30 (см. рис. 4.3.9) найдите участок, по которому был встроен ген GFP, укажите его обозначение \_\_\_\_\_. Предположите, какой продукт был получен в результате амплификации. Нарисуйте продукт на схеме. (1 балл)

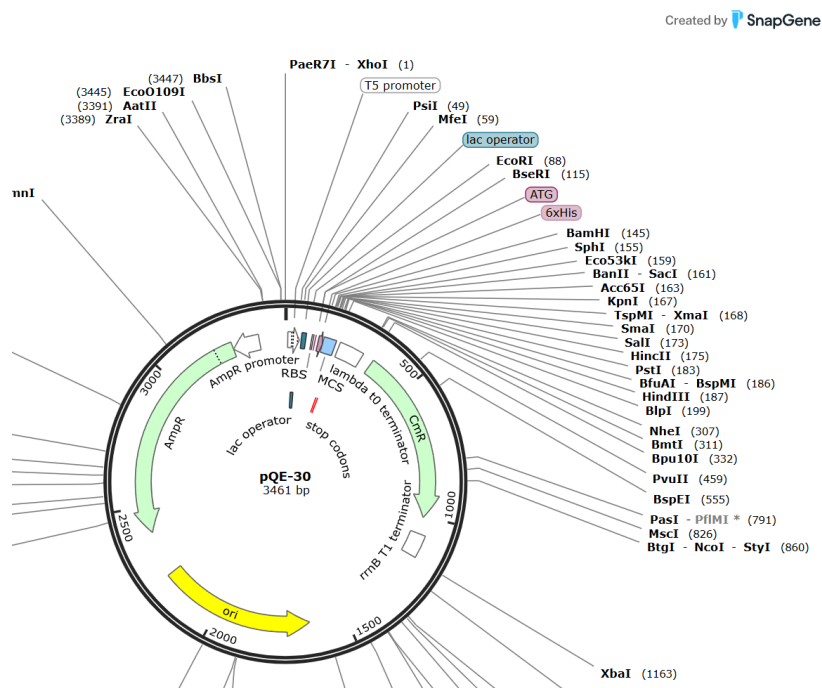


Рис. 4.3.9. Схема плазмиды pQE-30

**Ответ:** MCS (сайт множественного клонирования); вся плаزمида.

На рис. 4.3.10 схематически изображены структуры плазмиды pQE-30, имеющие отношение к наработке рекомбинантных белков.



Рис. 4.3.10



**Задание 8.** Запишите, с какого участка начинается и на каком участке заканчивается синтез мРНК (если предположить, что в нее уже встроен ген GFP)? (2 балла)

**Ответ:** +1 нуклеотид (MfeI, lac operator — справа); lambda t0 terminator.

**Задание 9.** Для чего нужна конструкция, обозначенная «6xHis», на каком конце белка она будет находиться? (1 балл)

**Ответ:** на N-конце; необходима для выделения и очистки белка аффинной хроматографией на хелатирующем сорбенте Ni-NTA или аналоги.

**Задание 10.** Для того чтобы стимулировать синтез GFP на плаزمиде, подобных pQE-30, используют вещество ИПТГ, которое удаляет белок-репрессор и стимулирует транскрипцию гена (например, GFP). С каким участком связывается белок-репрессор? Запишите его название. (1 балл)

**Ответ:** lac-operator.

### Биоинформатика 1 «Тримминг прочтений» (10 баллов)

В биоинформатике качество прочтений из секвенатора играет важную роль для дальнейшего анализа. Однако часто прочтения содержат участки с низким качеством на 5' и 3' концах, которые необходимо удалить. Это процесс называется триммингом. Участникам предстоит реализовать программу, которая выполняет тримминг прочтений с использованием алгоритма плавающего окна.

#### Формат входных данных

На вход программе подается файл в формате FASTQ. Каждое прочтение в FASTQ-файле состоит из четырех строк:

- Идентификатор прочтения (начинается с символа @).
- Последовательность нуклеотидов (в направлении от 5' до 3' конца).
- Строка-разделитель (обычно начинается с +).
- Строка качества, закодированная в формате Phred+33 (каждый символ (ASCII) соответствует качеству нуклеотида (Q) из строки с последовательностью нуклеотида).

ASCII\_BASE=33 Illumina, Ion Torrent, PacBio and Sanger

Q	P_error	ASCII	Q	P_error	ASCII	Q	P_error	ASCII	Q	P_error	ASCII
0	1.00000	33 !	11	0.07943	44 ,	22	0.00631	55 7	33	0.00050	66 B
1	0.79433	34 "	12	0.06310	45 -	23	0.00501	56 8	34	0.00040	67 C
2	0.63096	35 #	13	0.05012	46 .	24	0.00398	57 9	35	0.00032	68 D
3	0.50119	36 \$	14	0.03981	47 /	25	0.00316	58 :	36	0.00025	69 E
4	0.39811	37 %	15	0.03162	48 0	26	0.00251	59 ;	37	0.00020	70 F
5	0.31623	38 &	16	0.02512	49 1	27	0.00200	60 <	38	0.00016	71 G
6	0.25119	39 '	17	0.01995	50 2	28	0.00158	61 =	39	0.00013	72 H
7	0.19953	40 (	18	0.01585	51 3	29	0.00126	62 >	40	0.00010	73 I
8	0.15849	41 )	19	0.01259	52 4	30	0.00100	63 ?	41	0.00008	74 J
9	0.12589	42 *	20	0.01000	53 5	31	0.00079	64 @	42	0.00006	75 K
10	0.10000	43 +	21	0.00794	54 6	32	0.00063	65 A			

Рис. 4.3.11

#### Алгоритм плавающего окна:

1. Для каждого прочтения анализируется строка качества.



2. Используется окно фиксированного размера (например, 5 нуклеотидов), которое «скользит» по строке качества.
3. Если среднее качество в окне ниже заданного порога (например, 20), то прочтение обрезается до этого окна.
4. Тримминг выполняется как с 5' конца, так и с 3' конца.

**Задание.** Напишите функцию, которая принимает на вход файл с прочтениями в формате `fastq`. Название выходного файла и параметры: `window_size` (размер окна, по умолчанию 5), `quality_threshold` (порог качества, по умолчанию 20) и `min_length` (минимальная длина прочтения после тримминга, по умолчанию 5).

Функция должна выполнить тримминг последовательности с заданными параметрами и записать последовательности после тримминга в выходной файл. Если в результате тримминга длина прочтения меньше заданной, то такое прочтение не должно записываться во входной файл. Пример входного файла: `Test_Input.fastq`, пример выходного файла (для работы программы со значениями по умолчанию): `Test_Output.fastq`.

Добавьте в функцию сбор характеристик библиотек прочтений до и после фильтрации. Функция должна собирать следующие характеристики:

- количество прочтений до и после фильтрации,
- средняя длина прочтения до и после фильтрации,
- средний процент оснований с качеством выше Q30 до и после фильтрации,
- средний ГЦ-состав до и после фильтрации.

Данные характеристики должны быть записаны в отдельный файл.

