



# НТО

## МАТЕРИАЛЫ ЗАДАНИЙ

Всероссийской междисциплинарной олимпиады школьников

«Национальная технологическая олимпиада»

по профилю

«Квантовый инжиниринг»

2023/24 учебный год

*<http://ntcontest.ru>*

УДК 373.5.016:62  
ББК 74.263.0  
К32

Авторы:

Е.Анисевич, А.А. Волков, Д.А. Казаков, Т.В. Казиева, И.А. Кобец, Д.А. Козлов,  
Н.Ю. Кузнецов, К.Е. Лахманский, Я.С. Ляхова, Е.В. Хангуляя

**К32** Всероссийская междисциплинарная олимпиада школьников 8-11 класса  
«Национальная технологическая олимпиада». Учебно-методическое пособие  
Том 30 **Квантовый инжиниринг**  
—М.: ООО «ВАШ ФОРМАТ», 2024. — 138 с.

ISBN 978-5-00147-620-7

Данное пособие разработано коллективом авторов на основе опыта проведения всероссийской междисциплинарной олимпиады школьников 8-11 класса «Национальная технологическая олимпиада» в 2023/24 учебном году, а также многолетнего опыта проведения инженерных соревнований для школьников. В пособии собраны основные материалы, необходимые как для подготовки к олимпиаде так и для углубления знаний и приобретения навыков решения инженерных задач.

В издании приведены варианты заданий по профилю Национальной технологической олимпиады за 2023/24 учебный год с ответами, подробными решениями и комментариями. Пособие адресовано учащимся 8–11 классов, абитуриентам, школьным учителям, наставникам и преподавателям учреждений дополнительного образования, центров молодежного и инновационного творчества и детских технопарков.

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

01.00.00 Математика и механика

03.00.00 Физика и астрономия

12.00.00 Фотоника, приборостроение оптические и биотехнические системы и технологии

16.00.00 Физико-технические науки и технологии

ISBN 978-5-00147-620-7

УДК 373.5.016:62

ББК 74.263.0



9 785001 476207 >

# Оглавление

<b>1 Введение</b>	<b>5</b>
<b>2 Квантовый инжиниринг</b>	<b>17</b>
<b>I Работа наставника НТО на первом отборочном этапе</b>	<b>19</b>
<b>II Первый отборочный этап</b>	<b>20</b>
<b>II.1 Предметный тур. Информатика и информационные технологии</b>	<b>20</b>
II.1.1 Первая волна. Задачи 8–11 класса . . . . .	20
II.1.2 Вторая волна. Задачи 8–11 класса . . . . .	32
II.1.3 Третья волна. Задачи 8–11 класса . . . . .	43
<b>II.2 Предметный тур. Физика</b>	<b>57</b>
II.2.1 Первая волна. Задачи 8–9 класса . . . . .	57
II.2.2 Первая волна. Задачи 10–11 класса . . . . .	62
II.2.3 Вторая волна. Задачи 8–9 класса . . . . .	67
II.2.4 Вторая волна. Задачи 10–11 класса . . . . .	72
II.2.5 Третья волна. Задачи 8–9 класса . . . . .	77
II.2.6 Третья волна. Задачи 10–11 класса . . . . .	83
<b>II.3 Инженерный тур</b>	<b>88</b>
<b>III Работа наставника НТО на втором отборочном этапе</b>	<b>94</b>
<b>IV Второй отборочный этап</b>	<b>95</b>
<b>V Работа наставника НТО при подготовке к заключитель-</b>	

---

ному этапу	100
<b>VI Заключениеый этап</b>	<b>101</b>
<b>VI.1 Предметный тур</b>	<b>101</b>
VI.1.1 Информатика и информационные технологии. 8–11 классы . . . . .	101
VI.1.2 Физика. 8–9 классы . . . . .	111
VI.1.3 Физика. 10–11 классы . . . . .	115
<b>VI.2 Инженерный тур</b>	<b>121</b>
VI.2.1 Общая информация . . . . .	121
VI.2.2 Легенда задачи . . . . .	121
VI.2.3 Требования к команде и компетенциям участников . . . . .	121
VI.2.4 Оборудование и программное обеспечение . . . . .	122
VI.2.5 Описание задачи . . . . .	122
VI.2.6 Система оценивания . . . . .	123
VI.2.7 Решение задачи . . . . .	128
VI.2.8 Материалы для подготовки . . . . .	133
<b>VII Критерии определения победителей и призеров</b>	<b>134</b>
<b>VIII Работа наставника после НТО</b>	<b>136</b>

# Введение

## Национальная технологическая олимпиада

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

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

Всероссийская междисциплинарная олимпиада школьников 8–11 класса «Национальная технологическая олимпиада» — это командная инженерная Олимпиада, позволяющая школьникам работать в 41-м инженерном направлении. Она базируется на опыте Олимпиады Кружкового движения НТИ и проводится с 2015 года, а с 2016 года входит в перечень Российского совета олимпиад школьников и дает победителям и призерам льготы при поступлении в университеты.

Всего заявки на участие в девятом сезоне (2023–24 гг.) самых масштабных в России командных инженерных соревнованиях подали более 141 тысячи школьников и студентов из всех регионов страны и семи зарубежных государств: Азербайджана, Белоруссии, Казахстана, Киргизии, Молдовы, Узбекистана и Черногории. Общий охват олимпиады с 2015 года превысил 660 000 участников. <https://journal.kruzok.org/tpost/pggs3bp7y1-tehnologicheskaya-podgotovka-inzhenernih>



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

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

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

## *Ценности НТО*

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

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

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

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

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

## *Создавать, а не только потреблять*

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

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

### *Работать в команде*

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

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

### *Осваивать и ответственно развивать новые технологии*

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

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

### *Играть честно и пробовать себя*

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

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

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

### *Быть человеком*

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

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

Олимпиаде в целом.

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

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

## *Организационная структура НТО*

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



Соревнования в рамках НТО проводятся по четырем направлениям:

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

В 2023/24 учебном году 28 профилей НТО включены в Перечень олимпиад школьников, утверждаемый Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, а также в Перечень олимпиад и иных интеллектуальных и (или) творческих конкурсов, утверждаемый приказом Министерства просвещения Российской Федерации, что дает право победителям и призерам профилей НТО поступать в вузы страны без вступительных испытаний (БВИ), получить 100 баллов ЕГЭ или дополнительные 10 баллов за индивидуальные достижения. Преимущества при поступлении победителям и призерам НТО предлагают более 100 российских вузов.

НТО для старшеклассников проводится в три этапа:

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

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

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

### *Профили НТО 2023/24 учебного года и соответствующий уровень РСОШ*

#### **Профили II уровня РСОШ**

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

#### **Профили III уровня РСОШ**

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

#### **Профили без уровня РСОШ**

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

### **Новые профили без уровня РСОШ**

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

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

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

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

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



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

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

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

и других организациях.

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

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



## Наставники НТО

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

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

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

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

Примеры организационных задач, которые стоят перед наставником НТО:

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

Примеры задач наставника, связанных с непосредственной подготовкой к соревнованиям:

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

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

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

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

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

## Поддержка наставников НТО

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



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



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



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

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

и др.

<https://ntcontest.ru/mentors/education-programs/>.



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

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



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



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

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

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

- Большие данные.
- Машинное обучение.

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



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



# Квантовый инжиниринг

Профиль НТО «Квантовый инжиниринг» знакомит участников с научно-технологическим направлением, цель которого состоит в преобразовании результатов поисковых исследований в области квантовых технологий в конечный продукт. Квантовая область находится на стадии бурного развития: вместе с постепенным пониманием общества потенциала квантовых технологий формируется все более активный запрос на готовые устройства со стороны конечных пользователей. В эту отрасль приходят крупные инвестиции, составляются дорожные карты по развитию квантовой отрасли на государственном уровне. При этом основной вес квантовых технологий все еще приходится на научные исследования. Для дальнейшего развития квантовой отрасли необходимы уникальные специалисты — квантовые инженеры, сочетающие компетенции исследователей и инженеров.

Технологическая задача, которую решают участники профиля «Квантовый инжиниринг» на заключительном этапе, представляет собой наглядный пример того, с какими вызовами приходится сталкиваться квантовым инженерам. Каждая команда финалистов — это коллектив квантовых инженеров. Команда получает «заказ» на создание квантового устройства, которое отвечает заданным техническим характеристикам (техническому заданию). Участникам необходимо разобраться с техническим заданием; разработать и просчитать схему будущего устройства; собрать и наладить установку; снять показания измерительных приборов; обработать полученные результаты, избавившись от шумов и получив физически осмысленные данные; составить подробный отчет, продемонстрировав глубокое понимание всех этапов работы; а также презентовать свой проект «заказчику», кратко и ярко представив готовый результат.

Поскольку квантовый инжиниринг — новая сфера деятельности, обязательной частью работы профиля является широкое вовлечение школьников в эту область. Эта задача решается через Урок НТО, а также через популяризацию профиля в социальных сетях.

Зарегистрировавшиеся на профиль школьники получают доступ к специально созданному для НТО образовательному курсу на платформе Stepik. Курс содержит серию коротких видеоуроков с заданиями для самостоятельного решения, которые знакомят школьников с базовыми понятиями и принципами квантовой физики — основой квантовых технологий. Параллельно с инженерным туром участники решают задачи предметных туров по физике и информатике — дисциплина, необходимым для осмысления и решения физической задачи и обработке «сырых» экспериментальных данных.

На втором отборочном этапе участники переходят к расчетам элементной базы, из которой строятся квантовые устройства. Так, в случае, когда задача финала выполняется на открытой оптике, школьникам предлагается научиться проводить расчеты для оптических схем из зеркал и светоделителей, источников лазерного излучения; рассчитывать необходимую аттенюацию излучения; учитывать неидеальности детекторов фотонов; обрабатывать зашумленные данные с осциллограмм и в ходе их анализа извлекать из них физически осмысленную информацию.

Образовательная траектория продолжается в финале в виде мастер-классов по

---

работе с научно-технологическим оборудованием, которое предоставляется участникам для решения задачи. Поскольку лазерное излучение является источником повышенной опасности, отдельное внимание уделяется обучению участников правилам техники безопасности и грамотному обращению с оборудованием. Полученные на мастер-классах и предыдущих этапах олимпиады знания и навыки школьники применяют для создания собственного квантового устройства «с нуля». Перед тем, как приступить к выполнению командной инженерной задачи, участники финала освежают необходимые знания в области физики и информатики, выполняя задачи индивидуальных предметных туров.

Профиль «Квантовый инжиниринг» соответствует дорожной карте по развитию в РФ сквозной цифровой технологии «квантовые технологии» и способствует развитию кадрового потенциала в квантовой отрасли. Участие в профиле, в том числе через профориентационные мероприятия от партнеров, формирует у школьников целостное представление о профессии будущего — «квантовом инженере». Специализация в этой области и смежных, таких как лазерная физика и фотоника, это гарантия востребованности на рынке труда, получения интересной и полезной работы. Победители и призеры профиля получают дополнительные льготы при поступлении в НИЯУ МИФИ, в частности, на программу бакалавриата «Квантовый инжиниринг» (направление 03.03.01 Прикладные математика и физика).

# Работа наставника НТО на первом отборочном этапе

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

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

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

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

# Первый отборочный этап

## Предметный тур. Информатика и информационные технологии

### Первая волна. Задачи 8–11 класса

#### Задача II.1.1.1. Авиакомпания (9 баллов)

Темы: базы данных.

#### Условие

Даны фрагменты двух таблиц базы данных некоторой авиакомпании. Исходя из информации данных таблиц, определите, сколько человек вылетели из Москвы в интервале от 12 до 18 часов за 05.07.2023 и 06.07.2023.

Обратите внимание, что в разные даты один и тот же номер рейса может иметь разные пункты вылета и пункты прилета.

Таблица II.1.1: passengers

id	first_name	last_name	birth	document	flight_num	flight_date	status
1	Ivan	Ivanov	25.05.1999	*****	104	05.07.2023	True
2	Anna	Smirnova	24.05.2002	*****	104	05.07.2023	False
3	Ekaterina	Kuznetsova	04.02.1996	*****	105	05.07.2023	True
4	Aleksandr	Popov	06.04.1994	*****	103	05.07.2023	True
5	Elena	Vasilieva	03.11.1994	*****	104	05.07.2023	False
6	Sergei	Petrov	25.06.1984	*****	103	05.07.2023	False
7	Daniil	Sokolov	07.12.2000	*****	101	06.07.2023	True
8	Anastasia	Mikhailova	15.12.2002	*****	103	05.07.2023	True
9	Mikhail	Novikov	05.02.1993	*****	105	05.07.2023	True
10	Elizaveta	Fedorova	18.05.2004	*****	102	05.07.2023	True
11	Evgeniy	Morozov	26.09.2001	*****	101	05.07.2023	True
12	Semen	Volkov	16.08.1988	*****	103	05.07.2023	True
13	Vladislav	Alekseev	18.07.1981	*****	102	05.07.2023	True
14	Maksim	Lebedev	20.03.1988	*****	104	05.07.2023	False
15	Aleksandra	Semenova	27.06.1998	*****	102	05.07.2023	True
16	Kristina	Egorova	03.06.1999	*****	101	05.07.2023	True
17	Arina	Pavlova	21.05.1983	*****	102	05.07.2023	True
18	Dmitriy	Kozlov	07.05.1982	*****	101	06.07.2023	False
19	Danil	Stepanov	02.08.1986	*****	101	06.07.2023	True
20	Anna	Nikolaeva	20.04.1981	*****	101	05.07.2023	True
21	Rostislav	Orlov	27.03.1987	*****	101	06.07.2023	False

Таблица II.1.2: `flights`

id	flight_num	departure	arrival	flight_date	flight_date	status
1	101	Moscow	Kazan	05.07.2023	14:00	True
2	102	Moscow	Sochi	05.07.2023	15:30	False
3	103	Vladivostok	Novosibirsk	05.07.2023	09:00	True
4	104	Moscow	Ufa	05.07.2023	17:20	True
5	105	Moscow	Saint Petersburg	05.07.2023	19:00	True
6	101	Kazan	Kaliningrad	06.07.2023	11:15	True

Таблица `passengers` является информацией о пассажирах, которые приобрели билеты на рейсы данной авиакомпании.

В колонках:

- `id` — номер записи в таблице;
- `first_name` — имя пассажира;
- `second_name` — фамилия пассажира;
- `birth` — дата рождения;
- `document` — номер документа, по умолчанию в авиакомпании он скрыт;
- `flight_num` — номер рейса, на который пассажир приобрел билет;
- `flight_date` — дата вылета рейса;
- `status` — активен ли статус пассажира на данный рейс, если `True` — пассажир полетит (или уже полетел), `False` — билет был сдан.

Таблица `flights` является информацией о рейсах авиакомпании.

В колонках:

- `id` — номер записи в таблице;
- `flight_num` — номер рейса;
- `departure` — город вылета;
- `arrival` — город прилета;
- `flight_date` — дата вылета рейса;
- `departure_time` — время вылета рейса;
- `status` — активен ли статус рейса, если `True` — будет выполнен (или уже выполнен), `False` — рейс отменен.

### Решение

Исходя из условия задачи, выберем те рейсы, которые подходят, их всего два.

101	Moscow	Kazan	05.07.2023	14:00	True
104	Moscow	Ufa	05.07.2023	17:20	True

Далее идем по таблице и ищем всех людей, которые летят 05.07.2023 номерами рейсов 101 или 104 со статусом `True`.

Людей с номером рейса 101, но датой вылета 06.07.2023 в расчет не берем, так как этот рейс не вылетает из Москвы.

1	Ivan	Ivanov	25.05.1999	*****	104	05.07.2023	True
11	Evgeniy	Morozov	26.09.2001	*****	101	05.07.2023	True
16	Kristina	Egorova	03.06.1999	*****	101	05.07.2023	True
20	Anna	Nikolaeva	20.04.1981	*****	101	05.07.2023	True

Ответ: 4.

### Задача II.1.1.2. Вечный XOR (9 баллов)

Темы: алгебра логики.

#### Условие

Дано число 11011001 в двоичной системе счисления. К данному числу применяется операция XOR на другое, неизвестное нам, восьмизначное число в двоичной системе счисления. После операции выполняется проверка: если результат операции меньше восьмизначного, к нему дописываются незначащие нули. Такой проверкой мы поддерживаем восьмизначный формат числа. После этого операция XOR и проверка выполняются снова в той же последовательности и так до бесконечности...

Определите восьмизначное неизвестное число, которое применяется в операции XOR, если известно, что на 127 применении операции в этом алгоритме результат до проверки был равен 1100011.

#### Решение

Заметим одну интересную особенность функции XOR: если взять результат операции XOR числа 217 и любого числа  $x$  (допустим 3) и к результату вновь применить операцию XOR с числом  $x$  (в нашем случае 3), то мы вернемся к исходному числу.

$$\begin{array}{r}
 11011001 = 217 \\
 \wedge \\
 1100011 = 99 \\
 \hline
 10111010 = 186
 \end{array}$$

Получается, что на 127-й по счету операции XOR, то есть нечетной, будет получено промежуточное число, которое по условию равно 1100011 или 99.

Осталось лишь узнать неизвестное число  $x$ , которое будет давать 99 в результате XOR с исходным числом 217.

Для этого можно узнать результат XOR между числами 217 и 99.

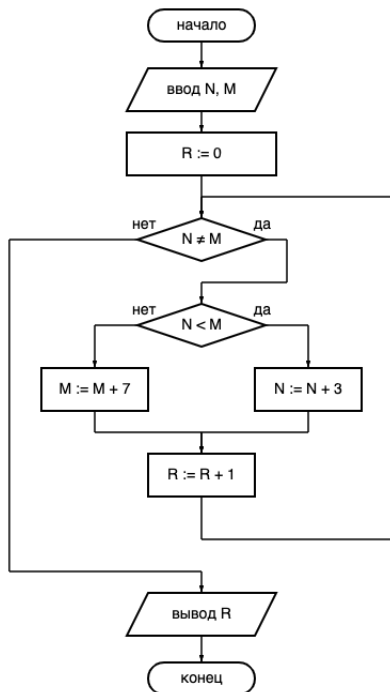
Ответ: 186.

### Задача II.1.1.3. Сколько раз (11 баллов)

Темы: анализ алгоритмов.

### Условие

Дана блок-схема алгоритма. Какое число будет выведено, если на вход были поданы  $N = 41$  и  $M = 57$ .

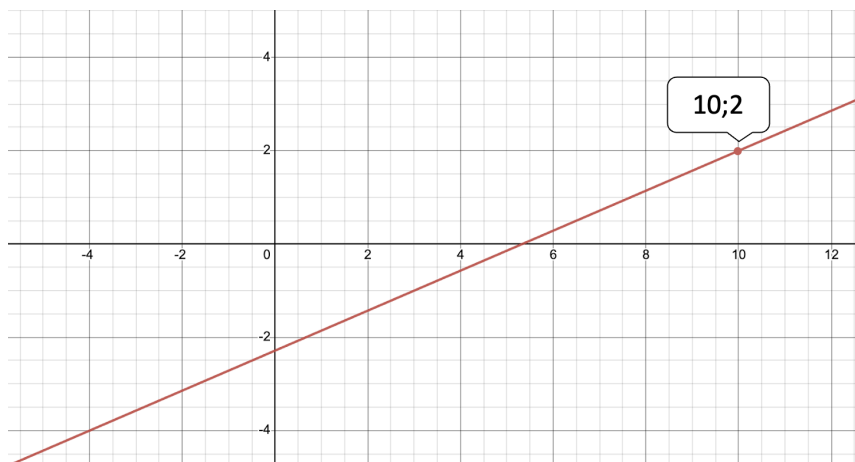


### Решение

Начальные значения чисел  $n = 41$  и  $m = 57$ . Как видно из алгоритма, программа будет прибавлять 3 к числу  $n$  (если  $n < m$ ) и прибавлять 7 к числу  $m$  (если  $m < n$ ) до тех пор, пока эти числа не станут равны. Значит сумма, прибавленная к числу  $n$  должна быть больше суммы прибавленной к числу  $m$  на  $57 - 41 = 16$ , из чего можно составить уравнение:

$$3x - 7y = 16.$$

Отсюда можно подобрать два таких целых, минимальных  $x$  и  $y$ , при которых это уравнение будет верно. Также можно построить график и найти, где он впервые проходит через целые положительные координаты.



Раз  $x = 10$ , а  $y = 2$  то суммарное количество операций будет равно 12.

**Ответ:** 12.

### ***Задача II.1.1.4. Дорога до работы (11 баллов)***

*Темы: графы.*

#### ***Условие***

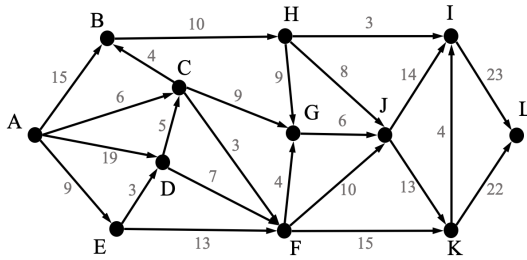
На рисунке приведена схема района «Северный», где каждая вершина графа, показанная латинскими буквами от  $A$  до  $L$ , обозначают объекты его инфраструктуры, а ребра — дороги между ними.

Гарантируется, что никаких других путей в этом районе нет и что двигаться можно лишь по направлению ребер, которое указано стрелками.

Рядом с каждой дорогой указана ее пропускная способность, которая показывает предельное количество машин, проходящих через эту дорогу за единицу времени.

Буквой  $A$  обозначен новый жилой комплекс, а буквой  $L$  — IT-парк, в который все ездят на работу с утра.

Ваша задача узнать — какое максимальное количество машин может проходить утром по дорогам этого района в единицу времени или же максимальную пропускную способность данного графа.