### Критерии оценивания

- Реализован тримминг строки с качеством прочтения — 3 балла.
- Реализован тримминг последовательности прочтения — 2 балла.
- Реализован сбор характеристик до и после тримминга — 4 балла.
- Реализовано чтение из файла и запись результата в файл — 1 балл.

### Ответ

#### Python

```

1  def ordd(a):
2      return ord(a)-33
3  def chrr(a):
4      return chr(a+33)
5  def srsum(s,q):
6      qw=0
7      for i in s:
8          qw+=ord(i)-33
9      if q>qw/len(s):
10         return False
11     return True
12 def srlen(b):
13     s=[len(a[1]) for a in b]
14     return sum(s)/len(b)
15 def kach(b,qwerty):

```

```

16     s=""
17     o=0
18     for a in b:
19         s+=a[2+qwerty]
20     for i in s:
21         if ord(i)-33 > 30:
22             o+=1
23     return o*100/len(s)
24 def gc(b):
25     s=""
26     o=0
27     for a in b:
28         s+=a[1]
29     for i in s:
30         if i=='G' or i=='C':
31             o+=1
32     return o*100/len(s)
33 def trimming(b,win,q,minn):
34     ans=[]
35     for a in b:
36         an=[]
37         istrue=True
38         ii=0
39         while srsum(a[2][ii:ii+win],q)==False and ii<len(a[1])+1-win:
40             ii+=1
41
42         i=ii
43         qq=ii
44         while srsum(a[2][i:i+win],q) and i<len(a[1])+1-win:
45             qq=i+win
46             i+=1
47         if a[1][ii:qq]!='' and len(a[1][ii:qq])>=minn:
48             an.append(a[0])
49             an.append(a[1][ii:qq])
50             an.append("+")
51             an.append(a[2][ii:qq])
52
53         ans.append(an)
54     return ans
55 def function_main(myfile_input, myfile_output, window_size = 5,
56     ↪ quality_threshold = 20, min_length = 5):
57     characteristic=[]
58     with open(myfile_input) as f:
59         a=[i.replace("\n","") for i in f]
60         asv=[[a[i],a[i+1],a[i+3]] for i in range(len(a)) if a[i][0] ==
61             ↪ '@']
62         characteristic.append("Количество прочтений до фильтрации:
63             ↪ "+str(len(asv)))
64         characteristic.append("Средняя длина прочтения до фильтрации:
65             ↪ "+str(srlen(asv)))
66         characteristic.append("Средний процент оснований с качеством
67             ↪ выше Q=30 до фильтрации: "+str(kach(asv,0))+ " %")
68         characteristic.append("Средний ГЦ-состав до фильтрации:
69             ↪ "+str(gc(asv))+ " %")
70
71     answer=trimming(asv, window_size,quality_threshold,min_length)
72     characteristic.append("Количество прочтений после фильтрации:
73         ↪ "+str(len(answer)))
74     characteristic.append("Средняя длина прочтения после
75         ↪ фильтрации: "+str(srlen(answer)))

```

```

68     characteristic.append("Средний процент оснований с качеством
    ↪ выше Q=30 после фильтрации: "+str(kach(answer,1))+" %")
69     characteristic.append("Средний ГЦ-состав после фильтрации:
    ↪ "+str(gc(answer))+" %")
70     with open(myfile_output, 'w+') as f:
71
72         for a in answer:
73             for i in a:
74
75                 f.write(i+"\n")
76     with open('Characteristics.txt', 'w+') as f:
77         for i in characteristic:
78             f.write(i+"\n")
79
80     function_main('Test_Input.fastq', 'result')

```

## Этап 2. Лабораторная работа «Электропорация компетентных клеток» (15 баллов)

### Оборудование и реактивы:

- Продукт ПЦР, полученный в первый день, плаزمида pQE30-mutGFP, если ПЦР прошла неудачно (пробирка 0,6 мл).
- Электрокомпетентные клетки *E. coli* штамма BL21, 50 мкл (1 пробирка, 0,6 мл).
- Среда SOC, 950 мкл (1 пробирка, 1,5 мл).
- 1 М ИПТГ (изопропил-бета-D-тиогалактозид);
- Супeroптимальная среда с катаболической репрессией SOC 1 мл (Super Optimal broth with Catabolite repression): 2% триптон, 0,5% дрожжевой экстракт, 10 мМ NaCl, 2,5 мМ KCl, 10 мМ MgCl<sub>2</sub>, 10 мМ MgSO<sub>4</sub>, 20 мМ глюкоза.
- Чашки Петри с агаризованной средой LB и ампициллином.
- Одноразовые шпатели Дригальского.
- Термостат для пробирок.
- Центрифуга.
- Инкубатор с перемешиванием для пробирок.
- Инкубатор для чашек Петри.
- Автоматический дозатор объемом 1–10 мкл и 20–200 мкл.
- Наконечники для дозатора 10 мкл, 200 мкл, 1 000 мкл.

### Протокол электропорации:

1. Пробирки со средой SOC разморозить в термостате при 37 °С.
2. Разморозить бактериальные клетки на льду (5–10 мин).
3. Плазмиды и кюветы для электропорации охладить на льду.
4. Добавить 1 мкл плазмиды или ПЦР-продукта в пробирку с клетками.
5. Перенести клеточную суспензию в кювету для электропорации и равномерно распределить.
6. Поместить кювету в электропоратор.
7. Запустить программу Ecl, нажать кнопку **pulse** для электрического импульса.

8. Быстро добавить к клеткам теплую среду SOC.
9. Аккуратно ресуспендировать клетки в кювете, перенести в пробирку, подписать.
10. Инкубировать электропорированные клетки в шейкер-инкубаторе при 37 °C в течение 30–60 мин.

#### Перенос бактерий на чашку Петри:

1. Открутить клетки на настольной центрифуге при 6 000 rpm в течение 3 мин.
2. Занести пробирки с клетками под ламинар.
3. Аккуратно слить супернатант, оставить на дне 20–50 мкл жидкости.
4. Ресуспендировать клетки.
5. Втереть в чашку Петри 40 мкл 1 М ИПТГ стерильным шпателем Дригальского.
6. Перенести бактерии на чашку Петри, растереть (можно тем же самым) шпателем Дригальского до полного впитывания. Подписать чашку Петри со стороны среды.
7. Инкубировать чашки Петри в инкубаторе при 37 °C в течение ночи.

На контрольную чашку организатор наносит бактерии, трансформированные по тому же протоколу плазмидой pQE30-GFP, с немутированным геном GFP.

#### Теоретическое задание «Электропорация и получение компетентных клеток»

Клетки кишечной палочки неохотно принимают ДНК из окружающей среды. Компетентность клеток обычных штаммов *E. coli* составляет  $10^{-5} - 10^{-10}$ . Обычно для трансформации клеток, которые «компетентны», то есть эффективно усваивают ДНК из окружающей среды, используют два подхода — тепловой шок и электропорацию. Оба этих процесса связаны с нанесением клеткам повреждений, который вызывают стресс. А именно стресс является фактором, при котором клетки начинают поглощать ДНК из внеклеточной среды (чтобы выжить).

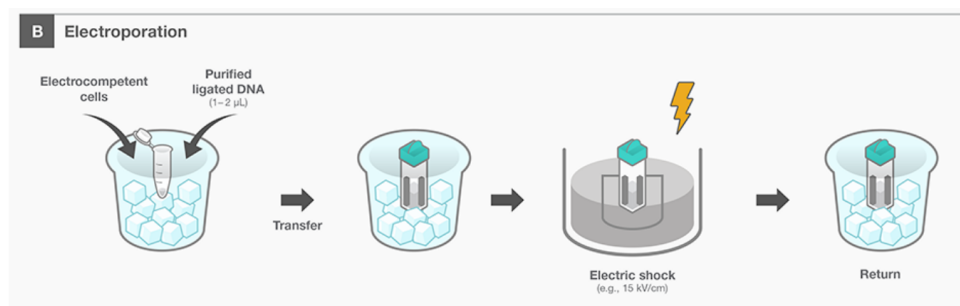


Рис. 4.3.12

Повышение температуры клеток (тепловой шок) и быстрое охлаждение во льду при химической трансформации приводит к повышению проницаемости мембраны для внеклеточной ДНК. Клетки предварительно обрабатывают  $\text{CaCl}_2$  или другими солями (в т. ч. кобальта и рубидия). Затем замораживают в жидком азоте и хранят при  $-70^\circ\text{C}$ .

Для электропорации клетки отмывают ледяной дистиллированной водой, чтобы отмыть соли, и осаждают в 10%-м глицерине. Затем замораживают в жидком азоте и хранят при  $-70^{\circ}\text{C}$ .

После приготовления (и заморозки) проверяют эффективность трансформации компетентных клеток.

$$\begin{aligned} & \text{Эффективность трансформации} \left( \frac{\text{КОЕ}}{\text{мкг}} \right) = \\ & = \frac{\text{КОЕ}}{\text{## мкг ДНК}} \times \frac{\text{## мкл трансформантов, нанесенных на чашку}}{\text{## мкл нанесенных клеток}} \times \\ & \quad \times \text{разбавление при переносе на чашку Петри.} \end{aligned}$$

**Задание 1.** Предположим, что на чашке выросло 300 колоний. В пробирку было добавлено 6,25 нг ДНК, объем клеток, трансформацию которых проводили — 100 мкл, на чашку нанесли 20 мкл, разбавление в 5 раз. Вычислите эффективность трансформации. (2 балла)

**Ответ:** от 240 000 до 1 200 000 КОЕ/мкг.

**Задание 2.** Какие физико-химические процессы происходят с ДНК и бактериальной клеткой при электропорации? (1 балл)

**Ответ:** в клеточной стенке и плазматической мембране бактерий под действием электрического импульса образуются поры, через которые в цитоплазму клеток попадает (также под действием тока) отрицательно заряженная ДНК.

**Задание 3.** Какое значение имеет перенос бактериальных клеток в SOC на 1 ч? Почему эффективность трансформации может быть значительно снижена, если клетки сразу же растереть на чашку Петри? (2 балла)

**Ответ:** в среде SOC — оптимальные условия для роста клеток, происходит наработка продуктов генов устойчивости к антибиотикам; клетка репарирует повреждения ДНК (например, возникающие при мутагенезе), и за 1 ч клетка делится 1–2 раза, выживают только клетки с относительно целым геномом; если клетки сразу же растереть на чашку Петри, то не успеет наработаться фермент, который обеспечивает устойчивость к антибиотику, и выживет значительно меньше клеток, а эффективность трансформации будет сильно снижена

**Задание 3.** Если предположить, что клетка *E. coli* делится каждые 30–40 мин, достаточно ли инкубировать их на среде SOC в течение этого времени? (1 балл)

**Ответ:** 1 ч достаточно, чтобы клетки поделились 2 раза, поврежденным электропорацией клеткам может потребоваться больше времени, поэтому данный этап не рекомендуют сокращать до 30–40 мин.

**Задание 4.** Почему клетки, трансформированные плазмидами, несущими некоторые гены устойчивости к антибиотикам, после трансформации инкубируют более длительное время (до 2–3 ч) перед нанесением на чашку Петри с данным антибиотиком? (1 балл)

**Ответ:** некоторым генам устойчивости к антибиотикам требуется больше времени на экспрессию белка в достаточном количестве для обеспечения защиты клетки от антибиотика.

## **Теоретическое задание 2. «Бело-синяя селекция»**

**Задание 5.** Для скрининга (выявления) клеток, которые содержат плазмиду со вставкой, часто используют бело-синюю селекцию. В таком случае в среду с агаром кроме антибиотика и ИПТГ добавляют бесцветное вещество X-gal, которое является субстратом для фермента бета-галактозидазы. Фермент превращает X-gal в синее соединение 4-хлоро-3-бромо-индиго. Известно, что колонии, содержащие вставку — белые, а не содержащие — синие.

Предположите, как устроена плазида, какие гены она содержит и где относительно этих генов находится MCS-сайт множественного клонирования (содержит подряд несколько сайтов рестрикции). Нарисуйте плазмиду, обозначьте гены и MCS. (2 балла)

**Ответ:** нарисована кольцевая плазида, которая содержит *ori*, ген устойчивости к антибиотику, *MCS* внутри гена *lacZ*, перед *lacZ* есть промотор и старт-кодон, в конце — терминатор и стоп-кодон.

**Задание 6.** Какие результаты бело-синей селекции следует ожидать от трансформации бактерий плазмидой без встройки? (1 балл)

**Ответ:** колонии будут синими, так как последовательность гена *lacZ* без встройки не будет нарушена.

**Задание 7.** Как при бело-синей селекции будут выглядеть на чашке Петри с антибиотиком клетки, в которые не попала плазида? (1 балл)

**Ответ:** бактерии не вырастут, так как не содержат гена устойчивости к антибиотику, который содержится в плазмиде.

**Задание 8.** Какие результаты бело-синей селекции следует ожидать от трансформации бактерий, если в бактерию попала только вырезанная рестриктазами ДНК, но не плазида? (1 балл)

**Ответ:** бактерии не вырастут, так как ген устойчивости к антибиотику находится в плазмиде.

**Задание 9.** Какие результаты бело-синей селекции следует ожидать от трансформации бактерий, если по *MCS* встроился «неправильный» фрагмент ДНК? (1 балл)

**Ответ:** колонии будут белыми, так как ген будет нарушен.

**Задание 10.** Как можно проверить корректность фрагмента, встроившегося в плазмиду? Предложите несколько вариантов. (2 балла)

**Ответ:** секвенирование, ПЦР, рестрикционный анализ.

## **Биоинформатика 2 «Рецепторы» (15 баллов)**

Рецепторы, связанные с G-белком (GPCRs), представляют собой обширное семейство трансмембранных рецепторов, играющих ключевую роль в передаче сигналов внутри клеток. Они состоят из семи трансмембранных доменов, соединенных вне- и внутриклеточными петлями.