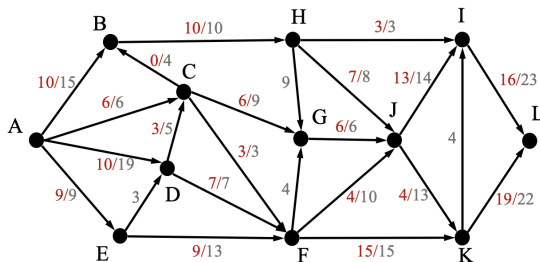


### Решение

Для решения этой задачи воспользуемся теоремой **max-flow min cut** о максимальном потоке и минимальном разрезе, которая утверждает, что в сети потоков максимальный объем потока, проходящего от истока к стоку, равен общему весу ребер в минимальном разрезе, т. е. наименьший общий вес ребер, удаление которых отключило бы исток от стока.

Самым минимальным разрезом является удаление ребер  $BH$ ,  $CF$ ,  $DF$ ,  $AE$  и  $GJ$  с суммой  $10 + 3 + 7 + 9 + 6 = 35$ , все другие разрезы отключающие исток от стока будут иметь большую сумму.

Стоит отметить, что данную задачу можно было решить и используя алгоритм Форда-Фалкерсона.



Ответ тоже получится  $16 + 19 = 35$ .

Ответ: 35.

### Задача II.1.1.5. Уличный транспорт (14 баллов)

Темы: кодирование.

#### Условие

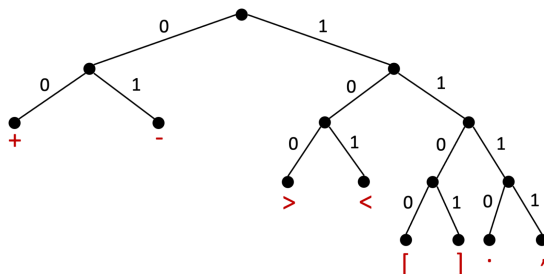
Даня и Ваня на уроке информатики получили очень странное задание. В нем им необходимо определить, какое минимальное количество информации будет содержать сообщение о способе перемещения случайного прохожего. Для этого они

простояли целые сутки на улице и поняли, что прохожие в основном передвигаются одним из пяти следующих вариантов: пешком, на самокате, велосипеде, скейтборде или роликах. Так как Ваня опаздывал на свидание, он решил, что все варианты транспорта равновероятны и убежал. Но Дания заметил одну особенность: пешеходы встречаются с вероятностью 50%, а прохожие на самокате, велосипеде, роликах и скейтбордах с вероятностью 12,5% каждый.

На сколько бит количество информации, содержащееся в сообщении о транспорте прохожего, которое посчитает Ваня, будет отличаться от количества информации, рассчитанного Данией?

### Решение

При равномерном посимвольном кодировании Вани: мощность алфавита равна 8, так как всего 8 команд, для кодирования которых по формуле Хартели потребуется 3 бита. Всего в программе 100 символов, а значит, вся программа будет весить  $3 \cdot 100 = 300$  бит при неравномерном кодировании Дани.



Тогда получается, что программа будет весить  $2 \cdot 2 \cdot 32 + 3 \cdot 2 \cdot 6 + 4^4 \cdot 6 = 260$  бит, что на 40 меньше веса, полученного Ваней.

Ответ: 40.

### Задача II.1.1.6. Нули и единицы (14 баллов)

Темы: системы счисления.

#### Условие

Существует два целых числа  $x$  и  $y$ , удовлетворяющих выражению  $x = 2^i - 1$ ,  $y = 2^j - 1$ , где  $x \in [1; 64]$ .

Определите, сколько существует вариантов выбрать  $x$  и  $y$  при следующих условиях:

- $x > y$ .
- Произведение данных чисел в двоичной записи содержит хотя бы одну единицу и хотя бы один ноль.



Выходит, что на 50 вариантов взятия  $j$  существует по 13 вариантов взятия  $i$ , а это уже  $50 \cdot 13 = 650$  пар.

Для каждого  $j \geq 52$  количество возможных  $i$  будет уменьшаться, так как  $i$  не может быть больше 64, а значит, для  $j = 52$  будет всего 12 возможных вариантов  $i$ , для  $j = 53$  будет всего 11 возможных вариантов  $i$  и так далее, что выплывает в арифметическую прогрессию:  $12 + 11 + \dots + 2 + 1 = 78$  вариантов.

Всего получается  $650 + 78 = 728$  пар.

**Ответ:** 728.

### **Задача II.1.1.7. Кольцевой сборщик (17 баллов)**

*Темы: программирование.*

#### **Условие**

На некотором заводе решили расфасовать детали. Каждая деталь имеет свой размер, выраженный как целое число. Для фасовки сотрудники взяли кольцевой сборщик. Кольцевой сборщик — это некий механизм с ячейками разного размера, в которые можно положить деталь. Изначально выбрана для приема детали ячейка под номером 1, каждую секунду она сдвигается на следующую: через секунду будет выбрана для приема ячейка под номером 2, через две секунды — под номером 3 и так далее... Если сборщик дойдет до последней ячейки, он на следующем шагу окажется на ячейке под номером 1. Чтобы разместить деталь в сборщик, необходимо, чтобы размер выбранной для приема ячейки был равен размеру детали. Всего необходимо погрузить  $n$  деталей, каждая — имеет свой уникальный размер от 1 до  $n$  включительно. Сами они загружаются в сборщик по возрастанию, сначала с размером 1, потом с размером 2, и так далее до размера  $n$  включительно. Работники завода попросили у Вас помощи. Они сообщили вам, сколько у них деталей, а также порядок ячеек в кольцевом сборщике, и просят Вас написать программу, которая рассчитает, через сколько все детали будут погружены в кольцевой сборщик. Считайте, что деталь укладывается в кольцевой сборщик моментально.

#### **Формат входных данных**

В первой строке входных данных записано число  $n$  ( $1 \leq n \leq 10^5$ ) — количество деталей.

Во второй строке записано  $n$  целых чисел  $s_i$  ( $1 \leq s_i \leq n$ ) — последовательность размеров ячеек в кольцевом сборщике. Все размеры ячеек являются уникальными числами.

Выбранной при старте ячейкой считать первое число последовательности.

#### **Формат выходных данных**

Выведите одно число — количество времени, затраченное на расфасовку всех деталей.

## Методика проверки

Программа проверяется на 20 тестах. Прохождение каждого теста оценивается в 0,5 балла. Тесты из условия задачи при проверке не используются.

## Примеры

### Пример №1

<b>Стандартный ввод</b>
4
3 1 4 2
<b>Стандартный вывод</b>
6

## Пояснения к примеру

Первая на вход идет деталь с размером 1, чтобы добраться до ячейки с размером 1 необходимо затратить одну су:  $3 \rightarrow 1$ . Следующая на вход идет деталь с размером 2, чтобы добраться до ячейки с размером 2 необходимо затратить две су:  $1 \rightarrow 4 \rightarrow 2$ . Следующая на вход идет деталь с размером 3, чтобы добраться до ячейки с размером 3 необходимо затратить одну су:  $2 \rightarrow 3$ . Последняя на вход идет деталь с размером 4, чтобы добраться до ячейки с размером 4 необходимо затратить две су:  $3 \rightarrow 1 \rightarrow 4$ . Итого было затрачено на расфасовку всех деталей 6 с.

## Решение

Заведем отдельный список/словарь, который в качестве индексов будет использовать размеры деталей, а в качестве значений — индексы ячеек для деталей на ленте. Так как детали укладываются последовательно, пройдем циклом по деталям размерами от 1 до  $N$  включительно. На момент начала укладки мы расположены над ячейкой под номером 1. Для вычисления времени до нужной нам ячейки, зная, что лента меняет ячейку каждую секунду, воспользуемся следующей формулой «точка расположения ячейки для нужной детали — наше нынешнее положение». Тем самым мы вычислим расстояние до ячейки, что и будет эквивалентно в рамках нашей задаче времени до ячейки.

Если точка расположения нашей ячейки находится позади нашей позиции, проверен полный круг по ленте, вернувшись в стартовое положение, и добавим расстояние до нужной ячейки: « $N$  — наше нынешнее положение + точка расположения ячейки для нужной детали». После каждого перемещения по ленте обновляем нынешнюю позицию на точку, до которой мы дошли на этом шагу: «наше нынешнее положение = точка расположения ячейки для нужной детали». Суммируем все рассчитанные расстояния и получаем полное время, за которое мы обойдем всю ленту и уложим все детали.

## Пример программы-решения

Ниже представлено решение на языке Python 3.

```

1 n = int(input())
2 indexes = dict()
3 arr = list(map(int, input().split()))
4 for i in range(n):
5     indexes[arr[i]] = i
6     current_index = result = 0
7 for i in range(n):
8     if current_index < indexes[i + 1]:
9         result += indexes[i + 1] - current_index
10    else:
11        result += n + indexes[i + 1] - current_index
12    current_index = indexes[i + 1]
13 print(result)

```

### Задача II.1.1.8. Кредиты в банке (17 баллов)

Темы: программирование.

#### Условие

В некотором банке регулярно проходит огромное количество транзакций в сутки. Все эти транзакции (без указания личных данных клиентов) отображаются в логах банка. Это сделано для того, чтобы можно было анализировать количество денег, которые клиенты внесли в банк. Как вы знаете, банки обладают возможностью выдавать кредиты своим клиентам, но они их выдают из денег, которые вложили другие клиенты. И, естественно, чтобы выдать кредит, банк должен иметь в наличии ту сумму, на которую он это хочет сделать. Нормальной системы контроля денег у банка, о котором у нас в задаче идет речь, нет, поэтому они это делают через логи. Они узнают по ним гарантированное количество уникальных денежных единиц, которое было зафиксировано, и тем самым определяют гарантированную сумму, которую могут выдать в кредит.

Вам был дан некий отрезок из логов этого банка. Каждый клиент закодирован уникальным номером. Определите, какое гарантированное количество уникальных денежных единиц есть у банка на кредит. Для подробного понимания, как высчитывается гарантированная величина уникальных денежных единиц, смотрите пояснение к примеру.

#### Формат входных данных

На вход программе в первой строке поступает целое число  $n$   $1 \leq n \leq 10^5$  — количество операций в логах. В следующих  $n$  строках записано по три целых числа  $from$  ( $1 \leq from \leq 500$ ),  $to$  ( $1 \leq to \leq 500$ ),  $from \neq to$ , и  $amount$  ( $1 \leq amount \leq 10^9$ ) — клиенты, которые отправили и получили деньги соответственно, а также количество денежных единиц.

#### Формат выходных данных

Программа должна вывести одно число — гарантированное количество уникальных денежных единиц, которые были зафиксированы по логам.

## Примеры

### Пример №1

<b>Стандартный ввод</b>	
3	
1 2	50
2 3	30
3 1	40
<b>Стандартный вывод</b>	
60	

### Пояснение к примеру

В примере первая транзакция производится между клиентами 1 и 2 на величину 50 денежных единиц. До этого эти деньги не были в логах, а значит, это 50 уникальных денежных единиц. Далее идет транзакция между клиентами 2 и 3 на величину 30 денежных единиц. Как мы знаем из первой транзакции, у клиента под номером 2 есть 50 денежных единиц, и, соответственно, эти 30 денежных единиц могли быть пересланы из этих 50, поэтому мы не можем заявлять, что это гарантировано уникальные денежные единицы. В случае, если клиент 2 отправит 30 денежных единиц клиенту 3, то у него может остаться  $50 - 30 = 20$  денежных единиц. Следующая транзакция происходит между клиентами 3 и 1 на величину 40 денежных единиц. Так как у клиента 3 нам известно только 30 денежных единиц, которые были отправлены от клиента 2, то оставшиеся  $40 - 30 = 10$  будут уникальными единицами денег, так как до этого о них речь нигде в логах не шла. Итого, у нас получается  $50 + 10 = 60$  гарантировано уникальных денежных единиц.

### Решение

Заведем некий список/словарь, который будет хранить, сколько на данный момент у клиентов денег, которые нам известны, а также переменную, в которую будем записывать количество уникальных денег. Изначально мы не знаем ни одной транзакции, следовательно, про каждого клиента мы знаем о наличии 0 денег. Запускаем цикл, в котором обрабатываем каждую транзакцию следующим образом: от отправителя мы вычитаем сумму денег, которая указана в переводе, которую он отправил, а получателю их начисляем. Если счет отправителя становится отрицательным, следовательно, были отправлены деньги, о которых мы ранее не знали, следовательно, обновляем значение уникальных денег, добавляя модуль отрицательного баланса (той части денег, о которых мы ранее не знали). После этого запишем на баланс отправителя, что у него 0 денег, так как больше нет неизвестных денег. Обработав все транзакции таким образом, в конце выводим переменную с количеством уникальных денег.

### Пример программы-решения

Ниже представлено решение на языке Python 3.

```

1 n = int(input())
2 bank_accounts = dict()
3 unique_moneys = 0
4 for i in range(n):
5     from_user, to_user, amount = map(int, input().split())
6     if to_user not in bank_accounts:
7         bank_accounts[to_user] = 0
8     bank_accounts[to_user] += amount
9     if from_user not in bank_accounts:
10        bank_accounts[from_user] = 0
11    bank_accounts[from_user] -= amount
12    if bank_accounts[from_user] < 0:
13        unique_moneys += abs(bank_accounts[from_user])
14    bank_accounts[from_user] = 0
15 print(unique_moneys)

```

## Вторая волна. Задачи 8–11 класса

### Задача II.1.2.1. Жилой дом (7 баллов)

Темы: базы данных.

#### Условие

Дан фрагмент таблицы базы данных некоторого жилого дома.

Таблица II.1.3: `livers`

id	first_name	last_name	birth	sex	flight_num
1	Ivan	Ivanov	25.05.1999	male	101
3	Ekaterina	Kuznetsova	04.02.1996	female	103
4	Aleksandr	Popov	06.04.1994	male	102
5	Elena	Vasilieva	03.11.1994	female	103
6	Sergei	Petrov	25.06.1984	male	102
7	Daniil	Sokolov	07.12.2000	male	102
8	Anastasia	Mikhailova	15.12.2002	female	103
9	Mikhail	Novikov	05.02.1993	male	103
10	Elizaveta	Fedorova	18.05.2004	female	104
11	Evgeniy	Morozov	26.09.2001	male	105
12	Semen	Volkov	16.08.1988	male	106
13	Vladislav	Alekseev	18.07.1981	male	104
14	Maksim	Lebedev	20.03.1988	male	106
15	Aleksandra	Semenova	27.06.1998	female	105
16	Kristina	Egorova	03.06.1999	female	107
17	Arina	Pavlova	21.05.1983	female	107
18	Dmitriy	Kozlov	07.05.1982	male	107
19	Danil	Stepanov	02.08.1986	male	108
20	Anna	Nikolaeva	20.04.1981	female	109
21	Rostislav	Orlov	27.03.1987	male	109

Таблица `livers` является информацией о пассажирах, которые проживают в доме.

В колонках:

- `id` — номер записи в таблице;
- `first_name` — имя проживающего;
- `second_name` — фамилия проживающего;
- `birth` — дата рождения;
- `sex` — пол проживающего: `male` — мужчина, `female` — женщина;
- `flat_num` — в какой квартире проживает человек.

Исходя из информации данной таблицы, определите, сколько есть потенциальных пар/семей в доме. Потенциальной парой/семьей будем называть таких проживающих, которые живут в одной квартире, имеют разный пол, а также разница их возрастов не превышает пять лет. В каждой квартире может проживать только одна пара, но не обязательно только два человека.

### *Решение*

Учитывая, что в каждой квартире может проживать только одна пара, но не обязательно только два человека, надо проверить каждую квартиру на наличие хотя бы одной такой пары, удовлетворяющей условию задачи:

- 101: жители 1 и 2 разных полов с разницей в возрасте менее пяти лет — подходит;  
 102: жители 4, 6 и 7 одинаковых полов — не подходит;  
 103: жители 3, 5, 8 и 9, при этом у жителей 5 и 9 разный пол с разницей в возрасте менее пяти лет — подходит;  
 104: жители 10 и 13 разных полов с разницей в возрасте более пяти лет — не подходит;  
 105: жители 11 и 15 разных полов с разницей в возрасте менее пяти лет — подходит;  
 106: жители 12 и 14 одинаковых полов — не подходит;  
 107: жители 16, 17 и 18, при этом у жителей 17 и 18 разный пол с разницей в возрасте менее пяти лет — подходит;  
 108: житель 19 — не подходит;  
 109: жители 20 и 21 разных полов с разницей в возрасте более пяти лет — не подходит.

Итого получается четыре пары.

**Ответ:** 4.

### *Задача II.1.2.2. Десятки (9 баллов)*

*Темы: системы счисления.*

#### *Условие*

Назовите максимальную систему счисления, где для чисел  $10^i$  ( $1 \leq i \leq 9$ ) при переводе в выбранную систему счисления их длина равна  $i$ .

### Решение

Чтобы выполнялось условие, описанное в задаче, необходимо подставить под  $i$  максимальное значение (в рамках задачи это 9), и выбирать систему счисления до того момента, пока длина числа  $10^i$  в некоторой системе счисления равна  $i$ . После того, как условие не будет выполняться, число никак не увеличится в размере, а, следовательно, не будет больше систем счисления, удовлетворяющих условию.

Так как длина числа  $10^9$  в десятичной системе счисления больше 9, начнем с 11-ричной системы счисления:

11-ричная система счисления —  $10^9 = 47352388a$  (длина 9).

12-ричная система счисления —  $10^9 = 23aa93854$  (длина 9).

13-ричная система счисления —  $10^9 = 12c23a19c$  (длина 9).

14-ричная система счисления —  $10^9 = 96b4b6b6$  (длина 8) — условие не выполнено.

Максимальная система счисления 13-ричная.

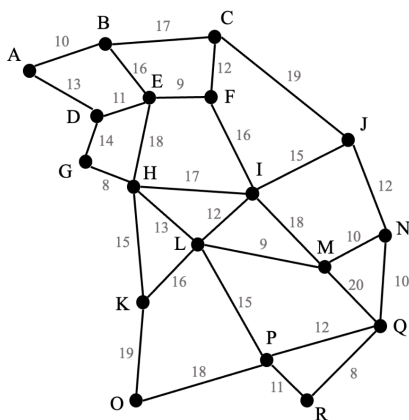
Ответ: 13.

### Задача II.1.2.3. Дорожные работы (11 баллов)

Темы: теория графов.

#### Условие

Министерству транспорта некоторого города поступил запрос с обновлением асфальтоукладочного покрытия между важными элементами инфраструктуры. Однако совсем скоро зима, поэтому автомагистрали и дороги нужны проложить как можно скорее. Все возможные варианты прокладки дорог с требуемым для этого временем указаны на рисунке.



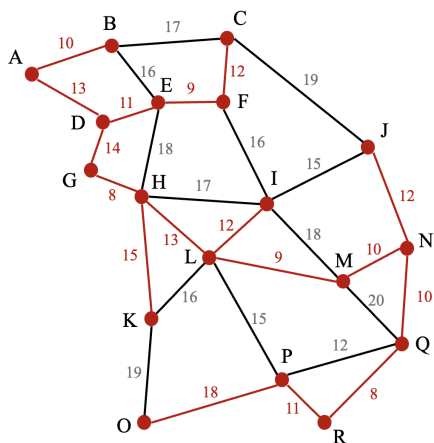
Главным условием является то, что до каждого из зданий должна быть проложена хотя бы одна дорога.

Определите минимальное время, которое потребуется на асфальтирование этого города.

### Решение

Для решения этой задачи достаточно построить минимальное остовное дерево графа. Самый простой способ сделать это — воспользоваться алгоритмом Краскала, который каждый раз берет ребро с минимальным весом и, если такое взятие не образует цикла, присоединяет его к скелету.

Получим такую картину.



Ответ: 195.

### Задача II.1.2.4. Необычный отель (11 баллов)

Темы: анализ алгоритмов.

#### Условие

Ваня поехал в отпуск и заселился в очень необычный отель. В нем ровно 9999 номеров. Перед заселением все двери этих номеров открыты, а странный консьерж каждый раз после уборки номера меняет состояние двери: с открытой на закрытую и наоборот, чтобы проветривать комнату. При этом сначала он делает уборку во всех комнатах с номерами кратными 1, потом — 2, потом — 3 ... и так до 9999.

Определите самый большой номер комнаты, который будет открыт после уборки.

**Решение**

Из условия известно, что консерж проходит номера последовательно их кратности (сначала номера с кратностью 1, затем с кратностью 2 и т. д.).

Сделаем вывод: сколько раз номер в отеле кратен некоторым числам, столько раз его и посетят. Все числа, на которые номер комнаты кратен — это делители нашего номера, следовательно, сколько делителей у номера комнаты — столько раз ее и посетят.

Определим, в каком порядке происходят действия с дверьми:

- каждую нечетную операцию дверь меняет свое состояние с открытой на закрытую;
- каждую четную операцию дверь меняет свое состояние с закрытой на открытую (дверь будет закрыта, так как до этого была нечетная операция).

Следовательно, номер с последней закрытой дверью — это самое большое число номера, над которым проведено нечетное количество операций, или, исходя из ранее выведенного условия, нечетное количество делителей.

Нечетное количество различных делителей имеют только числа, которые являются квадратами (например,  $4 = 2^2$ ,  $81 = 9^2$ ). Следовательно, найдем самый большой квадрат, который меньше 9999. Ближайший полный квадрат к 9999, это  $10000 = 100^2$ . 10000 является большим результатом, поэтому возьмем меньший на единицу (минимальный шаг) квадрат:  $(100 - 1)^2 = 99^2 = 9801$ .  $9801 < 9999$ , а также является наибольшим квадратом, так как следующий квадрат уже превышает номер последней комнаты.

**Ответ:** 9801.

**Задача II.1.2.5. Футбольный турнир (14 баллов)**

*Темы: кодирование.*

**Условие**

В этом году проходит ежегодный футбольный турнир среди Assembler-программистов. Ежегодно это соревнование объединяет миллионы людей со всего мира, каждый с нетерпением ждет его проведения. Сейчас на соревнование было зарегистрировано 512 команд. Все соревнование проходит в три этапа: отборочный этап, групповой этап и финальный этап. Во время отборочного этапа проходит четыре стадии турнира:  $\frac{1}{256}$ ,  $\frac{1}{128}$ ,  $\frac{1}{64}$  и  $\frac{1}{32}$ . Все матчи проходят по 90 мин основного времени, и, в случае ничейного результата, добавляется дополнительное время 30 мин. Если после 120 мин матча не удастся выявить победителя, проходит серия пенальти.