GPCRs активируются различными лигандами, включая гормоны, нейромедиаторы и свет. После активации рецептор взаимодействует с гетеротримерным G-белком,

состоящим из  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -субъединиц. Это взаимодействие приводит к диссоциации G-белка на активную  $\alpha$ -субъединицу и  $\beta\gamma$ -комплекс, которые могут модулировать активность различных эффекторных молекул, таких как аденилатциклаза, фосфолипаза C и ионные каналы. В результате происходит каскад биохимических реакций, приводящих к изменению клеточной активности.

Таким образом, GPCRs являются важными мишенями для разработки лекарственных препаратов, поскольку они участвуют во многих физиологических процессах и патогенетических механизмах заболеваний.

**Задание 1.** Используя базы данных NCBI, найдите последовательность аминокислот белка GPCR G protein coupled receptor (NP\_175700.2 [GeneID=841725]). (3 балла)

### Ответ

Искомая последовательность:

```
1 mgerffrnem pefvpedlsg eeetvteckd sltkllslpy ksfseklhry alsikdkvvw
61 etwersgkrv rdynlytgvl gtayllfksy qvtrneddlk lcenveacd vasrdservt
121 ficgyagvca lgavaacklg ddqlydryla rfrgirlpsd lpyellygra gylwacfln
181 khigqesiss ermrvveei fragrqlgnk gtcplmyewh gkrywgaahg lagimnvlmh
241 telepdeikd vkgtlsymiq nrfpsgnyls segsksdrlv hwchgagpva ltlvkaaavy
301 ntkefveaam eagevwwsrg llkrvgichg isgntyvfls lyrltrnpky lyrakafasf
361 lldkseklis egqmhgghdrp fsfegiggm aymllmndp tqalfpgyel
```

Последовательность в одну строку: mgerffrnempefvpedlsg eeetvteckd sltkllslpy ksfseklhry alsikdkvvw etwersgkrv rdynlytgvl gtayllfksy qvtrneddlk lcenveacd vasrdservt ficgyagvcalgavaacklg ddqlydrylarfrgirlpsd lpyellygragylwacfln khigqesiss ermrvveei fragrqlgnk gtcplmyewh gkrywgaahg lagimnvlmh telepdeikd vkgtlsymiq nrfpsgnyls segsksdrlv hwchgagpvaltlvkaaavy

**Задание 2.** Используя инструмент для предсказания трехмерной структуры белков — AlphaFold2, проведите сворачивания белковой молекулы в трехмерную структуру. (<https://colab.research.google.com/github/sokrypton/ColabFold/blob/main/AlphaFold2.ipynb>) С каким из приведенных ниже белков у GPCR G совпадает трехмерная структура? (3 балла)

- GNA14 G protein subunit alpha 14 [NP\_004288.1 GNA14 [GeneID=9630]]
- GNL3 G protein nucleolar 3 [NP\_055181.3 GNL3 [GeneID=26354] [isoform=1]]
- Rho rhodopsin [XP\_006505923.1 Rho [GeneID=212541] [isoform=X1]]
- OPN1SW opsin 1, short wave sensitive [NP\_001372054.1 OPN1SW [GeneID=611]]

### Ответ

На сайте AlphaFold Server (<https://alphafoldserver.com/>) была проведена вставка вышеприведенной аминокислотной последовательности и обозначена в окошке **Entity type** как **Protein**. В **copies** было сохранено число 1.

После нажатия кнопки **Continue and Preview** через некоторое время была представлена трехмерная структура GPCR G:

По схожему алгоритму были найдены структуры других белков:

- Структура GNA 14 G protein subunit alpha.
- Структура GNL3 G protein nucleolar 3.

- Структура Rho rhodopsin.
- Структура OPN1SW.

Таким образом, у GPCR G может совпадать структура с Rho rhodopsin.

**Задание 3.** PLDDT (Predicted Local Distance Difference Test) — это метод оценки качества предсказанных трехмерных структур белков. PLDDT является частью алгоритма AlphaFold2, который используется для моделирования белковых структур. Данный показатель представляет собой оценку достоверности предсказания расстояния между атомами углерода. Значение PLDDT варьируется от 0 до 100, где:

- высокие значения (близкие к 100) указывают на высокую уверенность в точности предсказанной структуры;
- низкие значения (близкие к 0) свидетельствуют о низкой уверенности и возможной ошибке в модели.

Какая часть в полученной структуре имеет наибольший PLDDT и почему? (3 балла)

#### Ответ

Наибольший pLDDT в структуре GPCR G protein coupled receptor имеют глобулярные домены в центре белка. Это связано с тем, что глобулярные домены эволюционно более консервативны, и поэтому у программы AlphaFold2 для этих частей молекулы есть больше информации для предсказания структуры PLDDT ближе к значению 100 в основной части глобулы, в скоплении альфа-спиралей в структуре белка.

**Задание 4.** Проведите выравнивание последовательности аминокислот GPCR G и белка, трехмерная структура, которого схожа с GPCR G. (Для этого можете воспользоваться любым доступным инструментом, например: <https://www.ebi.ac.uk/jdispatcher/msa/muscle>) Сколько аминокислот совпали? (3 балла)

#### Ответ

На сайте <https://en.vectorbuilder.com/tool/sequence-alignment.html> проведено выравнивание последовательностей GPCR G и Rho rhodopsin. Таким образом, полных совпадений аминокислот 118, similarity 195.

**Задание 5.** Исходя из знаний об эволюции, белках и функциях белковых структур, с которыми вы работали, объясните, чем обусловлены такие результаты? (3 балла)

#### Ответ

Уровень гомологии аминокислотных последовательностей в исследуемых белках составляет 20–30%, что указывает на ограниченное сходство на первичном структурном уровне. Филогенетический анализ позволяет предположить, что эти белки, вероятно, имеют общее эволюционное происхождение, однако их биохимические пути дивергировали, что привело к различиям в первичной структуре. Тем не менее, функциональная и структурная близость дает основания рассматривать их как потенциальных представителей единой надсемейной группы белков.

Интересно, что трехмерная структура белков демонстрирует большее сходство, чем их аминокислотные последовательности. Это может объясняться двумя гипотезами:

- Конвергентная эволюция: белки независимо приобрели схожую простран-



ственную организацию из-за выполнения аналогичных функций (в данном случае — участие в передаче клеточных сигналов).

- Эволюционная преемственность: один из белков мог стать структурным прототипом для другого, сохранив ключевые элементы третичной структуры, необходимые для функциональности.

При этом низкая степень гомологии последовательностей исключает возможность их недавнего дублирования, что подчеркивает сложность эволюционных взаимоотношений между белками, а также тот факт, что третичная структура белка более консервативна, чем последовательность аминокислот.

### **Этап 3. Лабораторная работа «Рестрикционный анализ плазмидной ДНК» (15 баллов)**

#### **Оборудование и реактивы:**

- Комплект плазмид для идентификации (пробирки 0,6 мл с цифровыми обозначениями \_\_\_\_ и \_\_\_\_ ) по 11 мкл плазмиды с концентрацией 40 нг/мкл.
- Рестрикционные буферы: 10xSE-буфер B, 10xSE-буфер G, 10xSE-буфер O, 10xSE-буфер W, 10xSE-буфер Y, 10xSE-буфер ROSE (Сибэнзайм).
- Эндонуклеазы рестрикции: Acc16 I, 5 ед./мкл, BamH I, 5 ед./мкл, Pst I, 5 ед./мкл, Vne I, 5 ед./мкл (Сибэнзайм).
- Деионизованная вода класса milliQ (1 мл).
- Автоматические дозаторы объемом 1–10 мкл, 20–200 мкл.
- Наконечники для автоматического дозатора: 10 мкл, 200 мкл.
- Термостат.

#### **Задание**

В ходе работы нужно с помощью рестрикционного анализа определить, какие две плазмиды выданы. Карты плазмид представлены на рис. 4.3.13: обозначены название, размер плазмиды, а также расположение сайтов, по которым гидролизуют эндонуклеазы рестрикции Acc16 I, BamH I, Pst I и Vne I.

Для анализа следует использовать пару эндонуклеаз рестрикции, то есть одновременно в одной пробирке провести гидролиз ДНК плазмиды двумя ферментами (Acc16I + BamH I) или (Pst I + Vne I). В результате у каждой команды получится по четыре пробирки с реакционными смесями.

Для того чтобы рестриктазы работали корректно, необходимо подобрать оптимальный реакционный буфер. При использовании неоптимального буфера возможно появление звездчатой активности — снижения или изменения специфичности эндонуклеаз рестрикции ([https://ru.wikipedia.org/wiki/Эндонуклеазы\\_рестрикции](https://ru.wikipedia.org/wiki/Эндонуклеазы_рестрикции)). В результате фермент будет неизбирательно разрезать ДНК, и полученные в ходе такого эксперимента данные не позволят правильно идентифицировать плазмиду.

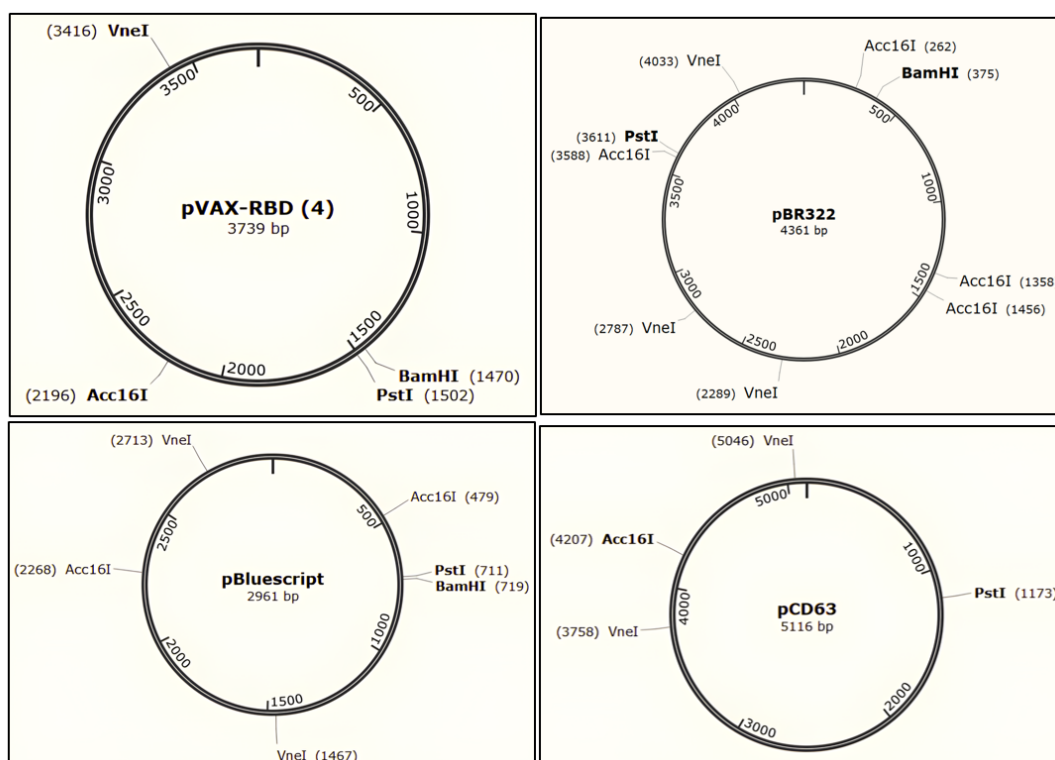


Рис. 4.3.13. Карты плазмид

Ниже представлена таблица 4.3.9, отображающая активность эндонуклеаз рестрикции в разных буферных растворах. Необходимо подобрать для каждой пары рестриктаз оптимальный буферный растворы и провести рестрикционный анализ плазмид согласно протоколу.

Таблица 4.3.9

Фермент	Сайт узнавания	Активность в буфере, % от максимальной						Оптимальная температура, °C
		B	G	O	W	Y	R	
Acc16 I	TGC↑GCA ACG↓CGT	50– 75	75– 100	25– 50	100	75– 100	70	37
BamH I	G↑GATCC CCTAG↓G	25– 50	100	75– 100	75– 100	25– 50	100	37
Pst I	CTGCA↑G G↓ACGTC	10– 25	25– 50	1100	25– 50	25– 50	50	37
VneI	G↑TGCAC CACGT↓G	10– 25	25-50	100	25– 50	25– 50	100	37

### Протокол:

1. Возьмите две чистые пробирки объемом 0,6 мл и подпишите их так же, как обозначены две неизвестные выданные плазмиды.
2. **На обеих** пробирках поставьте обозначение «**A+B**» («A» обозначает эндонуклеазу рестрикции Acc16 I, «B» — эндонуклеазу рестрикции BamH I).
3. Возьмите еще две чистые пробирки объемом 0,6 мл и снова подпишите их так же, как обозначены две неизвестные выданные плазмиды.

4. **На обеих** пробирках поставьте обозначение «**P+V**» («P» обозначает эндонуклеазу рестрикции Pst I, «V» — эндонуклеазу рестрикции Vne I).
5. Внесите в каждую из пробирок соответствующие реагенты в количестве, указанном в таблице. Порядок добавления реагентов следующий: вода mQ, 10X буфер, плазмиды, рестриктазы (по 2 шт!). Конечный объем реакционной смеси — 10 мкл.
6. Поместите реакционные смеси в твердотельный термостат на 37 °C на 30 мин.

Таблица 4.3.10

Компонент	Плазмида «__» «A+B»	Плазмида «__» «A+B»	Плазмида «__» «P+V»	Плазмида «__» «P+V»
milliQ	мкл	мкл	мкл	мкл
10X буфер	мкл	мкл	мкл	мкл
Название буфера				
Плазмида «__»	4 мкл	—	4 мкл	—
Плазмида «__»	—	4 мкл	—	4 мкл
Acc16 I	1 мкл	1 мкл	—	—
BamH I	1 мкл	1 мкл	—	—
Pst I	—	—	1 мкл	1 мкл
Vne I	—	—	1 мкл	1 мкл

### *Электрофоретический анализ в агарозном геле*

#### **Оборудование и реактивы:**

- Агароза, буфер 1×TAE, маркер длин ДНК.
- Камера для горизонтального электрофореза.
- Трансиллюминатор.
- Автоматические дозаторы объемом 1–10 мкл.
- Наконечники для дозатора 10 мкл.