После отборочного этапа остается 32 команды, и они попадают в групповой этап. Все эти команды случайным образом распределяются по восьми группам, и в процессе этапа они сыграют каждый с каждым по два раза, то есть любая команда на этой стадии сыграет 6 матчей. Во время группового этапа матчи проходят только по 90 мин, независимо от результата.

По итогам группового этапа в финальную стадию проходит 16 лучших команд, и они начинают играть за кубок футбольного ассемблера. Всего проходит 4 стадии:  $\frac{1}{8}$ ,

$\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  и финал, матча за третье место нет. Во время финальной стадии сохраняются те же правила проведения матчей, что и в отборочном этапе: 90 + 30 + серия пенальти.

Данный турнир проводится не первый год, и организаторы прекрасно знают из своей статистики, что в дополнительное время в отборочном этапе заканчивается не более 10% матчей, а также не более 20% матчей в финальном этапе.

Организаторы хотят, чтобы весь турнир прошел на высшем уровне и без нареканий, но у них возник вопрос: сколько памяти надо выделить, чтобы гарантировано сохранить все результаты матча. Организаторы хотят хранить отчеты по матчам поминно, выделяя на каждую мину по 2 байта. Серию пенальти они решили не хранить, а записывать гол на счет победителя на 120 минуте. Каждый этап соревнования хранится отдельно, независимо от других, в килобайтах. Исходя из статистических данных процентов матчей, заканчивающихся в основное или дополнительное время, а также формата турнира, рассчитайте, какое минимальное целое количество памяти нужно выделить в килобайтах, чтобы гарантировано удалось сохранить все результаты турнира поминно.

Считать, что 1 Кбайт равен 1024 байтам.

### *Решение*

Для сохранения матча длительностью 90 мин потребуется 180 байт, для 120-минутного матча — 240 байт.

#### *Отборочный этап*

В  $\frac{1}{256}$  стадии пройдет  $\frac{512}{2}$  (количество команд, участвующих в матче) = 256 матчей, и, следовательно, в следующую стадию пройдет 256 команд.

В  $\frac{1}{128}$  стадии пройдет  $\frac{256}{2}$  (количество команд, участвующих в матче) = 128 матчей, и, следовательно, в следующую стадию пройдет 128 команд.

В  $\frac{1}{64}$  стадии пройдет  $\frac{128}{2}$  (количество команд, участвующих в матче) = 64 матча, и, следовательно, в следующую стадию пройдет 64 команды.

В  $\frac{1}{32}$  стадии пройдет  $\frac{64}{2}$  (количество команд, участвующих в матче) = 32 матча, и, следовательно, в следующую стадию пройдет 32 команды.

Всего за отборочную стадию пройдет  $256+128+64+32 = 480$  матчей, не более 10% из которых могут закончиться в дополнительное время с серией пенальти:  $480 \cdot 0,1 = 48$  матчей; в основное время закончится:  $480 - 48 = 432$  матча.

Следовательно, для хранения данных о матчах в отборочном этапе потребуется:  $432 \cdot 180 + 48 \cdot 240 = 89280$  байт.

#### *Групповой этап*

Всего будет 32 команды, поделенных равномерно на 8 групп, следовательно, в каждой группе по 4 команды. Каждая команда сыграет друг против друга по два раза, следовательно, всего будет 6 туров между командами, а в каждом туре будет по 2 матча. Посчитаем, сколько матчей будет проведено всего:  $6 \cdot 2 \cdot 8 = 96$  матчей. Все матчи пройдут только в основное время:  $96 \cdot 180 = 17280$  байт.

#### *Финальный этап*

В  $\frac{1}{8}$  стадии пройдет  $\frac{16}{2}$  (количество команд, участвующих в матче) = 8 матчей, и, следовательно, в следующую стадию пройдет 8 команд.

В  $\frac{1}{4}$  стадии пройдет  $\frac{8}{2}$  (количество команд, участвующих в матче) = 4 матча, и, следовательно, в следующую стадию пройдет 4 команды.

В  $\frac{1}{2}$  стадии пройдет  $\frac{4}{2}$  (количество команд, участвующих в матче) = 2 матча, и, следовательно, в следующую стадию пройдет 2 команды.

В финале пройдет всего 1 матч.

Всего за финальную стадию пройдет  $8 + 4 + 2 + 1 = 15$  матчей, не более 25% из которых могут закончиться в дополнительное время с серией пенальти:  $15 \cdot 0,25 = 3,75$  матча. Так как в условии задачи указано **не более**, то округляем в меньшую сторону: 3 матча; в основное время закончится:  $15 - 3 = 12$  матчей.

Следовательно, для хранения данных о матчах в отборочном этапе потребуется:  $12 \cdot 180 + 3 \cdot 240 = 2880$  байт.

Переведем все значения из байт в КБайт:

- для хранения отборочного этапа потребуется  $89280/1024 = 87,1875 = 88$  Кбайт;
- для хранения группового этапа потребуется  $17280/1024 = 16,875 = 17$  Кбайт;
- для хранения финального этапа потребуется  $2880/1024 = 2,8125 = 3$  Кбайт.

Всего для хранения таблицы потребуется:  $88 + 17 + 3 = 108$  Кбайт.

**Ответ:** 108.

### **Задача II.1.2.6. Фиктивные переменные (14 баллов)**

*Темы: алгебра логики.*

#### **Условие**

Дана логическая функция, состоящая из семи переменных:

$$(((a \wedge b) \vee (\neg a \wedge (\neg a \vee e) \wedge b)) \rightarrow (c \wedge (d \vee e)) \vee (\neg c \wedge d) \vee (e \wedge \neg c)) \wedge (\neg f \vee (g \wedge f) \vee \neg g).$$

Фиктивными переменными называются те переменные, которые не влияют на результат функции. Выясните, какие переменные являются фиктивными. В ответе укажите их в любом порядке слитно, без пробелов, запятых и иных знаков. Гарантируется, что есть минимум две фиктивные переменные, а также существует хотя бы одна переменная, от которой зависит результат функции.

#### **Решение**

Преобразуем выражение:

$$\neg a \wedge (\neg a \vee e) = \neg a.$$

Рассмотрим левую часть, заметим, что:

$$(((a \wedge b) \vee (\neg a \wedge b)) \rightarrow (c \wedge (d \vee e)) \vee (\neg c \wedge d) \vee (e \wedge \neg c)) \wedge (\neg f \vee (g \wedge f) \vee \neg g).$$

Теперь обратим внимание на  $(a \wedge b) \vee (\neg a \wedge b)$ , потому что по свойству склеивания это будет просто  $b$ :

$$((b \rightarrow (c \wedge (d \vee e)) \vee (\neg c \wedge d) \vee (e \wedge \neg c)) \wedge (\neg f \vee (g \wedge f) \vee \neg g)).$$

Во второй скобке можно заметить общий множитель  $\neg c$ , который можно вынести за скобки (свойство дистрибутивности):

$$((b \rightarrow (c \wedge (d \vee e)) \vee (\neg c \wedge (d \vee e)))) \wedge (\neg f \vee (g \wedge f) \vee \neg g).$$

Далее общий множитель  $(d \vee e)$ , который тоже можно вынести за скобки (свойство дистрибутивности):

$$(b \rightarrow (d \vee e) \wedge (c \vee \neg c)) \wedge (\neg f \vee (g \wedge f) \vee \neg g).$$

Здесь  $c \vee \neg c = 1$ , а значит функция принимает вид:

$$((b \rightarrow (d \vee e)) \wedge (\neg f \vee (g \wedge f) \vee \neg g)).$$

Уберем лишние скобки:

$$(b \rightarrow (d \vee e)) \wedge (\neg f \vee (g \wedge f) \vee \neg g).$$

Теперь преобразуем правую часть, по закону поглощения:

$$\neg f \vee (g \wedge f) = \neg f \vee g,$$

после этого логическое выражение имеет следующий вид:

$$(b \rightarrow (d \vee e)) \wedge (\neg f \vee g \vee \neg g).$$

Так как  $g \vee \neg g = 1$ , то и вся скобка тоже превращается в 1, следовательно, функция принимает вид:

$$\neg b \vee d \vee e.$$

Значит, фиктивными переменными являются  $a, c, f, g$ .

**Ответ:**  $a\bar{c}fg$ .

### **Задача II.1.2.7. Прогнозирование (17 баллов)**

*Темы: программирование.*

#### **Условие**

Сегодня проходит финал по перетягиванию каната. В нем принимают участие две команды: синих и красных. Обе команды проделали большой путь до этого финала ради призового фонда с конфетами. Но на днях команда красных предложила главному тренеру команды синих конфеты за то, чтобы они проиграли. И те и другие будут в плюсе, ведь тогда команда красных заберет призовой фонд, а команда синих получит гарантированные конфеты за проигрыш.

После того как он получил конфеты, руководители команды красных попросили узнать, сколько матчей они смогут гарантированно проиграть. Они дали ему один день на обдумывание, чем он и занялся. Тренер помнит, что финал проходит по следующим правилам: от команды представляются  $n$  человек, и в рамках финала

проходит также  $n$  матчей. В первом матче канат тянут по одному человеку с каждой стороны, во втором матче канат тянут по два человека с каждой стороны, на третий три, и так далее до того, пока канат не будут тянуть с каждой стороны по  $n$  человек. Побеждает в матчах та команда, у которой больше суммарная сила на сторону. Если силы равны, объявляется ничья. Тренер знает силы и своей команд, и команды соперника, и вправе на каждый матч сам решать, кто участвует за команду синих. Также он знает, что команда красных будет ставить максимально оптимально своих участников на матчи.

Исходя из этого, он просит вас написать программу, которая посчитает, какое максимальное количество матчей он может проиграть, если будет сам решать кто в каком матче участвует.

### *Формат входных данных*

В первой строке входных данных записано целое число  $n$  ( $1 \leq n \leq 2 \cdot 10^5$ ) — количество участников в каждой команде и одновременно количество матчей в финале. Во второй строке записано  $n$  целых чисел  $a_i$  ( $1 \leq a_i \leq 10^9$ ) — силы участников команды синих. В третьей строке записано  $n$  целых чисел  $b_i$  ( $1 \leq b_i \leq 10^9$ ) — силы участников команды красных.

### *Формат выходных данных*

Выведите одно целое число — максимальное количество матчей, которое команда синих может проиграть.

### *Методика проверки*

Программа проверяется на 20 тестах. Прохождение каждого теста оценивается в 0,5 балла. Тесты из условия задачи при проверке не используются.

### *Примеры*

#### *Пример №1*

<b>Стандартный ввод</b>
5
2 3 1 4 3
1 2 1 2 2
<b>Стандартный вывод</b>
2

### *Пояснения к примеру*

Команда синих может проиграть первых два матча. В первом матче они поставят участника с силой 1 против участника команды красных с силой 2.

Во втором матче они поставят участников с силой 1 и 2 против участников команды красных с силами 2 и 2.

В третьем матче можно сделать ничью, но проиграть не получится. В четвертом и пятом матче команда синих может только выиграть.

### Решение

Отсортируем силы участников обеих команд. Также создадим две переменные, в которых будут храниться суммарные силы участников команд на определенный раунд. Эти суммы на каждый раунд будут наполняться следующим образом: в команду синих мы будем добавлять самого слабого свободного участника из команды, в то время как в команду красных мы будем добавлять самого сильного свободного участника из команды. Тем самым мы постоянно будем задавать команде синих наиболее слабый состав на каждый раунд, а команде красных, наоборот, наиболее сильный. Посчитаем, в скольких случаях команда синих была слабее команды красных, и выведем данный результат.

### Пример программы-решения

Ниже представлено решение на языке Python 3.

```
1 n = int(input())
2 blue_team = sorted(list(map(int, input().split())))
3 red_team = sorted(list(map(int, input().split())))
4 blue_sum = 0
5 red_sum = 0
6 res = 0
7 for i in range(n):
8     blue_sum += blue_team[i]
9     red_sum += red_team[-i - 1]
10    if blue_sum < red_sum:
11        res += 1
12 print(res)
13
```

### Задача II.1.2.8. Магические ключи (17 баллов)

Темы: программирование.

#### Условие

Дания попал в магический коридор, в котором он видит  $n$  дверей с разными замочными скважинами. Незвестный голос говорит ему повернуть голову влево, что он без каких-либо сомнений делает. Перед ним открылась следующая картина: стоит стол, а на нем — неограниченное количество  $m$  видов ключей, а также карта, на которой расписано, какая дверь каким ключом открывается.

Все бы ничего, но Дания снова услышал неизвестный голос, который произнес следующие слова: «Эти ключи не простые, а магические. Как только ты используешь ключ, у тебя есть  $k$  у. е. времени, чтобы воспользоваться им повторно, иначе он разрушится. Но если ты повторно воспользуешься ключом, он обновится, и у тебя снова будет  $k$  у. е. времени, чтобы им воспользоваться повторно. Каждая дверь

открывается ключом за 1 у. е. времени. Если ты хочешь выбраться из этого коридора, воспользуйся картой и собери все ключи, которые тебе нужны, иначе ты здесь останешься на века».

В этой ситуации каждый будет брать все и как можно больше, но не Дания. Он решил быть рациональным и не забивать все карманы ненужными ключами. Он отправил вам по «аське» карту и информацию про все магические свойства ключей, и просит написать программу, которая рассчитает минимальное количество ключей каждого вида, которые должен взять Дания, а также их суммарное количество.

### *Формат входных данных*

В первой строке входных данных записано три целых числа  $n$  ( $1 \leq n \leq 10^6$ ),  $m$  ( $1 \leq m \leq 1000$ ) и  $k$  ( $1 \leq k \leq 2000$ ) — количество дверей, ключей и время действия ключа после первого использования соответственно.

Во второй строке записано  $n$  целых чисел  $a_i$  ( $1 \leq a_i \leq m$ ) — номер ключа, которым можно открыть дверь под номером  $i$ . Гарантируется, что на каждый вид ключа будет не более 1000 дверей, которые им открываются.

### *Формат выходных данных*

Выведите в первой строке одно число — общее количество ключей, которое необходимо с собой взять. Во второй строке выведите  $n$  чисел — сколько ключей надо взять на каждый вид по отдельности. Вывод количества ключей идет по порядку: сначала количество ключей с номером 1, затем — с номером 2, и так далее.

### *Примеры*

#### *Пример №1*

<b>Стандартный ввод</b>
5 2 2
2 1 2 2 1
<b>Стандартный вывод</b>
3
2 1

### *Пояснение к примеру*

Для открытия первой двери нужен новый ключ с номером 2. Для открытия второй нужен новый ключ с номером 1. Для открытия третьей двери мы можем воспользоваться ранее взятым ключом 2, так как его время действия еще не закончилось еще. Для открытия четвертой двери воспользуемся ранее взятым ключом 2, так как мы его на предыдущей двери обновили, и теперь отсчет его времени действия начался снова. Для открытия пятой двери нужен новый ключ с номером 1, так как предыдущий ключ потерял свое действие. Итого нам нужно два ключа с номером 1 и один ключ с номером 2.

## Решение

Создадим отдельный список/словарь, в который будем записывать в качестве индексов/ключей номера ключей от дверей, а в качестве значений под индексами/ключами будет храниться список индексов дверей, которые открываются этими ключами. После этого запускаем цикл, доставая индексы дверей по определенному ключу и вычисляем, сколько нужно ключей определенного типа, чтобы открыть все двери, которые подходят под него. Для того чтобы понимать, нужен новый ключ или нет, воспользуемся следующим условием: если разница между позицией двери и предыдущей двери, открываемой данным ключом, больше времени активности ключа, то требуется новый ключ, в ином случае нет. Если у нас есть хотя бы одна дверь, которая открывается определенным типом ключа, нужно взять минимум один ключ, в ином случае ключи не нужны. Суммируем количество раз, сколько раз, исходя из условия, потребовалось взять еще ключей для дверей, а также добавляем один (чтобы взять первый ключ для дверей). Сохраняем для двери в списке данный результат. В итоге проходимся по всем ключам и дверям для них и выводим сумму всех ключей, а также по отдельности необходимое количество ключей.

### Пример программы-решения

Ниже представлено решение на языке Python 3.

```

1 n, m, active_time = map(int, input().split())
2 keys = list(map(int, input().split()))
3 arr = [[] for i in range(m)]
4 for i in range(n):
5     arr[keys[i] - 1].append(i)
6 res = 0
7 count_keys = []
8 for doors_by_someone_key in arr:
9     count_keys.append(0)
10    if len(doors_by_someone_key) == 0:
11        continue
12    prev_door = doors_by_someone_key[0]
13    res += 1
14    count_keys[-1] += 1
15    for door in doors_by_someone_key:
16        if door - prev_door > active_time:
17            res += 1
18            count_keys[-1] += 1
19            prev_door = door
20 print(res, count_keys, sep='\n')
```

## Третья волна. Задачи 8–11 класса

### Задача II.1.3.1. Аренда авто (7 баллов)

Темы: базы данных.

#### Условие

Даны фрагменты двух таблиц базы данных некоторой каршеринговой компании.

Таблица II.1.4: Операции

id	Имя	Фамилия	Пол	Дата аренды	id авто	Сумма аренды	Штраф
1	Данил	Смирнов	м	03.08.2023	104	242	Есть
2	Екатерина	Кузнецова	ж	04.08.2023	106	314	Нет
3	Сергей	Попов	м	06.08.2023	105	147	Есть
4	Анастасия	Васильева	ж	08.08.2023	103	150	Нет
5	Елизавета	Штольц	м	10.08.2023	103	219	Есть
7	Дмитрий	Солоков	м	10.08.2023	10	300	Нет
8	Елена	Новикова	ж	12.08.2023	103	258	Есть
9	Михаил	Федоров	м	17.08.2023	10	294	Есть
10	Филипп	Морозов	м	18.08.2023	102	190	Нет
11	Евгений	Волков	м	20.08.2023	101	178	Нет
12	Владислав	Алексеев	м	25.08.2023	103	218	Нет
13	Максим	Лебедев	м	25.08.2023	102	176	Нет
14	Александра	Семенова	ж	28.08.2023	104	315	Есть
15	Арина	Егорова	ж	01.09.2023	102	233	Есть
16	Кристина	Павлова	ж	03.09.2023	101	166	Есть
17	Даниил	Казаченко	м	03.09.2023	102	252	Нет
18	Иван	Козлов	м	04.09.2023	101	323	Есть
19	Агата	Орлова	ж	06.09.2023	106	181	Нет
20	Владимир	Николаев	м	06.09.2023	101	271	Нет
21	Ростислав	Никифоров	м	07.09.2023	106	199	Есть

Таблица II.1.5: Автомобили

id	id авто	Марка	Модель	Номер	Год выпуска	Тип двигателя
1	101	Renault	Kaptur	K123ДЖ 50	2019	бензиновый
2	102	Renault	Logan	K015ТИ 50	2019	бензиновый
3	103	Skoda	Octavia	K329ЮТ 50	2019	дизельный
4	104	Skoda	Octavia	K841ГМ 50	2018	бензиновый
5	105	Audi	A3	K418ДВ 50	2013	дизельный
6	106	Renault	Kaptur	K641ЛТ 50	2017	бензиновый

Таблица **Операции** является информацией о арендаторах, которые воспользовались услугами каршеринговой компании.

В колонках:

- id — номер записи в таблице;
- имя — имя клиента;
- фамилия — фамилия клиента;
- пол — пол клиента;
- дата аренды — дата, когда клиент арендовал автомобиль;
- id авто — номер автомобиля, который арендовал клиент;
- сумма аренды — итоговая сумма аренды автомобиля клиентом;
- штраф — имеет ли клиент штраф за поездку.

Таблица **Автомобили** является информацией об автомобилях компании.

В колонках:

- id — номер записи в таблице;
- id авто — номер автомобиля, который арендовал клиент;
- марка — марка автомобиля;
- модель — модель автомобиля;
- номер — серийный номер автомобиля;
- год выпуска — год, когда был выпущен автомобиль;
- тип двигателя — тип двигателя автомобиля (бензиновый или дизельный).

Исходя из информации данных таблиц, определите, на сколько больше денег заработала компания на мужчинах, которые арендовали бензиновые автомобили, по сравнению с женщинами, арендовавшими дизельные?

### Решение

Автомобили с бензиновыми двигателями имеют id 101, 102, 104, 106.

Автомобили с дизельными двигателями имеют id 103, 105.

Найдем всех мужчин, которые арендовали автомобили с id 101, 102, 104, 106:

id	Имя	Фамилия	Пол	Дата аренды	id авто	Сумма аренды	Штраф
1	Данил	Смирнов	м	03.08.2023	104	242	Есть
7	Дмитрий	Солоков	м	10.08.2023	101	300	Нет
10	Филипп	Морозов	м	18.08.2023	102	190	Нет
11	Евгений	Волков	м	20.08.2023	101	178	Нет
13	Максим	Лебедев	м	25.08.2023	102	176	Нет
17	Даниил	Казаченко	м	03.09.2023	102	252	Нет
18	Иван	Козлов	м	04.09.2023	101	323	Есть
20	Владимир	Николаев	м	06.09.2023	101	271	Нет
21	Ростислав	Никифоров	м	07.09.2023	106	199	Есть

Суммарно получается 2131 руб. Теперь найдем сколько компания заработала на девушках, арендовавших машины с id 103 и 105.

id	Имя	Фамилия	Пол	Дата аренды	id авто	Сумма аренды	Штраф
4	Анастасия	Васильева	ж	08.08.2023	103	150	Нет
8	Елена	Новикова	ж	12.08.2023	103	258	Есть

Итого выходит 408 руб. А значит компания заработал на мужчинах на  $2131 - 408 = 1723$  руб. больше.

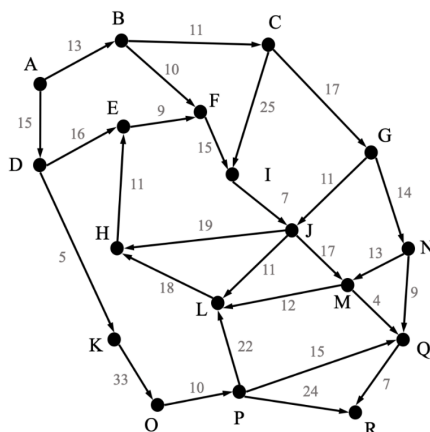
**Ответ:** 1723.

### Задача II.1.3.2. Гонщик (9 баллов)

Темы: теория графов.

### Условие

Даня и Ваня играют в одну известную видеоигру «Нужна скорость». Они прошли ее практически всю, за исключением последней сложной миссии. Им нужно как можно дольше скрываться от преследования на время. После многих безуспешных попыток они решили нарисовать карту гоночной локации, которая приведена на рисунке.

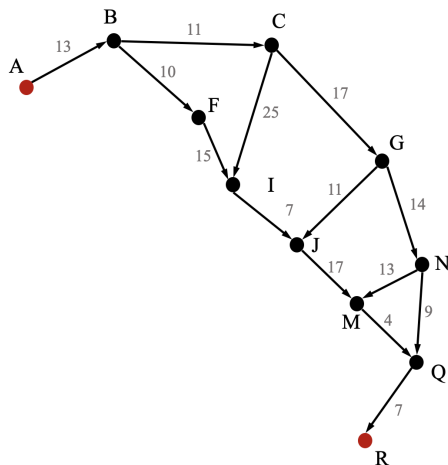


Стартом заезда считается пункт  $A$ , а финишем пункт  $Q$ . Они замерили максимальное время, которое им удастся продержаться на каждом дорожном участке. После замеров Даня и Ваня просят у вас помощи. Найдите максимально возможное время заезда при условии, что через каждый пункт можно проезжать только один раз и двигаться разрешено только в том направлении, куда указана стрелка.

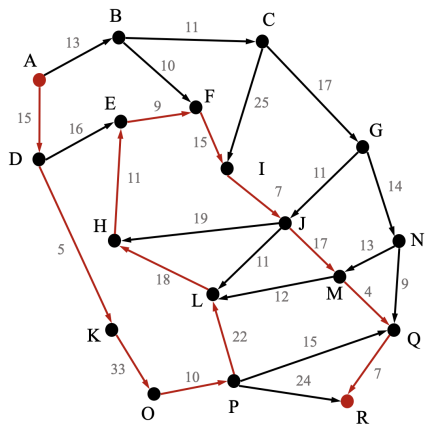
### Решение

Заметим, что в графе присутствуют циклы, поэтому попытаемся их разобрать. Очевидно, что после старта есть два основных направления: либо в пункт  $D$  (направо), либо в пункт  $D$  (вниз).

Если мы идем в пункт  $B$ , то мы никогда не сможем попасть в пункт  $L$  и  $H$ , потому что они вынудят нас пройти через один пункт несколько раз, поэтому картина возможных путей там выглядит очень просто.



Однако если мы идем в пункт D, то мы можем захватить пункт L и H при этом также захватывая и другие пункты из правой части графа.



Применяя обратный алгоритм Дейкстры, сравниваем оба варианта и получаем, что самый долгий путь был на второй картинке, и он составляет 173.

Ответ: 173.

### Задача II.1.3.3. Киновечер (11 баллов)

Темы: кодирование.

### Условие

Недавно Дания и Ваня ходили в кино на показ новой короткометражки «Опенгеймер».

Они, конечно, были впечатлены актерской игрой и сюжетом, но больше всего им стало интересно, какое же максимальное количество цветов используется в картине. Они решили воспользоваться приложением для скачивания фильмов «Толлент». Из него они узнали, что суммарно произведение весит около 17 Гб при разрешении  $1280 \times 720$  и частоте кадров 25 к/с, при этом сама картина длится приблизительно 20 мин, а звук кодировался отдельно и весит 1 Гб памяти.

Из этих данных определите, какое максимальное количество цветов могло использоваться в кадре.

Учтите, что в данной задаче:

- 1 Гб = 1024 Мб;
- 1 Мб = 1024 Кб;
- 1 Кб = 1024 Бита.

### Решение

Первым делом определим общий объем памяти, в который необходимо уложиться для кодирования визуальной составляющей фильма. Если звук занимает 1 Гб, а весь фильм целиком — 17 Гб, то на кодирование картинки остается 16 Гб.

Вес одного любого кадра фильма будет составлять  $1280 \cdot 720 \cdot i$ , где  $i$  — глубина цвета. Видео — это набор картинок, которые показываются с частотой 25 кадров в секунду (по условию) на протяжении 20 мин (также по условию), вес всего видеофайла можно записать как  $V = 1280 \cdot 720 \cdot i \cdot 25 \cdot 20 \cdot 60$ .

Выражаем отсюда неизвестную  $i$ , а вместо  $V$  подставляет найденные 16 Гб, предварительно переведенные в биты:

$$i \leq \frac{16 \cdot 2^{33}}{1280} \cdot 720 \cdot 25 \cdot 20 \cdot 60,$$

$$i \leq 4,971.$$

Очевидно, что глубина цвета быть дробной не может, и округлить в большую сторону ее тоже нельзя, т.к. мы превысим наш размер видео, значит, максимальное количество бит на кодирование цвета, которые мы можем взять, равно 4.

Количество цветов можно легко найти по формуле  $N = i^2$ , откуда следует, что оно равно 16.

**Ответ:** 16.

### Задача II.1.3.4. Кубическая разница (14 баллов)

Темы: системы счисления.

**Условие**

Существует некоторое четырехзначное число  $x = abcd$  в четверичной системе счисления.

Кроме этого, есть его копия, записанная в обратном порядке, назовем ее  $y = dcba$ .

Сколько можно выбрать пар чисел  $x$  и  $y$  так, чтобы модуль их разности являлся кубом какого-либо целого числа?

**Решение**

По условию задачи имеется четверичное число  $x$ , которое можно так и представить  $x = abcd$ , где переменные  $a, b, c, d \in [0; 3]$ , так как являются цифрами четверичного алфавита.

Кроме того имеется число  $y$  — инвертированная запись числа  $x$ , которая равна  $y = dcba$ , где переменные  $a, b, c, d \in [0; 3]$ , так как являются цифрами четверичного алфавита.

Представляя числа в десятичной системе счисления, запишем уравнение, что разность чисел  $x$  и  $y$  равна кубу некоторого числа  $e$ :

$$(a \cdot 4^3 + b \cdot 4^2 + c \cdot 4^1 + d \cdot 4^0) - (d \cdot 4^3 + c \cdot 4^2 + b \cdot 4^1 + a \cdot 4^0) = e^3,$$

$$(64a + 16b + 4c + d) - (64d + 16c + 4b + a) = e^3,$$

$$64a + 16b + 4c + d - 64d - 16c - 4b - a = e^3,$$

$$63a + 12b - 12c - 63d = e^3,$$

$$63(a - d) + 12(b - c) = e^3.$$

Учитывая, что  $a, b, c, d \in [0; 3]$ , так как являются цифрами четверичного алфавита, как можно получить куб в разнице 63 и 12?

Такой вариант всего 1 и это:  $63 - 12 \cdot 3 = 27$  Значит  $a - d = 1$ ,  $b - c = -3$ .

Тогда подходит пара чисел (2031; 1302). И еще одна пара (3032; 2303).

**Ответ:** 2.

**Задача II.1.3.5. Кубическая разница (14 баллов)**

Темы: алгебра логики.

**Условие**

Даны две логической функции:

$$F_1 = (\neg y \vee (y \wedge \neg z) \wedge (y \vee \neg e)) \rightarrow (x \wedge w \vee w \wedge x),$$

$$F_2 = ((\neg x \vee \neg y \vee \neg z) \wedge (x \vee y \wedge z)) \wedge (\neg w \vee (e \wedge w \vee w \wedge \neg e)).$$

Определите, в скольких из всех возможных значений пяти переменных  $x, y, z, w, e$  результаты двух функций будут отличаться друг от друга?

**Решение**

Упростим обе функции.

Функцию  $F_1 = (\neg y \vee (y \wedge \neg z) \wedge (y \vee \neg e)) \rightarrow (x \wedge w \vee \neg w \wedge x)(x \wedge w \vee \neg w \wedge x)$  можно упростить по свойствам дистрибутивности:  $(x \wedge (w \vee \neg w))$  и  $w \vee \neg w$  всегда будет истинно:  $x \wedge 1 = x$ .

Получим

$$F_1 = (\neg y \vee (y \wedge \neg z) \wedge (y \vee \neg e)) \rightarrow x.$$

$(y \wedge \neg z) \wedge (y \vee \neg e)$  можно расширить по свойствам дистрибутивности, приняв, что  $(y \wedge \neg z) = a$ , тогда получим:

$$a \wedge (y \vee \neg e) = (y \wedge a) \vee (\neg e \wedge a) = (y \wedge (y \wedge \neg z)) \vee (\neg e \wedge (y \wedge \neg z)).$$

Передвинем в левой части скобки по свойству ассоциативности:

$$((y \wedge y) \wedge \neg z) \vee (\neg e \wedge (y \wedge \neg z)).$$

Упростим  $y \wedge y$  по свойству идемпотентности:  $(y \wedge \neg z) \vee (\neg e \wedge (y \wedge \neg z))$ .

Вернув  $a = (y \wedge \neg z)$ , упростим выражение по свойству поглощения:

$$a \vee (\neg e \wedge a) = a = (y \wedge \neg z),$$

$$F_1 = (\neg y \vee (y \wedge \neg z)) \rightarrow x.$$

В левой части выражения разложим выражение по свойству дистрибутивности:

$$\neg y \vee (y \wedge \neg z) = (\neg y \vee y) \wedge (\neg y \vee \neg z);$$

$(\neg y \vee y)$  всегда будет истинно:

$$1 \wedge (\neg y \vee \neg z) = \neg y \vee \neg z.$$

$$F_1 = (\neg y \vee \neg z) \rightarrow x.$$

Разложим импликацию:

$$(\neg y \vee \neg z) \rightarrow x = \neg(\neg y \vee \neg z) \vee x.$$

Применим на скобку закон Де Моргана:  $y \wedge z \vee x$ .

$$F_1 = y \wedge z \vee x,$$

$$F_2 = ((\neg x \vee \neg y \vee \neg z) \wedge (x \vee y \wedge z)) \wedge (\neg w \vee (e \wedge w \vee w \wedge \neg e)).$$

$(e \wedge w \vee w \wedge \neg e)$  можно упростить по свойствам дистрибутивности:

$$(w \wedge (\neg e \vee e)); \neg e \vee e \text{ всегда истина: } w \wedge 1 = w.$$

$$F_2 = ((\neg x \vee \neg y \vee \neg z) \wedge (x \vee y \wedge z)) \wedge (\neg w \vee w) \neg w \vee w \text{ всегда истина: } 1.$$

$$F_2 = ((\neg x \vee \neg y \vee \neg z) \wedge (x \vee y \wedge z)).$$

Выражения упрощены до трех переменных, следовательно, две переменные не влияют на результат.

Также если менять значения этих переменных, то ответ, зависмый от трех других, будет повторяться.

Следовательно, ответы будут повторяться в  $2^2$  (выборка вариантов переменной (0, 1) в степени количества переменных) = 4 раза.

Составим таблицу истинности.

$x$	$y$	$z$	$F_1$	$F_2$
0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	1	0	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	1	1
1	0	1	1	1
1	1	0	1	1
1	1	1	1	0

Результат функций различается только в одном случае.

Так как у нас есть переменные, не влияющие на результат, но повторяющиеся значения функций четыре раза, умножим количество повторений на количество различающихся значений функций:  $1 \cdot 4 = 4$ .

**Ответ:** 4.

### **Задача II.1.3.6. Трасса (14 баллов)**

*Темы: программирование.*

#### **Условие**

В новом современном городе строят новую современную скоростную трассу длиной  $s$  м. Ее необходимо оборудовать так, чтобы она могла выдерживать большое количество машин и чтобы она не создавала больших пробок и аварийных ситуаций. Поэтому было принято решение посмотреть на другой, аналогичный город с такой же успешной трассой и запросить с камер записи о том, сколько машин там фиксируется за день.

Всего с камер было получено  $n$  машин, и по каждой была информация во сколько она заезжает на трассу и с какой скоростью ехала в м/с. После получения этой информации было решено узнать максимальную нагрузку в какую-то из секунд на трассе. От этого значения они и хотят понимать, какую нагрузку должна выдерживать трасса. Вы, как опытный программист и сотрудник ИТ-отдела города, взялись за эту задачу.

Напишите программу, которая по этим данным опередит максимальную нагрузку на трассу в какую-то из секунд.

**Формат входных данных**

В первой строке входных данных записано два целых числа  $n$  ( $1 \leq n \leq 10^5$ ) и  $s$  ( $1 \leq s \leq 10^6$ ) — количество зафиксированных машин и длина трассы. В следующих  $n$  строках по два целых числа  $t$  ( $1 \leq t \leq 10^6$ ) и  $v$  ( $1 \leq v \leq s$ ) — время заезда на трассу и скорость на трассе в м/с соответственно.

Гарантируется, что длина трассы кратна каждой скорости во входных данных.

**Формат выходных данных**

Выведите одно число — максимальное количество машин на трассе в некоторую секунду.

**Методика проверки**

Первая машина заедет на третьей секунде и выйдет на 5: [3, 5).

Вторая машина заедет на второй секунде и выйдет на 8: [2, 8).

Третья машина заедет на первой секунде и выйдет на 13: [1, 13).

Четвертая машина заедет на пятой секунде и выйдет на 6: [5, 6).

Итого максимальное количество машин будет замечено на четвертой секунде. Одновременно на трассе будет первая, вторая и третья машины.

**Примеры***Пример №1*

Стандартный ввод
4 60
3 30
2 10
1 5
5 60
Стандартный вывод
3

**Решение**

Определим два события, которые у нас возможны в задаче:

- машина заехала на трассу в определенный момент времени, обозначим это как +1 машина;
- машина выехала с трассы в определенный момент времени, обозначим это как -1 машина.

Каждое событие мы можем без особых проблем сохранять в массив и после работать с ним.

Первое событие мы можем сохранить в массив как пару (время заезда, 1), где время заезда — параметр из входных данных, а 1 — это аналог +1, дающий нам сигнал, что на трассе появилась новая машина.

Второе событие мы можем сохранить в массив как пару (время выезда, -1), где время выезда — это сумма времени заезда на трассу и длины трассы, поделенной на скорость машины, а -1 — сигнал о том, что машина выехала с трассы (-1 машина).

Отсортируем массив по первому параметру пар чисел: временам заезда и выезда с трассы. Тем самым мы получим последовательность действий на трассе. Запускаем цикл по массиву и, если действие равняется заезду машины, увеличиваем количество машин на трассе, в ином случае — уменьшаем.

Так как у нас действия помечены как 1 (+1) и -1, можем в количество машин добавлять именно их. Заведем отдельно переменную, в которой будем хранить максимальное количество машин, которое было за все время на трассе. Его мы будем обновлять после каждого действия следующим способом: если количество машин на трассе в определенный момент времени больше, чем записано в переменной, то обновляем ее значение.

По окончании цикла выводим максимальное количество машин, которое было зафиксировано.

### Пример программы-решения

Ниже представлено решение на языке Python 3.

```

1 n, s = map(int, input().split())
2 arr = []
3 for i in range(n):
4     time_in, speed = map(int, input().split())
5     arr.append((time_in, 1))
6     arr.append((time_in + s // speed, -1))
7 arr.sort()
8 max_cars_per_sec = 0
9 cur_cars_per_sec = 0
10 for i in range(2 * n):
11     cur_cars_per_sec += arr[i][1]
12     max_cars_per_sec = max(max_cars_per_sec, cur_cars_per_sec)
13 print(max_cars_per_sec)

```

### Задача II.1.3.7. Игра +1 (14 баллов)

Темы: программирование.

#### Условие

Игра +1 — это современная, набирающая популярность игра в просторах интернета. Она увлекает всех своей простотой и желанием добиваться высоких результатов за минимальное количество действий.

Давайте немного познакомимся с ее сутью. Нам выложено некое поле размером  $1 \times n$  клеток. В каждой клетке записано некоторое число.

Если на поле есть два одинаковых числа, то их можно объединить. Операция объединения удаляет два числа, над которыми была произведена операция, а также создает новое число (на одной из освободившейся клетке), которое на единицу больше удаленных.

Например, если была объединена пара двоек, то они будут удалены, а новым числом будет 3.

Игра считается законченной, если было получено некоторое загаданное число  $m$  или на поле больше нет одинаковых чисел.

Как мы обсудили ранее, игроки хотят побеждать за минимальное количество действий. Так как единственное действие, которое существует — это объединение, то, соответственно, побеждать за минимальное количество объединений. Один из игроков решил считать и попросил вас написать ему программу, которая, исходя из поля, будет определять, сколько минимально чисел с первоначального поля надо объединить между собой, чтобы закончить игру, или выведите  $-1$ , если невозможно собрать нужное число.

В ответе не учитывайте объединения между новыми числами, которые получаются после объединения.

### ***Формат входных данных***

В первой строке входных данных записано два целых числа  $n$  ( $1 \leq n \leq 10^6$ ) и  $m$  ( $2 \leq m \leq 100$ ) — количество чисел и цель, которую надо получить.

Во второй строке записано  $n$  целых чисел  $a_i$  ( $1 \leq a_i < 100$ ,  $\max(a) < m$ ) — числа на поле.

### ***Формат выходных данных***

Выведите одно число — минимальное количество чисел из первоначального поля, которое надо объединить для получения нужного результата.

### ***Примеры***

#### *Пример №1*

<b>Стандартный ввод</b>
6 4
1 2 3 1 1 2
<b>Стандартный вывод</b>
3

### ***Пояснение к примеру***

Для получения результата 4 достаточно выбрать  $[2, 3, 2][2, 3, 2]$ :

- четверки суммируются как одинаковая пара чисел, получая новое число:  $[3, 3][3, 3]$ ;

- восьмерки суммируются как одинаковая пара чисел, получая новое число:  $[4][4]$ .

### Решение

Создадим список/словарь, в котором подсчитаем количество каждого числа, которые нам даны на вход.

Подсчет будем ввести следующим образом: в качестве индекса/ключа будем использовать само число, а в качестве значения — сколько раз оно встретилось.

После этого заведем переменную, в которой будем хранить число, которое мы хотим достичь на определенном шагу, а также необходимое количество этих чисел.

В начальный момент времени у нас значение этой переменной равно конечному результату, который дан во входных данных, а необходимое количество — 1 (само число).

Запускаем цикл, который будет работать до тех пор, пока не соберем все числа, либо пока число, которое мы хотим достичь, не дойдет до нуля (несуществующего числа).

На каждом шагу проверяем через список/словарь, есть ли у нас необходимое количество выбранного числа. Если их достаточно, добавляем недостающее количество чисел и указываем, что собрали все числа (указывает, что нужно 0 чисел). В ином случае отнимаем часть, которую мы можем покрыть, и оставшееся необходимое количество чисел умножаем на два (так как чтобы собрать число  $x$ , необходимо два числа  $x - 1$ , описано подробнее в условии), а также меняем нынешнее число, которые нам нужно собрать, уменьшая его значение на 1.

Помимо этого мы ведем на каждом шагу подсчет того, сколько чисел мы взяли, для этого заранее заведем переменную.

После окончания работы циклы проверяем: если остались числа, которые мы не смогли набрать, выводим  $-1$ , в ином случае выводим переменную, в которой мы ввели подсчет, сколько чисел взято на каждом шагу.

### Пример программы-решения

Ниже представлено решение на языке Python 3.

```

1 n, goal = map(int, input().split())
2 arr = list(map(int, input().split()))
3 counted = [0] * 101
4 for value in arr:
5     counted[value] += 1
6 current_need = 1
7 current_goal = goal
8 res = 0
9 while current_need > 0 and current_goal > 0:
10     res += min(current_need, counted[current_goal])
11     current_need = max(0, current_need - counted[current_goal]) * 2
12     current_goal -= 1
13 if current_need > 0:
14     print(-1)

```

```
15 else:  
16     print(res)
```

# Предметный тур. Физика

## Первая волна. Задачи 8–9 класса

### Задача II.2.1.1. Конвейер (13 баллов)

Темы: кинематика.

#### Условие

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

#### Решение

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

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

Откуда простыми алгебраическими преобразованиями получим:

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

Погрешность 0,02 м/с.

#### Диапазоны

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

Ответ:  $u = v + \frac{L}{t}$ .

### Задача II.2.1.2. Выжигатель (17 баллов)

Темы: плотность, тепловые явления.

**Условие**

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

**Решение**

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

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

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

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

Погрешность 0, 2 Дж.

**Диапазоны**

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

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

**Задача II.2.1.3. Катушка (20 баллов)**

Темы: закон Ома.

**Условие**

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

**Решение**

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

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

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

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

Погрешность 1.

**Диапазоны**

Величина	min	max	Шаг
$D$ , см	3	5	0,1
$S$ , мм <sup>2</sup>	0,1	0,2	0,02
$N$	100	250	10
$\Delta R$ , Ом	3	5	0,5

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

**Задача II.2.1.4. Болт (20 баллов)**

*Темы: золотое правило механики, работа.*

**Условие**

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

**Решение**

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

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

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

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

Погрешность 1 Дж.

### Диапазоны

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

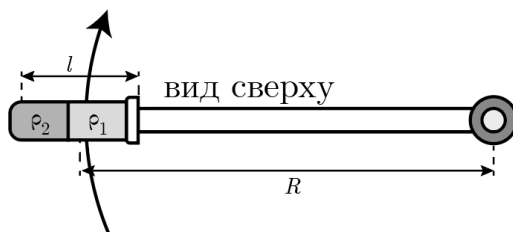
Ответ:  $A = \frac{F\Delta l}{2}$ .