#### **Протокол:**

1. Для приготовления геля прилейте к навеске агарозы массой 1 г 100 мл 1×TAE, доведите до кипения и растворите всю навеску при перемешивании. После остывания раствора агарозы, установите в форму гребенки и перелейте раствор агарозы.
2. Добавьте к образцам по \_\_ мкл 6X красителя для нанесения на гель.
3. Нанесите на гель весь объем каждой из реакционных смесей с буфером для нанесения, запишите порядок нанесения образцов.
4. Нанесите на агарозный гель маркер длин ДНК.
5. Запустите электрофорез в следующих условиях: 120 В, 40 мин.
6. Получите изображения геля после электрофореза с помощью трансиллюминатора.

7. Проведите анализ продуктов рестрикции, установите, какие плазмиды были выданы команде.

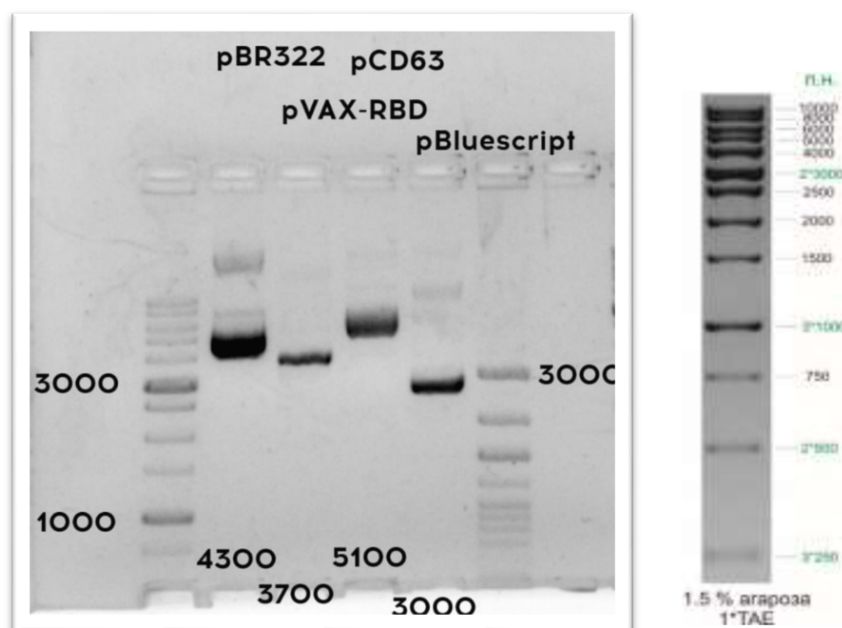


Рис. 4.3.14. Результаты электрофореза контрольных плазмид

**Задание 1.** Определите названия выданных вам плазмид: \_\_\_\_ — \_\_\_\_; \_\_\_\_ — \_\_\_\_\_. (2 балла)

**Задание 2.** Используя карты плазмид pVAX-RBD, pBR322, pBluescript и pCD63, вычислите размеры продуктов, которые должны получиться в результате гидролиза этих плазмид эндонуклеазами рестрикции. (1 балл)

Таблица 4.3.11

Плазмиды	Эндонуклеазы рестрикции	Длина продуктов, п. н.
pVAX-RBD	Acc16 I + BamH I	
	Pst I + Vne I	
pBR322	Acc16 I + BamH I	
	Pst I + Vne I	
pBluescript	Acc16 I + BamH I	
	Pst I + Vne I	
pCD63	Acc16 I + BamH I	
	Pst I + Vne I	

**Задание 3.** Почему при проведении электрофоретического анализа в агарозном геле с последующим окрашиванием бромистым этидием не всегда удается увидеть короткие (менее 100 п. н.) продукты рестрикции? Всегда ли эти фрагменты будут видны при окрашивании SYBR и/или аналогичными интеркалирующими красителями? Предложите несколько объяснений. (2 балла)

**Ответ:** если плазмидная ДНК длиной 3 000 п. н. видна при нанесении на гель 200 нг (как описано в данном протоколе), то фрагмент длиной 100 п. н. будет иметь массу в 30 раз меньше, около 7 нг. В данном случае он не будет визуализирован. Чтобы увидеть короткие продукты рестрикции, требуется взять исходно значительно больше плазмидной ДНК. При окрашивании SYBR продукт массой 7 нг будет заметен.

### **Теоретическое задание «Приключения юных молекулярных биологов в мире рестриктаз»**

**Первое приключение.** Будущий молекулярный биолог Таисия решила клонировать фрагмент ДНК, полученный путем расщепления Kpn I, в вектор с концами, полученными расщеплением BamH I. Проблема в том, что концы BamH I и Kpn I несовместимы: BamH I оставляет липкий конец на 5'-конце, а Kpn I — на 3'-конце.

Опытный генетик Владимир посоветовал Таисии связать их олигонуклеотидной «шиной» так, как показано на схеме (см. рис. 4.3.15). Таисия сомневается, сработает ли такая схема, потому что для лигирования ДНК-лигазе нужны фосфат и гидроксильная группа.

Хотя молекулы, получаемые после рестрикции, имеют соответствующие концы, однако, олигонуклеотиды, получаемые химическим синтезом, обычно имеют гидроксильные группы на обоих концах. Кроме того, соединить нужно как фрагменты, полученные BamH I–Kpn I, так и Kpn I–BamH I. Таисия скептически относится к тому, что один и тот же олигонуклеотид может выступать в роли «шины» для двух этих соединений.

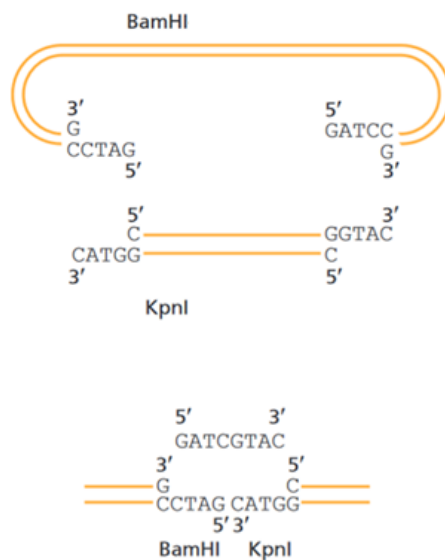


Рис. 4.3.15

**Задание 4.** Подходит ли олигонуклеотид, приведенный на схеме, для этого эксперимента? Приведите аргументы. (1 балл)

**Ответ:** да, подходит.

**Задание 5.** Как нужно модифицировать олигонуклеотид, чтобы лигирование прошло успешно? Как называется этот фермент (или как бы вы его назвали)? Какой из концов олигонуклеотида должен модифицировать данный фермент? Нарисуй-

те схематически структуру олигонуклеотида, который будет эффективно лигирован. (2 балла)

**Ответ:** нужно добавить фосфат на 5'-конец. Фермент называется киназа (мог бы называться фосфатаза).

**Второе приключение.** Молекулярный биолог Марина исследует влияние гена Т на одно метаболическое заболевание. В опытную группу собраны больные, а во контрольную группу — здоровые люди. Молекулярный генетик Владимир предполагает, что среди больных повышена частота редкого аномального аллеля t. Чтобы проверить эту гипотезу, Марина обрабатывает ПЦР-продукты, полученные с исследуемых образцов ДНК обеих групп, рестриктазой *SolVI*: у группы 1 (дорожки 1–10) и группы 2 (11–20).