### Задача II.2.1.5. Центрифуга (25 баллов)

Темы: центростремительное ускорение, гидростатическое давление.

#### Условие

Для разделения жидких смесей в лаборатории используется центрифуга, представляющая собой горизонтальное колесо радиуса  $R$ , на ободе которого закрепляются пробирки с жидкостью, ориентированные дном строго от центра колеса. Найдите давление, оказываемое на дно пробирки длиной  $l$  при ее вращении в центрифуге, если пробирка совершает один оборот за время  $T$  и ровно на половину своего объема пробирка заполнена составом с плотностью  $\rho_1$  и ровно на половину — другим составом с плотностью  $\rho_2$ . Считайте  $R \gg l$ , а влияние силы тяжести пренебрежимо малым. Ответ дайте в кПа, округлив до целого. Длина окружности в  $2\pi$  раз больше ее радиуса.



**Решение**

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

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

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

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

Погрешность 3 кПа.

**Диапазоны**

Величина	min	max	Шаг
$\nu$ , об/с	5	7	0,5
$R$ , см	90	120	5
$l$ , см	6	8	1
$\rho_1$ , кг/м <sup>2</sup>	800	980	20
$\rho_2$ , кг/м <sup>2</sup>	1020	1200	20

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

**Задача II.2.1.6. (5 баллов)**

Темы: физики России.

**Условие**

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

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

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

Ответ: 2.

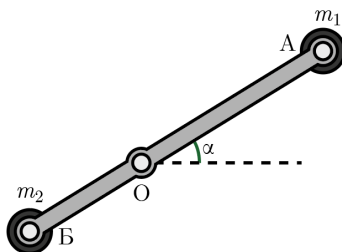
## Первая волна. Задачи 10–11 класса

### Задача II.2.2.1. Противовес (15 баллов)

Темы: кинематика, импульс.

#### Условие

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



#### Решение

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

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

Отсюда окончательно получим:

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

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

### Диапазоны

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

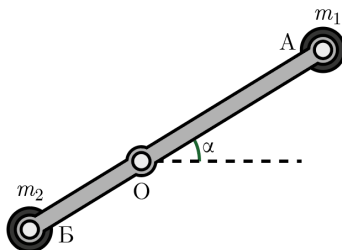
Ответ:  $p_2 = p_1 \frac{m_2}{2m_1}$ .

### Задача II.2.2.2. Качели (20 баллов)

Темы: законы сохранения.

#### Условие

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



#### Решение

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

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

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

Из этого уравнения можно непосредственно выразить скорость  $v_1$ :

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

Погрешность 0, 2 км/ч.

### Диапазоны

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

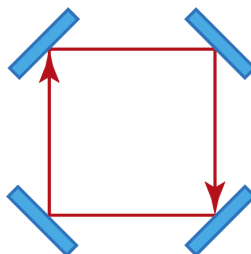
Ответ:  $v_1 = \sqrt{\frac{8gl(2m_1 - m_2)(1 + \sin \alpha)}{4m_1 + m_2}}.$

### Задача II.2.2.3. Резонатор (20 баллов)

Темы: оптика.

#### Условие

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



#### Решение

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

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

Погрешность 1%.

### Диапазоны

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

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

### Задача II.2.2.4. Спидометр (20 баллов)

Темы: кинематика.

#### Условие

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

#### Решение

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

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

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

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

а его мгновенная скорость:

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

Погрешность 0,1 км/ч.

### Диапазоны

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

Ответ:  $v = \frac{3v_1 - v_2}{2}$ .

### Задача II.2.2.5. Разрядка (20 баллов)

Темы: электростатика.

#### Условие

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

#### Решение

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

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

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

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

Погрешность 1 нН.

### Диапазоны

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

Ответ:  $F = \frac{5}{4} F_0$ .

### Задача II.2.2.6. (5 баллов)

Темы: физики России.

#### Условие

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

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

Ответ: 2.

## Вторая волна. Задачи 8–9 класса

### Задача II.2.3.1. Катапульта (10 баллов)

Темы: кинематика.

#### Условие

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

#### Решение

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

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

Погрешность 0,1 м.

### Диапазоны

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

Ответ:  $l = \frac{(v + u)^2}{2a}$ .

### Задача II.2.3.2. Отвердевание (15 баллов)

Темы: плотность.

#### Условие

Некоторый полимер был получен в жидком состоянии, в котором он целиком занимал лабораторную чашку объемом  $V_0$  и имел плотность  $\rho_0$ . Затем он был нагрет в специальной печи, в результате чего из состава испарились все летучие фракции общей массой  $\Delta m$ , а оставшееся вещество застыло, образовав твердый сгусток с плотностью  $\rho$ . Определите объем, занимаемый твердым веществом в чашке, если известно, что пустоты в процессе застывания не образуются и никакие внешние соединения не включаются в полимер. Ответ дайте в см<sup>3</sup>, округлив до целого.

#### Решение

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

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

Погрешность 5 см<sup>3</sup>.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$V_0$ , см <sup>3</sup>	1200	1500	100
$\rho_0$ , г/см <sup>3</sup>	0,9	1,1	0,02
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1,4	1,7	0,02
$\Delta m$ , г	100	150	10

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

### Задача II.2.3.3. Три образца (20 баллов)

Темы: электростатика.

#### Условие

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

#### Решение

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

Тогда после первого соприкосновения

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

после второго

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

а после третьего

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

Решая эту систему уравнений, легко получим:

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

Погрешность 1 нКл.

#### Диапазоны

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

Ответ:  $q_B = 4q_2 - 3q_3$ .

### Задача II.2.3.4. Топливо (25 баллов)

Темы: тепловые явления.

#### Условие

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

#### Решение

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

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

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

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

откуда окончательно выразим ответ:

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

Погрешность 0,1%.

#### Диапазоны

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

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

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

### Задача II.2.3.5. Геккон (25 баллов)

Темы: давление, сила трения.

#### Условие

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

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

Ускорение свободного падения принять равным  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>. Ответ дайте в кг, округлив до десятых.

#### Решение

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

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

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

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

Таким образом, окончательно

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

Погрешность 0,2 кг.

#### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$S$ , см <sup>2</sup>	10	35	2, 5
$\mu$	0, 12	0, 25	0, 01
$p$ , кПа	10	40	5
$n$	6	12	2

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

### Задача II.2.3.6. (5 баллов)

Темы: физики России.

**Условие**

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

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

Ответ: 2.

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

Темы: закон Ома, сопротивление.

**Условие**

На мобильной исследовательской станции используются стандартные резервные кабели для большинства электроприборов, имеющие площадь поперечного сечения  $s$  и длину  $l$ . В документации кабеля указано, что при подключении к стандартному лабораторному источнику постоянного тока  $I$  падение напряжения на кабеле составляет  $U$ . Определите удельное сопротивление материала кабеля. Ответ дайте в Ом · мм<sup>2</sup>/м, округлив до тысячных.

**Решение**

Сопротивления  $r$  кабеля питания вычисляются по формуле:

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

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

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

Отсюда окончательно получим:

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

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

### Диапазоны

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

Ответ:  $\rho = \frac{U_s}{Il}$ .

### Задача II.2.4.2. Мороз (15 баллов)

Темы: закон Джоуля – Ленца.

#### Условие

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

#### Решение

Сопротивления  $R$  нагревателя и  $r$  кабеля питания вычисляются по формулам:

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

где  $\rho$  – (одинаковое в обоих случаях) удельное сопротивление. Их отношение равно

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

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

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

Таким образом, окончательно

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

Погрешность 0,05.

### Диапазоны

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

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

### Задача II.2.4.3. Стопка (20 баллов)

Темы: конденсаторы.

#### Условие

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

#### Решение

Емкость плоского конденсатора задается формулой:

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

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

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

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

получим окончательно

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

Погрешность 2 пФ.

**Диапазоны**

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

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

**Задача II.2.4.4. Два колеса (23 баллов)**

Темы: кинематика.

**Условие**

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

**Решение**

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

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

Преобразуя это выражение, получим окончательно:

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

Погрешность 0,2 мм.

**Диапазоны**

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

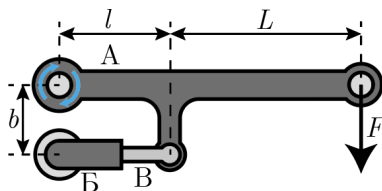
Ответ:  $\Delta r = \frac{2rl}{2R+l}$ . С учетом порядков  $\Delta r = \frac{2rl \cdot [10^4]}{2R \cdot [10^2] + l}$ .

### Задача II.2.4.5. Рычаг (25 баллов)

Темы: статика, давление газа.

#### Условие

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



#### Решение

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

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

Отсюда

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

Погрешность 0,2 МПа.

#### Диапазоны

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

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

**Задача II.2.4.6. (5 баллов)**

Темы: физики России.

**Условие**

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

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

Ответ: 2.

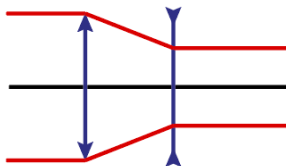
**Третья волна. Задачи 8–9 класса****Задача II.2.5.1. Большой глаз (15 баллов)**

Темы: геометрическая оптика.

**Условие**

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

Напоминание: оптической силой называется величина, обратная фокусному расстоянию линзы.



### Решение

Изобразим описанную в условиях задачи оптическую схему. Из рисунка несложно видеть, что для описанного хода лучей фокусы двух линз должны совпадать. Но по определению оптической силы, фокусное расстояние линзы равно

$$F = \frac{1}{D}.$$

Подставляя в эту формулу  $D_1, D_2$  и находя разницу между соответствующими расстояниями (верно учитывая знаки), получим:

$$l = \frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2}.$$

Погрешность 0,2 см.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$D_1$ , дптр	3	5	0,2
$D_2$ , дптр	-10	-8	0,2

Ответ:  $l = \frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2}$ . С учетом порядков  $l = \left( \frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} \right) [ \cdot 10^2 ]$ .

### Задача II.2.5.2. Атмосфера (15 баллов)

Темы: давление газа, гидростатика.

#### Условие

Оцените массу атмосферы, окружающей планету земного типа радиусом  $R$ , если ускорение свободного падения на ее поверхности равно  $g$ , а атмосферное давление —  $p_0$ . Площадь сферы вычисляется по формуле  $S = 4\pi R^2$ . Ответ дайте в квинтлн (квинтиллионах) ( $10^{18}$ ) кг, округлив до десятых.

**Решение**

Давление — это отношение силы к площади, перпендикулярно которой эта сила действует. В данном случае сила — общий вес атмосферы:

$$p_0 = \frac{mg}{S} = \frac{mg}{4\pi R^2}.$$

Для любой планеты земного типа толщина атмосферы пренебрежимо мала в сравнении с радиусом планеты, поэтому изменением ускорения свободного падения с высотой можно пренебречь. Получим окончательно

$$m = \frac{4\pi R^2 p_0}{g}.$$

Погрешность  $0,1 \cdot 10^{15}$  т.

**Диапазоны**

Величина	min	max	Шаг
$p_0$ , кПа	12	24	1
$g$ , м/с <sup>2</sup>	2	3,5	0,1
$R$ , км	3600	4600	100

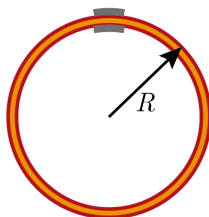
**Ответ:**  $m = \frac{4\pi R^2 p_0}{g}$ . С учетом порядков  $m = \frac{4\pi R^2 p_0}{g} [ \cdot 10^{-9} ]$ .

**Задача II.2.5.3. Магниты (20 баллов)**

*Темы: центростремительное ускорение, динамика.*

**Условие**

К тонкому ободу медного колеса радиусом  $R$ , расположенного в горизонтальной плоскости, снаружи и изнутри прикреплены два одинаковых маленьких магнитных датчика массой  $m$  каждый. Датчики держатся только за счет притяжения друг к другу. Колесо начинают постепенно раскручивать вокруг неподвижной оси, и в момент, когда период его вращения достигает величины  $T$ , внешний датчик отлетает от колеса. Определите силу давления внутреннего датчика на обод колеса непосредственно после этого. Ответ дайте в Н, округлив до целого. Длина окружности в  $2\pi$  раз больше ее радиуса.



**Решение**

Внешний датчик отделяется в момент, когда сила  $F$  взаимодействия между магнитами оказывается недостаточна для того, чтобы создавать центростремительное ускорение  $a = v^2/R$ , где скорость  $v$  может быть найдена как отношение длины окружности к периоду обращения ( $v = 2\pi R/T$ ):

$$F = ma = \frac{mv^2}{R} = \frac{4\pi^2}{T^2}mR.$$

Поскольку размеры датчиков и толщина колеса считаются пренебрежимо малыми, внутренний датчик продолжает двигаться с тем же ускорением, а значит, давить на колесо с той же силой  $F$ :

$$F = \frac{4\pi^2}{T^2}mR.$$

Погрешность 1 Н.

**Диапазоны**

Величина	min	max	Шаг
$R$ , см	36	45	3
$m$ , г	200	300	20
$T$ , с	0,3	0,5	0,05

**Ответ:**  $F = \frac{4\pi^2}{T^2}mR$ . С учетом порядков  $F = \frac{4\pi^2}{T^2}mR \cdot 10^{-5}$ .

**Задача II.2.5.4. Пот (20 баллов)**

*Темы: тепловые явления, кинематика жидкости.*

**Условие**

Для охлаждения антропоморфного робота разрабатывается система, воспроизводящая потоотделение человека. По тонким капиллярам с площадью поперечного сечения  $S$  на поверхность робота поступает вода, которая затем растекается по «коже» робота и постепенно испаряется. Определите, какой должна быть постоянная скорость  $v$  течения воды в капилляре, если один такой капилляр должен обеспечивать отведение тепловой мощности  $N$ . Считайте, что вся вода успевает испариться. Удельная теплота парообразования воды  $L = 2300$  кДж/кг, ее плотность  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. Ответ дайте в мм/с, округлив до целого.

**Решение**

Рассмотрим произвольный промежуток времени  $t$ . Согласно условиям, теплота  $Q$ , которую необходимо отвести от робота за это время, равна  $Q = Nt$ . Она может

быть определена через удельную теплоту парообразования и плотность воды как

$$Nt = Q = mL = \rho VL,$$

где объем испаренной жидкости  $V$  равен произведению расстояния  $d$ , которое прошла вода в капилляре на площадь его поперечного сечения:

$$V = dS = vtS.$$

Сопоставляя эти уравнения, получим

$$Nt = \rho vtSL,$$

откуда окончательно

$$v = \frac{N}{\rho SL}.$$

Погрешность 1 мм/с.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$N$ , Вт	10	20	1
$S$ , мм <sup>2</sup>	0,1	0,2	0,01

Ответ:  $v = \frac{N}{\rho SL}$ . С учетом порядков  $v = \frac{N}{\rho SL} [ \cdot 10^6 ]$ .

### Задача II.2.5.5. Вагончик (25 баллов)

Темы: закон Ома, кинематика.

#### Условие

Автоматизированный вагончик движется по двум длинным рельсам, по одному из которых на него подается, а с другого — снимается электрический ток. Каждый метр одного рельса имеет сопротивление  $r$ , а двигатели вагончика — полное сопротивление  $R$ . Источник питания подает на рельсы напряжение  $U_0$ , а для поддержания нормальной работы двигателей напряжение на них должно быть не ниже  $U$ . За какое время, стартовав от источника и двигаясь с постоянной скоростью  $v$ , вагончик сможет уехать достаточно далеко, чтобы двигатели перестали работать? Ответ дайте в с, округлив до целых.

#### Решение

Общее сопротивление цепи, в которую включены двигатели вагончика, равно

$$R_0 = 2r \frac{L}{l} + R,$$

где  $L$  — расстояние до источника,  $l = 1$  м. Сила тока в цепи  $I = U_0/R_0$ , а напряжение на двигателе  $U_d = IR$  (согласно закону Ома). Подставляя  $U_d = U$ ,  $L = vt$ , получим:

$$U = U_0 \frac{R}{R_0} = U_0 \frac{R}{2rvt/l + R}.$$

Решая это уравнение относительно  $t$ , получим окончательный ответ:

$$t = \frac{R(U_0 - U)}{2rvU} \cdot 1 \text{ м.}$$

Погрешность 1 мин.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$R$ , Ом	400	640	40
$r$ , мОм	400	640	40
$U$ , В	200	220	5
$U_0$ , В	320	360	5
$v$ , м/с	6	8	0,5

Ответ:  $t = \frac{R(U_0 - U)}{2rvU} \cdot 1 \text{ м.}$  С учетом порядков  $t = \frac{R(U_0 - U)}{2rvU} \cdot [10^3]$ .

### Задача II.2.5.6. (5 баллов)

Темы: физики России.

#### Условие

Вектор, описывающий плотность потока энергии в волнах, в англоязычной традиции носит фамилию английского физика, который в 1884 году вывел выражения для данного вектора в случае электромагнитных волн. Десятью годами ранее русский физик и философ вывел аналогичные уравнения для упругих волн, а потому в русской традиции вектор носит и его имя. Помимо выдающихся успехов в теории упругости, он сделал множество значимых открытий в оптике, а также выдвинул гипотезы о качественно правильном характере связи между массой и энергией, позже развитые в знаменитую формулу Эйнштейна  $E = mc^2$ . Выберите из приведенного списка выдающихся физиков имя этого русского ученого.

1. Владимир Александрович Фок.
2. Николай Алексеевич Умов.
3. Михаил Васильевич Остроградский.
4. Роберт Эмильевич Ленц.
5. Петр Николаевич Лебедев.
6. Александр Александрович Фридман.
7. Анатолий Алексеевич Логунов.
8. Рем Викторович Хохлов.

Ответ: 2.

## Третья волна. Задачи 10–11 класса

### Задача II.2.6.1. Поглотитель (15 баллов)

Темы: тепловые явления, радиоактивность.

#### Условие

Быстро движущиеся нейтроны, образующиеся при делении атомных ядер, взаимодействуя с молекулами воды, теряют энергию до значений, соответствующих энергии теплового движения, которая, как правило, много меньше энергии ядерного распада. Оцените, какое число нейтронов, движущихся со скоростью  $v$ , должно потерять свою энергию в кювете с водой в виде прямоугольного параллелепипеда со сторонами  $a, b, d$ , чтобы вода в этой кювете нагрелась на  $\Delta t = 1^\circ\text{C}$ . Удельная теплоемкость воды  $c = 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ , ее плотность  $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Масса нейтрона  $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ . Ответ дайте в квдрлн (квадриллионах) ( $10^{15}$ ) штук, округлив до целого.

#### Решение

Один нейтрон обладает кинетической энергией  $K = mv^2/2$ . Поскольку эта энергия на несколько порядков величины выше характерной энергии теплового движения, которую можно оценить как  $kT \approx 4 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$  для комнатной температуры, можно считать, что вся его энергия передается воде. Для нагрева воды на  $\Delta t$  требуется энергия, равная

$$Q = cm\Delta t = c\rho abd\Delta t.$$

Приравнявая ее  $nK$ , получим ответ:

$$n = 2 \frac{c\rho abd\Delta t}{mv^2}.$$

Погрешность 3 квдрлн.

#### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$v$ , км/с	10 000	20 000	1000
$a$ , см	40	60	5
$b$ , см	10	16	2
$d$ , см	10	16	2

Ответ:  $n = 2 \frac{c\rho abd\Delta t}{mv^2}$ . С учетом порядков  $n = 2 \frac{c\rho abd\Delta t}{mv^2} [\cdot 10^{-24}]$ .

### Задача II.2.6.2. Дрейф (18 баллов)

Темы: электрический ток, МКТ.

**Условие**

В некотором полупроводнике концентрация подвижных электронов равна  $n$ . Какой должна быть дрейфовая (средняя) скорость электронов в элементе с площадью поперечного сечения  $S$ , изготовленном из этого полупроводника, чтобы сила электрического тока в данном сечении была равна  $I$ ? Модуль заряда электрона  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. Ответ дайте в см/с, округлив до целого.

**Решение**

Рассмотрим произвольный отрезок времени  $t$ . При силе тока  $I$  за это время через сечение проводника должен пройти заряд  $q = It$ . Этот заряд равен произведению числа  $N$  пересекающих сечение электронов на заряд одного из них  $e$ . В то же время при скорости дрейфа  $v$  в среднем за время  $t$  электроны проходят расстояние  $l = vt$ . Это значит, что через сечение проходят электроны, содержащиеся в объеме  $V = lS = vtS$ . Из определения концентрации следует, что их общее число  $N = nV$ . Совмещая все эти выражения, получим

$$It = q = enV = envtS,$$

откуда легко выражается ответ:

$$v = \frac{I}{Sne}.$$

Погрешность 2 см/с.

**Диапазоны**

Величина	min	max	Шаг
$n, 10^{18} \text{ м}^{-3}$	6	9	1
$S, \text{ мм}^2$	2, 4	3	0, 1
$I, \text{ мкА}$	1, 5	2, 5	0, 1

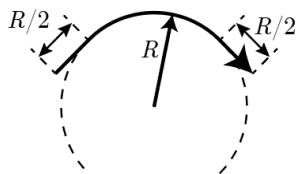
**Ответ:**  $v = \frac{I}{Sne}$ . С учетом порядков  $v = \frac{I}{Sne} [-10^{-16}]$ .

**Задача II.2.6.3. Выраз (20 баллов)**

Темы: кинематика.

**Условие**

Квадрокоптер может двигаться по любой траектории с условием, что его скорость ни в одной точке этой траектории не превышает  $v$ , а его ускорение не превышает  $a$  (при этом направления скорости и ускорения не имеют значения). За какое минимальное время он сможет пройти по траектории, изображенной на рисунке, состоящей из двух прямолинейных участков и четверти окружности радиуса  $R$ , если в начальной и в конечной точках коптер должен иметь строго нулевую скорость? Ответ дайте в с, округлив до десятых.



### Решение

Общая длина траектории  $(4 + \pi/2)R < 6R$ . Однако, даже двигаясь все время с набором скорости на расстоянии  $6R$  с ускорением  $a$ , строго сонаправленным со скоростью, коптер успел бы разогнаться только до

$$v_1 = \sqrt{3aR}.$$

Поскольку эта скорость меньше  $v$ , ограничения на максимальную скорость в задаче на самом деле несущественны. В то же время ограничения на скорость накладывает центростремительное ускорение, с которым коптер проходит изогнутый участок: поскольку оно не должно превышать  $a$ , скорость на повороте не может быть выше  $v_1 = \sqrt{aR}$ . Но из формулы

$$\frac{v_1^2 - v_0^2}{2} = al = \frac{aR}{2}$$

можно видеть, что  $v_1$  в точности совпадает со скоростью, которую успевает набрать квадрокоптер на первом прямолинейном и сбросить на втором прямолинейном участках. Таким образом, он должен двигаться равноускоренно на двух участках длиной  $R/2$ , каждый из которых отнимет время

$$t_1 = \frac{v_1}{a} = \sqrt{\frac{R}{a}}$$

и равномерно на повороте, на что уйдет время

$$t_2 = \frac{\pi R}{2v_1} = \frac{\pi R}{2\sqrt{aR}} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{R}{a}}$$

В общей сложности, подобный полет займет время  $t_2 + 2t_1$ :

$$t = \sqrt{\frac{R}{a}} \left( 2 + \frac{\pi}{2} \right).$$

Погрешность 0,2 с.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$v$ , м/с	20	40	2
$a$ , м/с <sup>2</sup>	3	4	0,2
$R$ , м	15	20	1

Ответ:  $t = \sqrt{\frac{R}{a}} \left( 2 + \frac{\pi}{2} \right)$ .

### Задача II.2.6.4. Звездная величина (20 баллов)

Темы: фотометрия, геометрическая оптика.

#### Условие

Для получения качественного изображения тусклых звезд важно собрать в телескоп максимально возможную долю испущенного такой звездой излучения, что требует больших размеров основного зеркала или линзы телескопа. Яркость звезды в астрономии принято измерять в единицах видимой звездной величины (ВЗВ), увеличение ВЗВ на 1 означает уменьшение световой энергии, испускаемой звездой, в  $k = \sqrt[5]{100}$  раз. При помощи телескопа-рефрактора с площадью главного зеркала  $s$  получено качественное изображение некоторой звезды. Найдите площадь  $S$  главного зеркала второго телескопа, позволяющего получить в таком же качестве изображение звезды, ВЗВ которой больше на  $n$  единиц. Ответ дайте в  $\text{см}^2$ , округлив до целого.

#### Решение

Полная мощность светового потока, попадающего в объектив телескопа, определяется как произведение площади  $S$  этого объектива на плотность этого потока  $I$ . Увеличение видимой звездной величины на  $n$  единиц означает уменьшение плотности светового потока в  $k^n$  раз. Следовательно, для компенсации этого изменения площадь объектива должна быть в  $k^n$  раз увеличена:

$$\frac{S}{s} = k^n.$$

Отсюда

$$S = sk^n = 100^{n/5}s.$$

Погрешность  $5 \text{ см}^2$ .

#### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$s, \text{ см}^2$	20	50	10
$n$	2	5	1

Ответ:  $S = sk^n = 100^{n/5}s$ .

### Задача II.2.6.5. Большая линза (22 баллов)

Темы: фотометрия, масса и плотность.

#### Условие

Яркость звезды принято измерять в единицах видимой звездной величины (ВЗВ), одна единица которой означает изменение световой энергии, испускаемой звездой,

в  $k = \sqrt[3]{100}$  раз. Определите, какой массы линзу объектива телескопа-рефрактора пришлось бы использовать при сохранении пропорций и материала линзы, чтобы получить изображение некоторой тусклой звезды в таком же качестве, как было получено изображение на  $n$  единиц ВЗВ более яркой звезды при помощи телескопа с объективом, масса которого составляла  $m$ . Ответ дайте в т, округлив до десятых.

### Решение

Как и в предыдущей задаче, площадь объектива должна быть в  $k^n$  раз увеличена. Это требует изменения радиуса объектива в  $\sqrt{k^n} = k^{n/2}$  раз. Но при сохранении пропорций объем любого тела и, следовательно, масса такого объектива должны измениться пропорционально кубу радиуса:

$$M = mk^{3n/2}.$$

Погрешность 0, 1 т.

### Диапазоны

Величина	min	max	Шаг
$m$ , г	100	200	20
$n$	7	9	1

Ответ:  $vM = k^{3n/2}m = 100^{0,3n}m$ . С учетом порядков  $M = 100^{0,3n}m \cdot 10^{-6}$ .

### Задача II.2.6.6. (5 баллов)

Темы: физики России.

#### Условие

Вектор, описывающий плотность потока энергии в волнах, в англоязычной традиции носит фамилию английского физика, который в 1884 году вывел выражения для данного вектора в случае электромагнитных волн. Десятью годами ранее русский физик и философ вывел аналогичные уравнения для упругих волн, а потому в русской традиции вектор носит и его имя. Помимо выдающихся успехов в теории упругости, он сделал множество значимых открытий в оптике, а также выдвинул гипотезы о качественно правильном характере связи между массой и энергией, позже развитые в знаменитую формулу Эйнштейна  $E = mc^2$ . Выберите из приведенного списка выдающихся физиков имя этого русского ученого.

1. Владимир Александрович Фок.
2. Александр Александрович Фридман.
3. Рем Викторович Хохлов.
4. Николай Алексеевич Умов.
5. Михаил Васильевич Остроградский.
6. Роберт Эмильевич Ленц.

7. Петр Николаевич Лебедев.
8. Анатолий Алексеевич Логунов.

Ответ: 4.

## Инженерный тур

В основе современных квантовых технологий лежат явления, связанные с одиночными квантовыми объектами. Такие объекты зачастую обладают целым спектром необычных и, на первый взгляд, неочевидных свойств. Свойство суперпозиции состояний и явление квантовой интерференции – одни из самых базовых вещей, с которыми приходится иметь дело квантовому инженеру при решении инженерных и теоретических задач проектирования сложных квантово-измерительных приборов. Приведенные ниже задачи служат введением в математический аппарат для решения подобных задач и проверкой приобретенных компетенций перед задачами второго этапа и финала (проектирование интерферометра).

### **Задача II.3.1. (6 баллов)**

Темы: физика, интерференция.

#### **Условие**

Выберите все подходящие ответы из списка:

1. знание длины волны позволяет однозначно определить ее частоту;
2. интенсивность электромагнитной волны пропорциональна ее амплитуде;
3. интерференция — явление из области волновой физики;
4. конструктивная интерференция приводит к ослаблению наблюдаемой волны;
5. фотон в эксперименте с двумя щелями делится на две части; каждая из частей проходит через одно из отверстий.

Ответ: 1, 3.

### **Задача II.3.2. (6 баллов)**

Темы: базис, постулаты квантовой механики.

#### **Условие**

Выберите все подходящие ответы из списка:

1. измерения называются проективными, потому что геометрически соответствуют проектированию вектор-состояния на одно из базисных состояний;
2. измерение в квантовой механике изменяет состояние исследуемой физической системы;
3. если какое-то из состояний невозможно в одном базисе, то оно невозможно и в любом другом базисе;

4. при повороте базиса на некоторый угол координаты векторов изменяются;
5. суперпозиция квантовых состояний «зеленый» и «белый» в эксперименте наблюдается как «салатовый»;
6. амплитуда вектор-состояния (волны вероятности) может быть любой.

**Ответ:** 1, 2, 4.

### **Задача II.3.3. (10 баллов)**

*Темы: нормировка волновой функции, суперпозиция состояний.*

#### **Условие**

Вектор состояние квантовой системы в двумерном базисе задан в виде:

$$|\psi\rangle = \text{Const}(-\frac{1}{3}|A\rangle + \frac{9}{10}|B\rangle).$$

Чему должно быть равно Const, чтобы выполнялось условие нормировки?

#### **Решение**

Необходимо посчитать сумму квадратов коэффициентов и приравнять к единице.

**Ответ:** 1,042.

### **Задача II.3.4. (10 баллов)**

*Темы: суперпозиция состояний, измерение в квантовой механике.*

#### **Условие**

Кошка Шредингера находится в состоянии:

$$|\psi\rangle = \frac{\sqrt{3}}{6}|живая\rangle + \frac{\sqrt{33}}{6}|мертвая\rangle.$$

Чему равна вероятность обнаружить кошку живой в эксперименте?

#### **Решение**

Необходимо посчитать квадрат множителя перед вектором состояния  $|живая\rangle$ .

**Ответ:** 0,083.

### **Задача II.3.5. (24 баллов)**

*Темы: суперпозиция состояний, волновая функция.*

**Условие**

В лаборатории создан новый необычный пищевой продукт, который может описываться суперпозицией квантовых состояний  $|\text{вкусный}\rangle$ ,  $|\text{неприятный}\rangle$  или  $|\text{вредный}\rangle$ ,  $|\text{полезный}\rangle$ . Экспериментальным путем ученые установили, что свойства вкуса/неприятности соотносятся со свойствами вредности/полезности; следующим образом:

$$|\text{вкусный}\rangle = \frac{|\text{полезный}\rangle - 2|\text{вредный}\rangle}{\sqrt{5}} \quad |\text{неприятный}\rangle = \frac{4|\text{полезный}\rangle + 3|\text{вредный}\rangle}{5}.$$

В ходе испытаний было обнаружено, что если привести продукт в квантовое состояние  $|\psi\rangle$ , то в эксперименте он оказывается вкусным в одном случае из шестнадцати, а неприятным — в пятнадцати случаях из шестнадцати.

С какой вероятностью продукт в состоянии  $|\psi\rangle$  окажется в эксперименте вредным?

**Решение**

Волновая функция состояния  $|\psi\rangle$  легко записывается из условия:

$$|\psi\rangle = \frac{1|\text{вкусный}\rangle + \sqrt{15}|\text{неприятный}\rangle}{4}.$$

Подставляя сюда известные соотношения из условий задачи, можно определить амплитуду вероятности перед членом  $|\text{вредный}\rangle$ , а затем и саму вероятность.

**Ответ:** 0,128.

**Задача II.3.6. (8 баллов)**

*Темы: светоделители, амплитуда вероятности.*

**Условие**

Фотон в квантовом состоянии

$$|\psi\rangle = \frac{\sqrt{3}}{2}|H\rangle - \frac{1}{2}|V\rangle$$

попадает из источника в оптическую схему, изображенную на рисунке II.3.1.

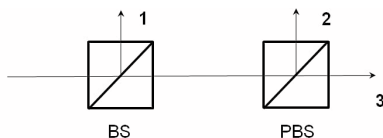


Рис. II.3.1

Чему равен коэффициент при  $|H\rangle$  на выходе «1»?

**Решение**

После  $BS$  фотон окажется в суперпозиции, соответствующей тому пути, по которому он прошел. Вероятность прохождения (и отражения, соответственно, тоже)  $\frac{1}{2}$ , поэтому коэффициенты волновой функции для состояний  $|H, \text{отразился}\rangle$  отличаются на множитель  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  от изначальной волновой функции со знаком минус.

**Ответ:**  $-0,612$ .

**Задача II.3.7. (8 баллов)**

*Темы: светоделители, амплитуда вероятности.*

**Условие**

Фотон в квантовом состоянии

$$|\psi\rangle = \frac{\sqrt{3}}{2} |H\rangle - \frac{1}{2} |V\rangle$$

попадает из источника в оптическую схему, изображенную на рисунке II.3.2.

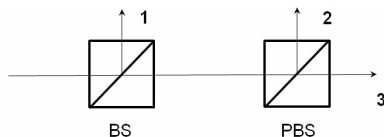


Рис. II.3.2

Чему равен коэффициент при  $|H\rangle$  на выходе «2»?

**Решение**

После  $BS$  фотон окажется в суперпозиции, по какому из путей он прошел. Вероятность прохождения (и отражения, соответственно, тоже)  $\frac{1}{2}$ , поэтому коэффициенты волновой функции для состояний  $|H, \text{отразился}\rangle$   $|V, \text{отразился}\rangle$  отличаются на множитель  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  от изначальной волновой функции со знаком минус (для состояний  $|H, \text{прошел}\rangle$ ,  $|V, \text{прошел}\rangle$  аналогично).

На  $PBS$   $|V, \text{прошел}\rangle$  отражается на детектор 2,  $|H, \text{прошел}\rangle$  проходит на детектор 3 с соответствующими вероятностями.

**Ответ:** 0,354.

**Задача II.3.8. (8 баллов)**

*Темы: светоделители, амплитуда вероятности.*

**Условие**

Фотон в квантовом состоянии

$$|\psi\rangle = \frac{\sqrt{3}}{2} |H\rangle - \frac{1}{2} |V\rangle$$

попадает из источника в оптическую схему, изображенную на рисунке II.3.3.

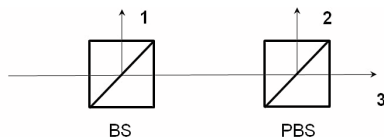


Рис. II.3.3

Чему равен коэффициент при  $|H\rangle$  на выходе «3»?

**Решение**

После *BS* фотон окажется в суперпозиции, соответствующей тому пути, по которому он прошел.

Вероятность прохождения (и отражения, соответственно, тоже)  $\frac{1}{2}$ , поэтому коэффициенты волновой функции для состояний  $|H, \text{отразился}\rangle$ ,  $|V, \text{отразился}\rangle$  отличаются на множитель  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  от изначальной волновой функции со знаком минус (для состояний  $|H, \text{прошел}\rangle$ ,  $|V, \text{прошел}\rangle$  аналогично).

На *PBS*  $|V, \text{прошел}\rangle$  отражается на детектор 2,  $|H, \text{прошел}\rangle$  проходит на детектор 3 с соответствующими вероятностями.

**Ответ:** 0,612.

**Задача II.3.9. (10 баллов)**

*Темы: светоделители, амплитуда вероятности.*

**Условие**

Фотон в квантовом состоянии

$$|\psi\rangle = \frac{\sqrt{7}}{3} |H\rangle - \frac{\sqrt{2}}{3} |V\rangle$$

попадает из источника в оптическую схему, изображенную на рисунке II.3.4.

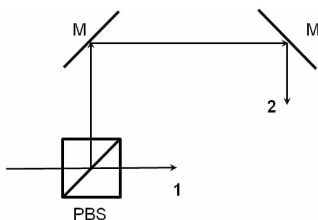


Рис. II.3.4

Чему равен коэффициент при  $|H\rangle$  на выходе «1»?

**Решение**

*PBS* отражает  $V$  и пропускает  $H$ .

Ответ: 0,778.

### Задача II.3.10. (10 баллов)

Темы: светоделители, амплитуда вероятности.

**Условие**

Фотон в квантовом состоянии

$$|\psi\rangle = \frac{\sqrt{7}}{3} |H\rangle - \frac{\sqrt{2}}{3} |V\rangle$$

попадает из источника в оптическую схему, изображенную на рисунке II.3.5.

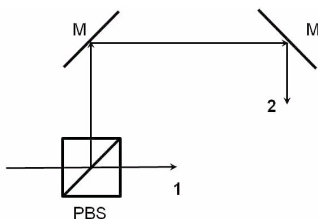


Рис. II.3.5

Чему равен коэффициент при  $|V\rangle$  на выходе «2»?

**Решение**

*PBS* отражает  $V$  и пропускает  $H$ .

Ответ: 0,222.

# Работа наставника НТО на втором отборочном этапе

На втором отборочном этапе участникам предлагаются индивидуальные и командные задачи в рамках выбранных профилей. Для подготовки к нему наставник может использовать следующие рекомендуемые форматы и мероприятия:

- Подготовка по образовательным программам НТО по ряду технологических направлений.
- Разбор задач второго отборочного этапа НТО прошлых лет.
- Прохождение онлайн-курсов по разбору задач НТО прошлых лет.
- Прохождение онлайн-курсов, рекомендованных разработчиками профилей.
- Разбор материалов для подготовки к профилям.
- Практикумы. Для организации практикумов возможно использовать разные подходы или их комбинации:
  - Проведение практикумов по описаниям на страницах профилей и материалов для подготовки.
  - Декомпозиция задач заключительных этапов прошлых лет для выделения наиболее актуальных элементов и их изучения.
  - Анализ технических знаний и навыков (hard skills), требуемых для конкретного профиля, и самостоятельная разработка или поиск занятия для развития наиболее актуальных из них.
  - Посещение практикумов на площадках подготовки и онлайн-мероприятий от разработчиков профилей. Объявления о таких мероприятиях публикуются в группах НТО в VK и в телеграм-канале для наставников НТО ([https://t.me/kruzhok\\_association](https://t.me/kruzhok_association)).

## Второй отборочный этап

1. Представленные задачи являются декомпозицией задачи финала — проектирование интерферометра подразумевает решение задач, схожих по своей сути с представленными во втором этапе.
2. Решение задач требует от каждого члена команды глубокого понимания сути всех физических процессов, протекающих в системе.
3. От участников требуется умение производить инженерный расчет оптической схемы, выполнять программную обработку физических данных, проводить теоретические оценки характеристик квантово-оптических явлений.

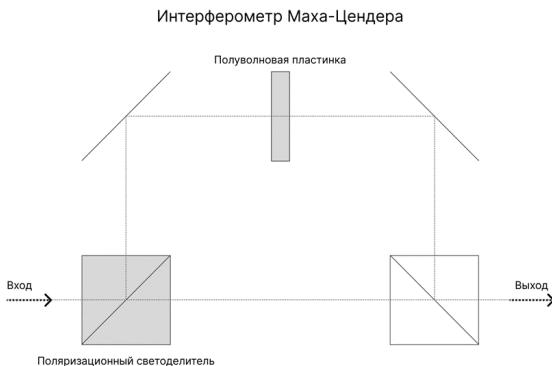
### Задача IV.1. (15 баллов)

Темы: квантовые состояния, интерферометр Маха-Цандера, волновая пластинка.

#### Условие

$$|\psi\rangle = \text{Const}\left(-\frac{1}{3}|A\rangle + \frac{9}{10}|B\rangle\right).$$

В интерферометре Маха – Цандера первый светоделитель заменили на поляризационный, а в плечо с отраженной волной внесли полуволновую пластинку, ориентированную под углом  $30^\circ$  к плоскости поляризации света в этом плече (см. рисунок). В интерферометр на вход направляется фотон в состоянии  $|\psi\rangle = 1/2|H\rangle + \sqrt{3}/2|V\rangle$ . Какова вероятность обнаружить фотон с горизонтальной поляризацией на выходе интерферометра? Ответ приведите в виде десятичной дроби с точностью до четвертого знака после запятой.



**Решение**

Прохождение квантового состояния через интерферометр с пластинкой можно описать следующим образом:

$$|\psi\rangle = \frac{1}{2}|H\rangle + \frac{\sqrt{3}}{2}|V\rangle = \frac{1}{2}|H, \text{пр}\rangle + \frac{\sqrt{3}}{2} \left( \frac{\sqrt{3}}{2}|H, \text{отр}\rangle + \frac{1}{2}|V\rangle \right) = \frac{\sqrt{13}}{4}|H\rangle + \frac{\sqrt{3}}{4}|V\rangle.$$

Имея волновую функцию состояния после интерферометра, можно вычислить вероятность обнаружения горизонтальной поляризации:  $P_H = 0,8125$ .

**Ответ:** 0,8125.

**Задача IV.2. (25 баллов)**

*Темы: программная фильтрация, численные методы.*

**Условие**

Вам предоставляется набор из 1000 числовых значений, записанных в один столбец. В каждой строчке записываются данные с фотодетектора в данный момент времени. Считывание данных с фотодетектора происходит 1 раз в такт (каждые 200 нс), номер строки соответствует номеру такта измерений, начиная с нулевого такта (начальный момент времени). Известно, что в данных присутствует периодический сигнал постоянной частоты, однако шумы не позволяют эту частоту определить на глаз. Необходимо составить программу, которая будет считывать данные и выдавать на выход одно число — округленный до целых период сигнала, выраженный в мкс.

**Решение**

Задача может быть решена, например, при аккуратном использовании Фурье-фильтра и медианного сглаживания: <https://disk.yandex.ru/d/90gTN7x0HOzUnA>.

**Ответ:** 20 мкс (допустима погрешность на уровне не более 2 мкс).

**Задача IV.3. (12,5 баллов)**

*Темы: когерентность, интерференция, интерферометр Майкельсона.*

**Условие**

Известно, что при длинах плеч волоконного интерферометра Майкельсона 3 м и 3,15 м видимость интерференционной картины на фотодетекторе стремится к нулю. Рассчитайте длину когерентности используемого монохроматического источника излучения в вакууме. Дан показатель преломления оптоволокна  $n = 1,47$ . Ответ выразите в м и приведите с точностью до сотых.

**Решение**

Устремление видности интерференционной картины говорит о потере излучением свойства временной когерентности при данной разнице длин плеч интерферометра. Используя известную формулу и учитывая двойное прохождение светом плеч интерферометра, может быть получено следующее выражение:

$$l_{\text{ког}} = ct_{\text{ког}} = 2n(m - k),$$

где  $l_{\text{ког}}$  — длина когерентности,  $t_{\text{ког}}$  — время когерентности,  $n$  — показатель преломления,  $(m - k)$  — разность длин плеч интерферометра.

Из этого выражения может быть получен ответ: 44 см.

**Ответ:** 0,44 м.

**Задача IV.4. (12,5 баллов)**

*Темы: когерентность, интерференция, интерферометр Майкельсона.*

**Условие**

Рассчитать время когерентности квазимонохроматического источника излучения, излучающего на основной длине волны 1550 нм с полной шириной на полувысоте линии излучения 3 нм. Ответ выразите в пс (пикосекундах), округлив до одного знака после запятой.

**Решение**

Ширина спектра и время когерентности связано известным соотношением:

$$ct_{\text{ког}} = \frac{\Delta l}{l^2},$$

где  $l$  — длина волны излучения.

**Ответ:** 2,7 пс.

**Задача IV.5. (15 баллов)**

*Темы: оптическая аттенюация, расчет оптической схемы.*

**Условие**

Оптический фотодетектор выходит из строя при средней мощности излучения, приходящего на него, 3 мВт. Потери в системе составляют 2 дБ по мощности.