Для определения длины продуктов Марина использует гель-электрофорез, результат которого приведен на рис. 4.3.16, цифрами справа обозначены длины фрагментов ДНК в п. н. Исходная длина фрагмента составляет 745 п. н.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	M
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	500
		—		—	—			—		295
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	245
		—		—	—			—		205

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	M
—	—			—	—	—	—	—	—	500
	—	—	—	—				—		295
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	245
	—	—	—	—				—		205

Рис. 4.3.16

**Задание 6.** Постройте рестрикционную карту для аллелей Т и t, основываясь на том, что аллель t содержит сайт рестрикции. (2 балла)

**Ответ:** первый сайт рестрикции находится на 245 пн от края исходного фрагмента 745 пн. Второй сайт рестрикции находится внутри фрагмента длиной 500 пн и делит его на 295 и 205 пн.

**Задание 7.** Почему в ряде случаев после рестрикции получается 2, 3, 4 полосы? Определите генотипы. (1 балл)

**Ответ:** 2 полосы — 1 сайт рестрикции, есть у всех пациентов, гомозигота по доминантному аллелю; 3 полосы — два сайта рестрикции, гомозиготы по рецессивному аллелю (полоса 500 превращается в 295 и 205), 4 полосы — гетерозиготы.

**Задание 8.** В какой группе находятся здоровые, а в какой — больные пациенты? (1 балл)

**Ответ:** гомозиготы по рецессивному аллелю (пациенты 13, 14) находятся во второй группе.

**Задание 9.** Является ли ген Т (и аллель t) удачным диагностическим маркером? Почему? (1 балл)

**Ответ:** нет, так как он встречается не только у больных, но и у здоровых пациентов.

**Задание 10.** Можно ли считать, что гипотеза Владимира верна? Приведите аргументы. (1 балл)

**Ответ:** гипотеза верна, частота аллеля повышена. Однако нельзя назвать его удачным маркером.

### **Биоинформатика 3 «Клонирование генетической конструкции для изучения EGFR рецептора» (20 баллов)**

Размер зерна — важный признак для урожайности пшеницы. Увеличение размера и массы зерна напрямую влияет на продуктивность растения. Одним из генов, регулирующих этот признак, является GW2 (Grain Width 2). В работах на рисе и пшенице было показано, что нокаут гена GW2 приводит к увеличению размера зерна и, как следствие, к повышению урожайности.

Мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) — одно из самых важных сельскохозяйственных растений. Она имеет сложный аллогексаплоидный геном, возникший из трех близкородственных геномов в результате межвидовой гибридизации. Для пшеницы было показано наличие трех гомеологичных копий гена GW2, по одной в каждом из субгеномов (A, B и D). При этом нокаут только одной из копий может не привести к значительному увеличению размера зерна, поэтому необходимо нокаутировать все три копии.

Для нокаута генов пшеницы используется вектор pSH121. Он содержит ген, кодирующий эндонуклеазу SpCas9, каркас нРНК и маркерный ген устойчивости к антибиотику канамицину. В этот вектор по сайтам рестриктазы *BasI* клонируют разработанную нРНК в виде двуцепочечного олигонуклеотида с липкими концами (5'-TGGC-3' на 5'-конце прямой цепи и 5'-AAAC-3' на 5'-конце обратной цепи). Далее производится трансформация этим вектором растений и получение целевых мутантов.

Задача — разработать систему для нокаута всех трех гомеологичных копий гена GW2 пшеницы для увеличения размера зерна.

**Задание 1.** Используя ген GW2 из субгенома A (TraesCS6A02G189300), найдите гомеологов в субгеномах B и D. Опишите структуру найденных генов. Найдите участок для внесения мутации, совпадающий у всех трех гомеологичных копий. (4 балла)

**Ответ:** гомеолог в субгеноме B — TraesCS6B02G215300, гомеолог в субгеноме D — TraesCS6D02G176900; эти гены имеют по одному транскрипту, состоящему из 8 экзонов; длина транскрипта 1 692–1 733 пар оснований. Участок для внесения мутации должен находиться в начале гена и совпадать у всех трех гомеологов; оптимальный участок — совпадающий у всех трех гомеологов фрагмент первого экзона.

**Задание 2.** Используя рекомендуемые или любые другие инструменты, подберите нРНК для нокаута всех трех гомеологичных генов. Произведите оценку качества нРНК. Опишите расположение сайта рестрикции в гене, ГЦ-состав, предсказанную эффективность, наличие офф-таргетов для нРНК. (4 балла)

**Ответ:** пример оптимальной нРНК — 5'-GCTACGCAAGTTGATCCTCG-3'; эта нРНК попадает в первый экзон гена, ее ГЦ-состав — 55%, она имеет высокую предсказанную эффективность (overall score = 0,8), и отсутствуют офф-таргеты в других

генах.

**Задание 3.** Выполните клонирование подобранной нРНК в вектор pSH121. (4 балла)

**Ответ:** пример плазмиды со вставкой в файле <https://disk.360.yandex.ru/d/POUj9zZia7UWKA>.

**Задание 4.** После клонирования нРНК в вектор pSH121 необходимо проверить наличие вставки при помощи рестрикции. Выберите рестриктазы, которые позволят отличить вектор со вставкой от вектора без вставки на электрофореze. Какой результат вы ожидаете увидеть в случае, если вставка произошла успешно? (4 балла)

**Ответ:** для проверки наличия вставки в плазмиде можно использовать рестриктазу BsaI; если в плазмиде нет вставки, то будет два фрагмента длиной 1 222 и 10 977 пар оснований, если вставка прошла успешно, то будет один фрагмент (не разрезанная плазида) длиной 10 996.

**Задание 5.** После трансформации растения вам предстоит проверить наличие мутации в генах GW2. Разработайте праймеры для секвенирования участка гена, в который будет внесена мутация. Какой результат секвенирования вы ожидаете увидеть в случае успешного нокаута? (4 балла)

**Ответ:** прямой праймер 5'-AGCACAGGGATATCGACCAGA-3', обратный праймер 5'-GAAGCAGATGGGGCACTCCTC-3'; в случае успешного нокаута ожидается увидеть инсерцию или делецию количества нуклеотидов, не равного трем.

#### Рекомендуемые инструменты:

1. Для работы с последовательностями — [https://plants.ensembl.org/Triticum\\_aestivum/Info/Index](https://plants.ensembl.org/Triticum_aestivum/Info/Index), <https://plants.ensembl.org/Multi/Tools/Blast>.
2. Для разработки нРНК — <http://www.rgenome.net/cas-designer/>, <https://crispr.bioinfo.nrc.ca/WheatCrispr/>.
3. Для поиска оффтаргетов в геноме (версии IWGSC RefSeq v.1.0) — <https://urgi.versailles.inra.fr/blast/>.
4. Для работы с вектором — <http://ugene.net/ru/>.
5. Для подбора праймеров — [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/tools/primer-blast/index.cgi?LINK\\_LOC=BlastHome](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/tools/primer-blast/index.cgi?LINK_LOC=BlastHome).
6. Для оценки качества праймеров — <https://mcb.berkeley.edu/labs/krantz/tools/oligocalc.html>.