Имеется источник непрерывного излучения мощностью 2 Вт, рассчитайте наименьшее необходимое ослабление, которое требуется внести в оптическую систему, чтобы сохранить фотодетектор в рабочем состоянии. Ответ выразите в дБ и приведите с точностью до целых.

**Решение**

Средняя мощность непрерывного излучения лазера не должна превысить максимальное безопасное значение. Используя формулу для затухания и учитывая собственные потери в системе, можно получить:

$$\alpha_{\text{соб}} + \alpha_{\text{атт}} = 10 \lg \frac{P_{\text{in}}}{P_{\text{out}}}.$$

Затем ответ следует округлить в большую сторону, чтобы получить безопасное значение в целых децибелах: 27 дБ.

**Ответ:** 27 дБ.

**Задача IV.6. (7 баллов)**

Темы: аттенюация импульсного сигнала, расчет оптической схемы, распределение Пуассона.

**Условие**

Оптический фотодетектор выходит из строя при средней мощности излучения, приходящего на него, 3 мВт. Потерь в системе нет.

Имеется импульсный источник излучения с энергией в импульсе 100 нДж, длительностью импульса 3 нс, частотой повторения 5 МГц и длиной волны 1550 нм. Рассчитайте наименьшее необходимое ослабление, которое требуется внести в оптическую систему, чтобы сохранить фотодетектор в рабочем состоянии. Ответ выразите в дБ и приведите с точностью до целых.

**Решение**

Задача решается аналогично предыдущему случаю с учетом импульсной природы излучения: в качестве  $P_{\text{in}}$  нужно использовать среднюю мощность лазерного импульса за период следования импульсов (200 нс). Ответ округляется также в большую сторону до 23 дБ.

**Ответ:** 23 дБ.

**Задача IV.7. (7 баллов)**

Темы: аттенюация импульсного сигнала, расчет оптической схемы, распределение Пуассона.

**Условие**

Пусть мощность излучения импульсного источника из задачи IV.6 после прохождения оптической схемы с аттенюацией составляет 0,3 пкВт. Определите среднее число фотонов в импульсах, приходящих на фотодетектор. Ответ укажите с точностью до десятых.

**Решение**

Зная затухание из предыдущего пункта, можно вычислить пиковая мощность на детекторе:

$$P_{out} = P_{имп} 10^{-2,3} = 0,17 \text{ Вт (пиковая мощность на входе 33,3 Вт)}.$$

Число фотонов в таком импульсе:

$$N = \frac{P\Delta t\lambda}{hc},$$

где  $P$  — пиковая мощность импульса на детекторе,  $\Delta t$  — длительность импульса,  $\lambda$  — длина волны,  $h$  — постоянная Планка.

**Ответ:** 0,5 фотона в импульсе.

**Задача IV.8. (6 баллов)**

Темы: аттенюация импульсного сигнала, расчет оптической схемы, распределение Пуассона.

**Условие**

Учитывая результаты задачи IV.5, определите количество фотонов в импульсе, приходящих на фотодетектор при внесении требуемого ослабления. Ответ выразите в миллиардах фотонов и приведите с точностью до целых.

**Решение**

Фотоны в лазерном импульсе имеют пуассоновское распределение, потому мощность, при которой в импульсе содержится заданное среднее число фотонов может быть определено по следующей формуле (формула справедлива для малых интенсивностей):

$$P = \frac{c\nu h\mu}{\lambda}.$$

Ответ задачи получается при выражении соответствующего члена из данной формулы.

**Ответ:** 4.

# Работа наставника НТО при подготовке к заключительному этапу

На этапе подготовки к заключительному этапу НТО наставник решает две важные задачи: помощь участникам в подготовке к предстоящим соревнованиям и формирование устойчивой и слаженной команды. Для подготовки рекомендуется использовать сборники задач прошлых лет. Кроме того, наставнику важно изучить организационные особенности заключительного этапа, чтобы помочь ученикам разобраться в формальных особенностях его проведения.

Наставник НТО также может познакомиться с разработчиками профилей для получения консультации о подготовке к заключительному этапу, дополнительных материалах и способах поддержки высокой мотивации участников.

При работе с командой участников рекомендуется уделить внимание следующим вопросам:

- Сплочение команды. Наставнику необходимо уделить этому особое внимание, если участники команды находятся в разных городах и не имеют возможности встретиться в очном формате. Регулярные встречи, в том числе в дистанционном формате, помогут поддержать эффективную и позитивную коммуникацию внутри команды.
- Анализ состава команды. Необходимо обсудить роли участников в команде и задачи, которые им предстоит решать в рамках выбранных ролей. Кроме того, нужно обсудить взаимозаменяемость ролей.
- Анализ знаний и компетенций участников. Необходимо убедиться, что участники обладают нужными навыками и компетенциями и продумать план по формированию и развитию недостающих навыков и компетенций.
- Составление плана подготовки. График занятий строится, исходя из даты начала заключительного этапа.
- Участие в подготовительных мероприятиях от разработчиков профилей. Перед заключительным этапом проводятся установочные вебинары, разборы задач прошлых лет, практикумы, хакатоны, мастер-классы для финалистов. Информация о таких мероприятиях публикуется в группе НТО в VK и в чатах профилей в Telegram.
- Проведение практикумов или хакатонов. Для этого наставники могут использовать материалы для подготовки к соответствующему профилю и сборники задач прошлых лет. Практикумы и хакатоны могут проводиться дистанционно, рекомендации для этого формата приведены в сборниках 2020–22 гг.

Во время заключительного этапа участников сопровождают модераторы или волонтеры, разработчики профиля и организаторы НТО. Внешнее вмешательство в ход соревнований запрещено. Участники, получившие во время проведения НТО стороннюю помощь, могут быть дисквалифицированы.

# Заключительный этап

## Предметный тур

### Информатика и информационные технологии. 8–11 классы

Тестовые наборы для задач представлены по ссылке — <https://disk.yandex.ru/d/ScPv6XAWgy4jlg>.

#### *Задача VI.1.1.1. (50 баллов)*

##### *Условие*

Вася нашел устройство — преобразователь двоичных чисел. Устройство позволяет обрабатывать на входе 8 десятичных чисел. Известно, что числа записываются в двоичном виде в строки матрицы размером  $8 \times 8$ . При этом в случае, если число занимает меньше двоичных разрядов в строке, то оно дополняется нулями до 8 разрядов, если число больше 8 разрядов, то при записи в матрицу сохраняется только 8 младших разрядов, остальные разряды отбрасываются.

Устройство может выполнять 4 операции с матрицами, условно обозначаящиеся цифрами от 1 до 4. Операция 1 — замена всех нулей матрицы на единицы и всех единиц на нули. Операция 2 — поворот матрицы на  $90^\circ$  вправо (первая строка становится последним столбцом матрицы, и так далее, последняя строка становится первым столбцом матрицы). Операция 3 — поворот матрицы на  $90^\circ$  влево (первая строка становится первым столбцом матрицы, и так далее, последняя строка становится последним столбцом матрицы). Операция 4 — реверс матрицы относительно центрального столбца (первый столбец меняется с последним, второй — с предпоследним и так далее). Вася записал на вход устройства 8 чисел: 1024, 255, 60, 1, 15, 7, 512, 127. После чего выполнил последовательно следующие операции: 2, 1, 3, 4.

Определите, какие числа записаны в матрице после преобразования. Ответ запишите в виде строки подряд идущих шестнадцатеричных чисел соответствующих числам в строке матрицы. Первое число ответа соответствует первому числу строки, последнее — последнему числу строки матрицы, например, если в строке матрицы 00000000 или 11111111, то в ответе нужно записать 00 или FF соответственно.

Пример: для чисел 1 2 3 4 5 6 7 8, если выполнить операцию 1, в ответе получится: FEFDFCFBFAF9F8F7.

##### *Решение*

$1024 = 1000000000_2$ ,  $255 = 11111111_2$ ,  $60 = 111100_2$ ,  $1 = 1_2$ ,  $15 = 1111_2$ ,  $7 = 111_2$ ,  $512 = 100000000_2$ ,  $127 = 1111111_2$ .

Исходная матрица.

0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1

Операция 1.

0	0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	0	0	1	1	0
1	0	0	0	0	1	1	0
1	0	0	1	0	1	1	0
1	0	1	1	0	1	1	0
1	0	1	1	0	0	1	0
1	0	1	1	1	0	1	0

Операция 2.

1	1	1	1	1	1	0	1
0	1	1	1	1	1	0	1
0	1	1	1	1	0	0	1
0	1	1	1	1	0	0	1
0	1	1	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	1	0	1
0	1	0	0	0	1	0	1

Операция 3.

1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0

Операция 4.

1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1

Ответ:  $FF00C37F0F1FFF00$ .

### Задача VI.1.1.2. (50 баллов)

#### Условие

##### Версия 1

Вася недавно в школе изучил шестнадцатеричную систему счисления. Васе стало интересно, сколько существует восьмиразрядных шестнадцатеричных чисел, в которых никакие две одинаковые цифры не стоят рядом, рядом с цифрой  $A$  не может стоять цифра  $E$ , и в записи чисел используются только четные цифры. Помогите Васе получить ответ на поставленный вопрос.

##### Версия 2

Специальное устройство генерирует шестнадцатеричные восьмиразрядные числа. Подходящими считаются числа, не содержащие незначащих нулей, и сумма цифр которых является четным числом. Определите, сколько подходящих чисел будет сгенерировано устройством.

#### Решение

##### Версия 1

Используем табличный метод.

	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	7	40	279	1880	12743	86280	584311
2	1	6	41	278	1881	12742	86281	584310
4	1	6	41	278	1881	12742	86281	584310
6	1	6	41	278	1881	12742	86281	584310
8	1	6	41	278	1881	12742	86281	584310
A	1	5	37	245	1669	11285	76453	517685
C	1	6	41	278	1881	12742	86281	584310
E	1	5	37	245	1669	11285	76453	517685

Количество комбинаций равно сумме восьмого столбца и равно 4541231.

Ответ: 4541231.

##### Версия 2

Количество вариантов для чисел, состоящих только из четных цифр  $7 \cdot 8^7$  В случае использования нечетных цифр, должно быть четное количество позиций с нечетными цифрами.

Возможные варианты можно представить следующим образом:

1. ннчччччч;
2. ннннчччч;
3. ннннннчч;
4. нннннннн;

5. 4444444.

Каждый из этих вариантов содержит за вычетом чисел, начинающихся с 0:

1.  $28 \cdot 8^8 - 21 \cdot 8^7$ ;
2.  $70 \cdot 8^8 - 35 \cdot 8^7$ ;
3.  $28 \cdot 8^8 - 7 \cdot 8^7$ ;
4.  $8^8$ ;
5.  $7 \cdot 8^7$ .

Таким образом, общее количество подходящих чисел, суммируя выражения с 1 по 5, получаем: 2013265920.

**Ответ:** 2013265920.

### **Задача VI.1.1.3. (50 баллов)**

#### **Условие**

Жизненная ситуация: вы постирали носки, и один из них пропал. Так вот, задача посвящена как раз этому.

После стирки у вас есть  $a$  носков первого типа и  $b$  второго типа. Определите, сколько пар носков осталось после стирки (парой считаются два однотипных носка)?

#### **Критерии оценивания**

Гарантируется, что решение, корректно работающее при  $a, b \leq 5 \leq 10^7$ , получает не менее 50 баллов.

#### **Формат входных данных**

В первой строке входных данных вам даются числа  $a$  и  $b$  ( $0 \leq a, b \leq 10^9$ ) — количество носков первого и второго типов соответственно.

#### **Формат выходных данных**

Выведите одно число — количество пар носков.

#### **Примеры**

##### *Пример №1*

<b>Стандартный ввод</b>
6 3
<b>Стандартный вывод</b>
4

## Пример №2

Стандартный ввод
1 2
Стандартный вывод
1

**Решение**

Ниже представлено решение на языке C++.

```

1  #include <bits/stdc++.h>
2  #define int int64_t
3
4  using namespace std;
5
6  int32_t main() {
7      int a, b;
8      cin >> a >> b;
9      cout << a / 2 + b / 2;
10 }
```

**Задача VI.1.1.4. (50 баллов)****Условие**

Кто ты без массива? Не знаю. А кто с массивом? Гений, гений, гений, гений.

Именно поэтому в этой задаче вам дан массив из  $n$  чисел. Вернее, как дан...

Вам нужно найти количество способов найти этот массив. Для этого вам даются  $n - 1$  попарных разностей соседних элементов ( $a_i$  и  $a_{i+1}$  являются соседними). Также вам даются два числа  $x$  и  $y$ . Известно, что  $a_1$  может принимать значения  $[1; x]$ , а  $a_n - [1; y]$ . Восстановите справедливость, то есть найдите количество корректных способов.

**Критерии оценивания**

Гарантируется, что решение, корректно работающее для  $n \leq 1000$ ,  $x, y \leq 1000$ , получает не менее 30 баллов.

Гарантируется, что решение, корректно работающее для  $x, y \leq 2000$ , получает не менее 50 баллов.

**Формат входных данных**

В первой строке вам даются три числа  $n, x, y$  ( $1 \leq n \leq 2 \cdot 10^5$ ,  $1 \leq x, y \leq 10^9$ ) — количество элементов в исходном массиве, ограничения на  $a_1$  и  $a_n$  соответственно.

Во второй строке вам дается  $n - 1$  число  $b_i$  ( $-10^9 \leq b_i \leq 10^9$ ) — попарные разности соседних чисел.

## Формат выходных данных

Выведите количество способов восстановить массив.

## Примеры

### Пример №1

<b>Стандартный ввод</b>
5 4 6 1 -1 2 -1
<b>Стандартный вывод</b>
4

## Решение

Ниже представлено решение на языке C++.

```

1  #include <bits/stdc++.h>
2  #define int int64_t
3
4  using namespace std;
5
6  int32_t main() {
7      int n, x, y;
8      cin >> n >> x >> y;
9
10     int d = 0;
11     for (int i = 0; i + 1 < n; ++i) {
12         int a;
13         cin >> a;
14         d += a;
15     }
16
17     // a[1] := [1; x]
18     // a[n] == a[1] + d, a[n] := [1; y]
19
20     // a[n] - a[1] == d
21     // a[1] := [1; min(x, y - d)]
22
23     cout << max(0ll, min(x, y - d));
24 }
```

## Задача VI.1.1.5. (50 баллов)

### Условие

Вот она, статистика, которой мы заслужили.

Вам дан массив  $p$  из  $n$  чисел. Вы хотите уметь обрабатывать два вида запросов:

- Обновить элементы на отрезке  $[l; r]$  числами  $a$ ,  $b$  и  $c$  следующим образом:
  - $pl := pl \oplus a$ ;

- $pl + 1 := pl + 1 \oplus b$ ;
- $pl + 2 := pl + 2 \oplus c$ ;
- $pl + 3 := pl + 3 \oplus a$ .

Далее повторяем это действие чередованием подряд  $a$ ,  $b$  и  $c$ , пока не дойдем до  $r$ .

- Посчитать следующую статистику на отрезке  $[l; r]$ :  $pl \oplus pl + 1 \oplus pl + 2 \oplus \dots \oplus pr$ .

Здесь  $\oplus$  обозначает операцию побитовое «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ». Побитовое «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ» — это бинарная операция, действие которой эквивалентно применению логической операции «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ» к каждой паре битов, которые стоят на одинаковых позициях в двоичных представлениях операндов.

Другими словами, если оба соответствующих бита операндов равны 0, двоичный разряд результата равен 0; если же ровно один бит из пары равен 1, двоичный разряд результата равен 1.

### **Критерии оценивания**

Гарантируется, что решение, корректно работающее при  $n$ ,  $q \leq 1000$ , получает не менее 30 баллов.

Гарантируется, что решение, корректно работающее при  $p_i$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c \leq 5 \cdot 10^7$ , получает не менее 50 баллов.

### **Формат входных данных**

В первой строке входных данных вам дается число  $n$  ( $3 \leq n \leq 5 \cdot 10^5$ ) — длина массива.

Во второй строке вам дается  $n$  чисел  $a_i$  ( $0 \leq a_i \leq 10^{18}$ ) — элементы массива.

В третьей строке вам дается число  $q$  ( $1 \leq q \leq 5 \cdot 10^5$ ) — количество запросов.

В следующих  $q$  строках вам дается число 11, если тип запроса *update* или 22, если тип запроса *узнать статистику*.

Далее для первого типа запроса в этой же строке даются пять чисел  $l$ ,  $r$ ,  $a$ ,  $b$  и  $c$  ( $1 \leq l \leq r \leq n$ ),  $r - l \geq 2$ ,  $0 \leq a, b, c \leq 10^{18}$ .

Для второго типа запроса в этой же строке даются два числа  $l$  и  $r$  ( $1 \leq l \leq r \leq n$ ) — границы отрезка.

### **Формат выходных данных**

Для каждого запроса второго типа выведите статистику этого запроса.

## Примеры

### Пример №1

Стандартный ввод
7
1 5 3 7 4 3 8
6
2 3 7
1 2 4 1 2 3
2 2 4
2 3 6
1 1 5 4 8 2
2 6 7
Стандартный вывод
11
1
2
11

## Решение

Ниже представлено решение на языке C++.

```

1  #include <bits/stdc++.h>
2  #define int int64_t
3
4  using namespace std;
5
6  struct vertex {
7      int answer;
8      int push_zero = 0, push_one = 0, push_two = 0;
9  };
10
11  const int N = 5e5 + 1;
12
13  int n;
14  array<int, N> p;
15  array<vertex, 4 * N> t;
16
17  void build(int v = 1, int tl = 0, int tr = n - 1) {
18      if (tl == tr) {
19          t[v].answer = p[tl];
20          return;
21      }
22      int tm = (tl + tr) >> 1;
23
24      build(v << 1, tl, tm);
25      build(v << 1 | 1, tm + 1, tr);
26
27      t[v].answer = t[v << 1].answer ^ t[v << 1 | 1].answer;
28  }
29
30  inline int count_by_mod(int i, int mod) {
31      return (i + 3 - mod) / 3;

```

```

32 }
33
34 inline int count_by_mod(int l, int r, int mod) {
35     if (l == 0) {
36         return count_by_mod(r, mod);
37     }
38     return count_by_mod(r, mod) - count_by_mod(l - 1, mod);
39 }
40
41 inline void update_segment(int v, int tl, int tr, int a, int b, int c) {
42     int cnt_zero = count_by_mod(tl, tr, 0) % 2;
43     int cnt_one = count_by_mod(tl, tr, 1) % 2;
44     int cnt_two = count_by_mod(tl, tr, 2) % 2;
45
46     if (cnt_zero) {
47         t[v].answer ^= a;
48     }
49
50     if (cnt_one) {
51         t[v].answer ^= b;
52     }
53
54     if (cnt_two) {
55         t[v].answer ^= c;
56     }
57
58     t[v].push_zero ^= a;
59     t[v].push_one ^= b;
60     t[v].push_two ^= c;
61 }
62
63 inline void push(int v, int tl, int tr) {
64     if (tl != tr) {
65         int tm = (tl + tr) >> 1;
66
67         update_segment(v << 1, tl, tm, t[v].push_zero, t[v].push_one,
68             ↪ t[v].push_two);
69         update_segment(v << 1 | 1, tm + 1, tr, t[v].push_zero, t[v].push_one,
70             ↪ t[v].push_two);
71
72         t[v].push_zero = 0;
73         t[v].push_one = 0;
74         t[v].push_two = 0;
75     }
76 }
77
78 void update(int l, int r, int a, int b, int c, int v = 1, int tl = 0, int tr = n -
79     ↪ 1) {
80     if (l > r) {
81         return;
82     }
83
84     push(v, tl, tr);
85     if (l == tl &&& r == tr) {
86         update_segment(v, tl, tr, a, b, c);
87         return;
88     }
89
90     int tm = (tl + tr) >> 1;

```

```
89     update(l, min(r, tm), a, b, c, v << 1, tl, tm);
90     update(max(l, tm + 1), r, a, b, c, v << 1 | 1, tm + 1, tr);
91
92     t[v].answer = t[v << 1].answer ^ t[v << 1 | 1].answer;
93 }
94
95 int get(int l, int r, int v = 1, int tl = 0, int tr = n - 1) {
96     if (l > r) {
97         return 0;
98     }
99
100    push(v, tl, tr);
101    if (l == tl && r == tr) {
102        return t[v].answer;
103    }
104
105    int tm = (tl + tr) >> 1;
106
107    return get(l, min(r, tm), v << 1, tl, tm) ^ get(max(l, tm + 1), r, v << 1 | 1,
108    ↪ tm + 1, tr);
109 }
110
111 int32_t main(int32_t argc, char* argv[]) {
112     ios::sync_with_stdio(false);
113     cin.tie(nullptr);
114
115     cin >> n;
116
117     for (int i = 0; i < n; ++i) {
118         cin >> p[i];
119     }
120
121     build();
122
123     int q;
124     cin >> q;
125     while (q--) {
126         int tp, l, r;
127         cin >> tp >> l >> r;
128         --l, --r;
129
130         if (tp == 1) {
131             int a, b, c;
132             cin >> a >> b >> c;
133
134             if (l % 3 == 1) {
135                 swap(b, c);
136                 swap(a, b);
137             } else if (l % 3 == 2) {
138                 swap(a, b);
139                 swap(b, c);
140             }
141
142             update(l, r, a, b, c);
143         } else {
144             cout << get(l, r) << '\n';
145         }
146     }
```

## Физика. 8–9 классы

### Задача VI.1.2.1. Солнечное затмение (15 баллов)

Темы: камера обскура, угловой размер.