#### Этап 4. Творческое задание (10 баллов)

Напишите эссе на тему «На какие “Большие вызовы”, которые стоят сегодня перед медицинской кибернетикой, могут ответить технологии управления свойствами биологических объектов?» Приведите конкретные примеры, длина текста до 2 000 символов с пробелами.

#### Критерии оценивания эссе:

- сформулированы «Большие вызовы» (проблемы) медицинской кибернетики;



- определено, какие технологии управления свойствами биологических объектов могут помочь на них ответить;
- приведена аргументация, почему решение данных проблем имеет значение для медицинской кибернетики.

### 4.3.7. Материалы для подготовки

1. Канал «Практическая биоинформатика и молекулярная биология» цифровой кафедры НГУ.
2. Группа в ВК [https://vk.com/nsu\\_synbio](https://vk.com/nsu_synbio).
3. Образовательная программа для подготовки к профилю «Геномное редактирование» доступна в группе ВК <https://vk.com/docs-173786512>.
4. Образовательная программа «Генетическая инженерия в школе» группа в ВК <https://vk.com/genengschool>.
5. Канал в Ютубе [https://www.youtube.com/@gen\\_eng](https://www.youtube.com/@gen_eng).

## **5. Критерии определения победителей и призеров**

### **Первый отборочный этап**

ВВ первом отборочном этапе участники решали задачи предметного тура по трем предметам: биология, химия и информатика и задачи 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 за решение задач по двум предметам и инженерному туру не менее 64 баллов, независимо от уровня.

### **Второй отборочный этап**

На втором отборочном этапе проводился командный зачет: баллы начислялись не отдельному участнику, а всей команде. Конкурсный отбор также осуществлялся между командами, а не между индивидуальными участниками.

Баллы, которые засчитывались в командный зачет, определялись по лучшему результату из всех попыток всех участников команды по каждой задаче. При этом баллы, набранные каждым членом команды за решение задач на втором этапе, суммировались и формировали общий результат команды. Победители второго отборочного этапа должны были набрать не менее 57 баллов (для 8–9 классов) и 79 баллов (для 10–11 классов).

### **Заключительный этап**

В заключительном этапе участники решали задачи предметного и инженерного туров.

#### ***Индивидуальный предметный тур***

- Биология — максимально возможный балл за все задачи — 100.
- Химия — максимально возможный балл за все задачи — 100.

#### ***Командный инженерный тур***

Команды заключительного этапа получали за командный инженерный тур от 0 до 100 баллов. Командой-победителем становилась команда, набравшая наибольшее число баллов по формуле:  $0,2 \times \text{биология}$  (сумма баллов участников по био-

логии, деленная на число участников в команде) +  $0,2 \times$  химия (сумма баллов участников по химии, деленная на число участников в команде) +  $0,6 \times$  инж (сумма баллов команды в инженерном туре).

Результаты команд по инженерному туру 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 баллы участника складываются из двух частей, каждая из которых имеет собственный вес: баллы за индивидуальное решение задач по предмету 1 (биология) с весом  $K_1 = 0,2$ , по предмету 2 (химия), с весом  $K_2 = 0,2$ , баллы за командное решение задач инженерного тура с весом  $K_3 = 0,6$ .

Итоговый индивидуальный балл участника определяется по формуле:

$$S = K_1 \cdot S_1 + K_2 \cdot S_2 + K_3 \cdot S_3,$$

где  $S_1$  — балл первой части заключительного этапа по биологии (предметный тур) в столбальной системе ( $S_{1\text{макс}} = 100$ );

$S_2$  — балл первой части заключительного этапа по химии (предметный тур) ( $S_{2\text{макс}} = 100$ );

$S_3$  — итоговый балл инженерного командного тура ( $S_{3\text{макс}} = 100$ ).

Итого максимально возможный индивидуальный балл участника заключительного этапа — 100 баллов.

### ***Критерий определения победителей и призеров***

Чтобы определить победителей и призеров с разделением на классы на основе индивидуальных результатов участников был сформирован отдельный рейтинг всех участников заключительного этапа. С начала рейтинга были выбраны 1 победитель и 3 призера в 8–9 классе и 2 победителя и 6 призеров в 10–11 классе (первые 25% участников рейтинга становятся победителями или призерами, из них первые 8% становятся победителями, оставшиеся — призерами).

### ***Критерий определения победителей и призеров (в зависимости от разделения на классы)***

Категория	Количество баллов
Победители	62,4 и выше для 8–9 классов
	58,9 и выше для 10–11 классов
Призеры	От 45,28 до 59,5 для 8–9 классов
	От 53,8 до 58,1 для 10–11 классов

## 6. Работа наставника после НТО

Участие школьника в Олимпиаде может завершиться после любого из этапов: первого или второго отборочных, либо после заключительного этапа. В каждом случае после завершения участия наставнику необходимо провести с учениками рефлексию — обсудить полученный опыт и проанализировать, что позволило достичь успеха, а что привело к неудаче. Подробные материалы о проведении рефлексии представлены в курсе «Наставник НТО»: <https://academy.sk.ru/events/310>.

Наставнику важно проинформировать руководство образовательного учреждения, если его учащиеся стали финалистами, призерами и победителями. Публичное признание высоких результатов дополнительно повышает мотивацию.

В процессе рефлексии с учениками, не ставшими призерами или победителями, рекомендуется уделить особое внимание особенностям командной работы: распределению ролей, планированию работы, возникающим проблемам. Для этого могут использоваться опросники для самооценки собственной работы и взаимной оценки участниками других членов команды (Р2Р). Они могут выявить внутренние проблемы команды, для решения которых в план подготовки можно добавить мероприятия, направленные на ее сплочение.

Стоит рассказать, что в истории НТО было много примеров, когда не победив в первый раз, на следующий год участники показывали впечатляющие результаты, одержав победу сразу в нескольких профилях. Конечно, важно отметить, что так происходит только при учете прошлых ошибок и подготовке к Олимпиаде в течение года.

Важным фактором успешного участия в следующих сезонах НТО может стать поддержка родителей учеников. Знакомство с ними помогает наставнику продемонстрировать важность компетенций, развиваемых в процессе участия в НТО, для будущего образования и карьеры школьников. Поддержка родителей помогает мотивировать участников и позволяет выделить необходимое время на занятия в кружке.

С участниками-выпускниками наставнику рекомендуется обсудить их дальнейшее профессиональное развитие и его связь с выбранными профилями НТО. Отдельно можно обратить внимание на льготы для победителей и призеров, предлагаемые в вузах с интересующими ученика направлениями. Кроме того, ряд вузов предлагает льготы для всех финалистов НТО, а также учитывает результаты Конкурса цифровых портфолио «Талант НТО».