#### Условие

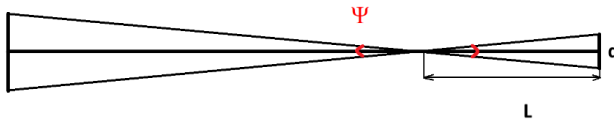
В XI веке арабский ученый Ибн аль-Хайсам из Басры пользовался специальными палатками, работающими по принципу камеры Обскура, для наблюдений за затмениями Солнца. Зная как вредно смотреть на солнце невооруженным глазом, он делал маленькое отверстие в полого палатки и рассматривал изображения Солнца на противоположной стенке  $L = 10,0$  м, а отношение диаметра Солнца к расстоянию от Земли до Солнца равно  $9,3 \cdot 10^{-3}$ , оцените диаметр наблюдаемого изображения Солнца. Ответ дать в см.

#### Критерии оценивания

1. Нарисован верный рисунок хода лучей и указан угол — 5 баллов.
2. Нарисован верный рисунок хода лучей и указан угол — 5 баллов.
3. Получен верный ответ — 5 баллов.

Погрешность ответа:  $\pm 0,1$  см

#### Решение



В силу того, что размер изображения  $d$  много меньше расстояния от отверстия, формула для углового размера Солнца имеет вид.

$$\Psi = \frac{d}{L}.$$

Указанная формула определяет значение угла в радианах. Необходимо преобразовать ответ к нужным единицам измерения.

$$d = \Psi \times L \approx 9,3 \text{ см.}$$

Ответ:  $d = 9,3$  см.

### Задача VI.1.2.2. Крестьянская задача (20 баллов)

Темы: плотность, сила Архимеда.

### Условие

В известной логической задаче крестьянин перевозит через реку капусту, козу и волка.

Она звучит следующим образом:

«Крестьянину нужно перевезти через реку волка, козу и капусту. Но в лодке может поместиться только крестьянин, а с ним или один волк, или одна коза, или только капуста. Но если оставить волка с козой, то волк съест козу, а если оставить козу с капустой, то коза съест капусту. Как перевез свой груз крестьянин?»

Учитывая, что помимо крестьянина в лодке всегда находится еще один пассажир, найдите отношение максимальной осадки лодки к минимальной. При расчетах считайте, что лодка имеет форму прямого цилиндра. Масса крестьянина 70 кг, масса лодки 25 кг, масса кочана капусты 4,5 кг, масса волка 42 кг и масса козы 35 кг.

### Критерии оценивания

1. Записано условие равновесия лодки — 5 баллов.
2. Получено выражение для отношения максимальной осадки к минимальной — 10 баллов.
3. Получен верный ответ — 5 баллов.

### Решение

Условие равновесия лодки:

$$mg = F_{\text{арх}},$$

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{воды}}gV = \rho_{\text{воды}}gS_{\text{осн}}h.$$

Исходя из условия равновесия, минимальная осадка соответствует минимальной массе лодки и «пассажиров». То же для максимальной осадки.

$$m_{\text{min}} = m_{\text{лодки}} + m_{\text{мужика}} + m_{\text{капусты}}.$$

$$m_{\text{max}} = m_{\text{лодки}} + m_{\text{мужика}} + m_{\text{волк}}.$$

$$\frac{F_{\text{арх max}}}{F_{\text{арх min}}} = \frac{h_{\text{max}}}{h_{\text{min}}} = \frac{m_{\text{max}}}{m_{\text{min}}} = \frac{m_{\text{лодки}} + m_{\text{мужика}} + m_{\text{волк}}}{m_{\text{лодки}} + m_{\text{мужика}} + m_{\text{капусты}}}.$$

Конечная формула имеет вид:

$$\frac{h_{\text{max}}}{h_{\text{min}}} = \frac{m_{\text{лодки}} + m_{\text{мужика}} + m_{\text{волк}}}{m_{\text{лодки}} + m_{\text{мужика}} + m_{\text{капусты}}}.$$

Погрешность ответа:  $\pm 0, 1$ .

Ответ: 1,4.

### Задача VI.1.2.3. Пушечное ядро (20 баллов)

Темы: движение под углом к горизонту, энергия.

**Условие**

Из пушки вылетает ядро со скоростью  $v_0$  под углом  $\alpha$  к горизонту. Отношение потерянной при ударе кинетической энергии к кинетической энергии ядра перед ударом равно  $\nu$ . Во сколько раз уменьшится скорость ядра после  $k$  ударов?

**Критерии оценивания**

1. Идея решения через кинетическую энергию — 20 баллов.
2. Правильно записано выражение для изменения кинетической энергии — 5 баллов.
3. Получен верный ответ — 5 баллов.

**Решение**

Кинетическая энергия после каждого удара меняется следующим образом:

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} - \nu \frac{mv_0^2}{2} = (1 - \nu) \frac{mv_0^2}{2}.$$

Тогда, кинетическая энергия через  $k$  ударов:

$$\frac{mv_k^2}{2} = (1 - \nu)^k \frac{mv_0^2}{2}.$$

Отношение скоростей  $n$ :

$$\frac{v_k^2}{v_0^2} = (1 - \nu)^k.$$

$$n = (1 - \nu)^{\frac{k}{2}}.$$

**Ответ:**  $n = (1 - \nu)^{\frac{k}{2}}$ .

**Задача VI.1.2.4. Нагрев льда (20 баллов)**

Темы: фазовые переходы, удельная теплоемкость, удельная теплота плавления и испарения.

**Условие**

В герметичный сосуд поместили  $m = 200$  г льда при температуре  $t_1 = -5$  °C и  $V = 150$  мл воды при температуре  $t_2 = 20$  °C, затем смеси сообщили теплоту в количестве 220 кДж. Определите, что будет находиться в сосуде после подведения данного количества теплоты? Какова будет температура содержимого? Тепловыми потерями в атмосферу и нагревом сосуда пренебречь. Удельная теплоемкость льда 2,1 кДж/кг·°C, удельная теплоемкость воды 4,2 кДж/кг·°C, удельная теплота плавления льда 330 кДж/кг.

**Критерии оценивания**

1. Записаны формулы для нагрева, плавления и испарения — 5 баллов.
2. Определено количество теплоты для нагрева и плавления льда — 5 баллов.
3. Определено количество теплоты для нагрева воды для температуры кипения — 5 баллов.
4. Получен верный ответ — 5 баллов.

Погрешность ответа:  $\pm 1$  г.

**Решение**

Сообщенная смеси теплота расходуется на:

- Нагрев льда до температуры плавления  $Q_1 = 2,1$  кДж.
- Плавление льда  $Q_2 = 66$  кДж.
- Нагрев воды, образовавшейся из льда, до температуры кипения  $Q_3 = 84$  кДж.
- Нагрев воды, изначально добавленной в смесь, до температуры кипения  $Q_4 = 50,4$  кДж.

Остальная теплота будет израсходована системой на испарение воды массой  $m = 21$  г.

**Ответ:** окончательно в системе будет находиться 21 г водяного пара и 329 г воды при температуре 100 °С.

**Задача VI.1.2.5. Ледниковый период (25 баллов)**

*Темы: скорость, наклонная плоскость, трение.*

**Условие**

В новогодние каникулы сотрудники квантовой лаборатории устроили между собой соревнование. Первый ученый на коньках разогнался до скорости  $v_1 = 12$  м/с (разгон происходит на горизонтальной поверхности), а другой — до скорости  $v_2 = 10$  м/с, и оба въехали на ледяную гору.

Определить разность высот, на которые они поднимутся, двигаясь по инерции, если склон горы составляет  $\alpha = 20^\circ$ , ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup> коэффициент трения коньков о лед составляет  $\mu = 0,03$ . Не учитывать изменение скорости конькобежцев при переходе на наклонную плоскость.

**Критерии оценивания**

1. Верно записано выражение для изменения энергии — 5 баллов.
2. Верно записано выражение для работы силы трения — 8 баллов.
3. Записано выражение для высота подъема — 8 баллов.
4. Получен верный ответ — 4 балла.

Погрешность ответа:  $\pm 0,01$  м.

**Решение**

Кинетическая энергия во время движения первого сотрудника преобразуется в тепловую за счет работы силы трения:

$$\frac{mv_1^2}{2} = mgh_1 + |A_{\text{тр}}|.$$

Работа силы трения определяется как:

$$|A_{\text{тр}}| = F_{\text{тр}}S = \mu mg \cos \alpha \frac{h_1}{\sin \alpha},$$

$$|A_{\text{тр}}| = \mu mgh_1 \operatorname{ctg} \alpha.$$

Таким образом, высота, на которую поднимутся сотрудники (аналогичные рассуждения при подъеме второго сотрудника):

$$h_1 = \frac{v_1^2}{2g(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)},$$

$$h_2 = \frac{v_2^2}{2g(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)}.$$

Тогда, разница высот:

$$\Delta h = h_1 - h_2 = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)}.$$

**Ответ:**  $\Delta h = 2,03$  м.

**Физика. 10–11 классы****Задача VI.1.3.1. Полет над Марсом (15 баллов)**

*Темы: ускорение свободного падения, высота, время.*

**Условие**

Найти время, в течение которого тело, отпущенное на высоте  $H = 150$  м над поверхностью Марса, упадет на его поверхность.

При расчетах учесть, что гравитационная постоянная  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$ , масса Марса  $M = 6,4 \cdot 10^{23}$  кг, а радиус Марса  $R = 3,4 \cdot 10^6$  м.

**Критерии оценивания**

1. Верно записано выражение для ускорения свободного падения — 5 баллов.
2. Записана формула времени падения тела на Марс — 5 баллов.
3. Получен верный ответ — 5 баллов.

Погрешность ответа:  $\pm 0,1$  с.

**Решение**

Найдем ускорение свободного падения на Марсе:

$$G \frac{mM}{R^2} = mg,$$

$$g = \frac{GM}{R^2}.$$

Время падения определяется как:

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2HR^2}{G}}.$$

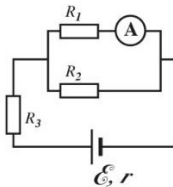
**Ответ:**  $t = 9$  с.

**Задача VI.1.3.2. Колебательный контур (15 баллов)**

Темы: колебательный контур, емкость, индуктивность.

**Условие**

В цепи, показанной на рисунке, идеальный амперметр регистрирует ток  $I_1 = 0,50$  А.



Сопротивления резисторов  $R_1 = 1,0$  Ом,  $R_2 = 3,0$  Ом,  $R_3 = 5,0$  Ом.

Определите, какой ток будет течь через каждый резистор. Чему равно  $\epsilon$  ЭДС источника, если его внутреннее сопротивление  $r = 0,25$  Ом.

**Критерии оценивания**

1. Верно использовано равенство напряжений на параллельных участках цепи для определения тока через второй резистор — 3 .
2. Верно использован первый закон Кирхгофа для определения полного тока в цепи — 4 балла.
3. Верно использован закон Ома для полной цепи для определения ЭДС источника — 4 балла.
4. Получен верный ответ — 4 балла.

**Решение**

Напряжение на резисторе  $R_2$  и последовательном соединении резистора  $R_1$  и идеального амперметра одинаковы, то есть  $I_1 R_1 = I_2 R_2$ .

Следовательно:

$$I_2 = \frac{R_1}{R_2} I_1.$$

В любом узле цепи выполняется первый закон Кирхгофа, то есть  $I_3 = I_1 + I_2$ .

По закону Ома для полной цепи:

$$I_3 = \frac{\epsilon}{R_{\text{общ}} + r},$$

где

$$R_{\text{общ}} = R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Таким образом:

$$\epsilon = I_1 \frac{R_1 + R_2}{R_2} \left( R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + r \right).$$

**Ответ:**  $\epsilon = 4,0$  В.

**Задача VI.1.3.3. Под углом к горизонту (25 баллов)**

*Темы: бросок под углом к горизонту.*

**Условие**

Мяч брошен под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту с начальной скоростью  $V_0 = 12,0$  м/с. В верхней точке траектории мяч ударяется о наклонную крышу, составляющую угол  $30^\circ$  с горизонтом. Считая, что удар о крышу единственный, найдите на каком расстоянии от точки броска тело упадет на землю, если удар абсолютно упругий? Через какое время это произойдет?

**Критерии оценивания**

1. Верно определена высота подъема  $h$  и время подъема  $t_1$  — 2 балла.
2. Верно определен угол к горизонту после удара о крышу — 3 балла.
3. Получено верное выражение для общего времени полета — 5 баллов.
4. Получено верное выражение для общего пройденного пути — 5 баллов.
5. Получено верное численное значение для общего времени полета  $t_{\text{уд}}$  — 5 баллов.
6. Получено верное численное значение для общего пройденного пути  $L$  — 5 баллов.

Погрешность ответа:  $\pm 0,1$  с,  $\pm 0,1$  м.

**Решение**

Запишем зависимость скоростей от времени:

$$\begin{cases} v_x = v_0 \cos \alpha, \\ v_y = v_0 \sin \alpha - gt. \end{cases}$$

В верхней точке траектории  $v_y = 0$ , а значит, время подъема:

$$t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}.$$

Высота, на которую поднялся мяч, и расстояние, пройденное мячом до удара:

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g},$$

$$l = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g}.$$

При ударе модуль скорости не меняется, меняется лишь направление:

$$v'_0 = v_0 \cos \alpha.$$

Новый угол к горизонту  $\phi = 2\beta$  после удара о крышу, а уравнения движения примут вид:

$$\begin{cases} x = l + v'_0 \cos(2\beta)t, \\ y = h + v'_0 \sin(2\beta)t - \frac{gt^2}{2}. \end{cases}$$

В момент удара о землю  $y = 0$ , а значит время удара и длина полета:

$$t_2 = \frac{v'_0 \sin 2\beta}{g} + \sqrt{\frac{(v'_0)^2 \sin^2 2\beta}{g^2} + \frac{2h}{g}},$$

$$t_{\text{уд}} = t_1 + t_2 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} + \frac{v'_0 \sin 2\beta}{g} + \sqrt{\frac{(v'_0)^2 (\sin 2\beta)^2}{g^2} + \frac{2h}{g}},$$

$$L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g} + \frac{(v'_0)^2 \sin 4\beta}{g} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2gh}{(v'_0)^2 (\sin 2\beta)^2}}\right).$$

**Ответ:**  $t_{\text{уд}} = 2,7$  с,  $L = 15,1$  м.

**Задача VI.1.3.4. Мальчик и скейт (25 баллов)**

*Темы:* масса, скорость.

**Условие**

Мальчик, стоящий на скейте и держащий два ядра массой  $m = 4,0$  кг каждое, бросает их поочередно в направлении перпендикулярном оси колес скейта со скоростью  $v = 5,0$  м/с относительно скейта. Определить скорость мальчика на скейте после бросков, если масса мальчика со скейтом  $M = 52$  кг.

**Критерии оценивания**

1. Верно определена скорость первого ядра относительно Земли — 5 баллов.
2. Верно использован закон сохранения импульса для определения скорости скейта после первого броска — 5 баллов.
3. Верно определена скорость второго ядра относительно Земли — 5 баллов.
4. Верно использован закон сохранения импульса для определения скорости скейта после второго броска — 5 баллов.
5. Получен верный ответ — 5 баллов.

Погрешность ответа:  $\pm 0,01$  м/с.

**Решение**

Мальчик бросает первое ядро. Скорость первого ядра относительно Земли:

$$\vec{v}'_1 = \vec{v}_1 + \vec{v}.$$

Скорость первого ядра относительно земли в проекции на направление движения ядра определяется как:

$$v'_1 = v - v_1.$$

В начальный момент времени скейт неподвижный, тогда по закону сохранения импульса его скорость  $v_1$  после броска относительно Земли:

$$v_1 = \frac{mv}{2m + M}.$$

Мальчик бросает второе ядро. Скорость второго ядра относительно Земли:

$$\vec{v}'_2 = \vec{v}_2 + \vec{v}.$$

Скорость второго ядра относительно земли в проекции на направление движения ядра определяется как:

$$v'_2 = v - v_2.$$

Тогда из закона сохранения импульса следует, что скорость мальчика на скейте:

$$v_2 = \frac{m(2M + 3m)}{(m + M)(2m + M)}v.$$

**Ответ:**  $v_2 = 0,69$  м/с.

**Задача VI.1.3.5. Оптоволокно (20 баллов)**

Темы: оптика.

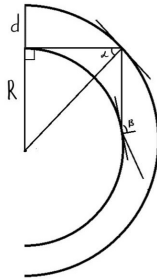
**Условие**

Пучок параллельный световых лучей входит в оптоволоконный кабель с показателем преломления 1,46 и диаметром 0,2 мм, изогнутый по окружности сотрудниками квантовой лаборатории. При каком минимальном радиусе окружности свет передается в кабеле без потерь?

**Критерии оценивания**

1. Идея решения через полное внутреннее отражение — 5 баллов.
2. Записано верное выражение для лучей, выходящим от внутреннего радиуса — 5 баллов.
3. Записана верная конечная формула — 5 баллов.
4. Получен верный ответ — 5 баллов.

Погрешность ответа:  $\pm 0,01$  мм.

**Решение**

Условие полного внутреннего отражения:

$$\sin \alpha = \frac{1}{n}.$$

Лучи, входящие у внешнего радиуса, идут по касательной ко внешней окружности,  $\alpha \simeq 90^\circ$ . Лучи, входящие ближе к внутреннему радиусу, имеют меньший угол падения, а значит имеют больший шанс выйти из световода.

Наименьший угол падения у луча, выходящего от внутреннего радиуса:

$$\sin \alpha = \frac{R}{R+d}.$$

Таким образом:

$$\frac{R}{R+d} \geq \frac{1}{n},$$

$$R \geq \frac{d}{n-1}.$$

Примечание: при отражении от внутренней окружности условие  $\sin \beta \geq \frac{1}{n}$  выполняется автоматически, так как  $\beta \geq \alpha$ .

**Ответ:**  $R = 0,43$  мм.

# Инженерный тур

## Общая информация

Основная задача финального этапа — это разработка квантового оптического измерительного интерферометрического прибора для измерения параметров колебаний окружающих объектов, а также реализация программы постобработки результатов.

## Легенда задачи

В лабораторию квантовых технологий поступила задача от заказчика — создать квантовый сенсор для измерения перемещения объекта.

Вы с коллегами, сотрудниками лаборатории, решили использовать для решения задачи одну из самых распространенных в вашей сфере систем — лазерную. Вы знаете, что благодаря квантовой природе лазерного излучения, сможете достигнуть высокой степени точности работы прибора. Осталось создать прототип устройства: разработать схему устройства, собрать его, настроить и с помощью постобработки получить первые данные, подтверждающие работоспособность вашего прототипа.

Чтобы отчитаться перед заказчиком, вам необходимо также подготовить письменный отчет с подробной инструкцией по использованию вашего прототипа.

## Требования к команде и компетенциям участников

Количество участников в команде: 2–4 человека.

Компетенции, которыми должны обладать члены команды:

- инженер-оптик: разработка, сборка, калибровка оптической схемы интерферометра;
- физик-теоретик: предварительный расчет характеристик, оценка погрешностей измерений и калибровка интерферометра совместно с инженером-оптиком;
- инженер-программист: разработка программного кода для обработки данных (в том числе калибровочных измерений);
- инженер-технолог: оформление сопроводительной документации (описание принципа работы, перечисление технических характеристик, написание методики проведения измерений и обработки результатов).

## Оборудование и программное обеспечение

Таблица VI.2.1: Список электронных компонентов, предоставляемых команде для решения задачи

Наименование	Описание (для чего используется в задаче)
Оптические плиты	Основная монтажная конструкция
Коллиматор	Ввод/вывод излучения из волокна
Оптоволокно	Волноводы для доставки излучения
Фотоприемники	Генерация электрического сигнала пропорционально интенсивности падающему на ФП свету
Оптические держатели	Установка коллиматоров и оптических элементов на оптические плиты
Фотоделительная пластинка	Деление оптического излучения на 2 пучка
Зеркало стационарное	Отражающий элемент
Зеркало на пьезоэлементе	Отражающий элемент, способный изменять положение в пространстве при подачи на него электрического сигнала
Ключ монтажный оптический	Монтаж оптических стоек на плиту
Набор спиртовых безворсовых салфеток для оптики	Чистка оптических элементов
Защитные очки	Защита глаз от попадания лазерного излучения
Осциллографы	Визуализация и сохранение сигналов в цифровом виде
Источники лазерного излучения	Генерация лазерного излучения

## Описание задачи

Команда получает техническое задание — рамочный перечень требований, которым должно удовлетворять их решение. Техническое задание включает в себя перечень предоставляемого оборудования, требуемый контраст интерференционной картины, максимальный уровень шумов на осциллографе.

Решение поставленной задачи состоит из пяти модулей:

- модуль  $A_1$  «Разработка схемы устройства»;
- модуль  $B_1$  «Сборка оптической схемы интерферометра»;
- модуль  $B_2$  «Получение данных»;
- модуль  $C_1$  «Обработка данных»;
- модуль  $D_1$  «Подготовка отчета».

В качестве результатов выполнения инженерной задачи команды должны представить экспертам:

- Чертеж оптической схемы устройства.
- Собранную и отъюстированную (настроенную) оптическую систему устройства с использованием предоставленного организаторами оборудования.
- Осциллограмму и экспериментальный набор данных, полученных с помощью готового устройства из пункта 2.
- Программный код для обработки данных с осциллографа, результат работы программного кода для двух наборов данных, эталонного и экспериментально-

го.

- Текстовый отчет с подробным описанием принципов работы готового квантово-оптического измерительного устройства, принципов работы программного кода, результатами обработки эталонных и экспериментальных данных, погрешностей результатов, пошаговой инструкцией для конечного пользователя.

Устное представление готового квантовооптического устройства на 5–7 мин, сопровождаемое презентацией.

## Система оценивания

В системе оценивания присутствуют два критерия: *objective* (объективный, *O*) и *judging* (судейство, *J*). При объективной оценке балл либо максимальный, либо ноль. Критерий *J* выставляется на основании голосования трех экспертов.

Таблица VI.2.2

Номер модуля	Название модуля	Тип критерия	Описание критерия	Комментарии	Макс. балл
$A_1$	Разработка чертежа интерферометра				
		ОО	Схема пригодна для измерения перемещений зеркал	Вычесть все баллы, если не выполнено	5,00
		O	На схему нанесены габаритные размеры с учетом расположения элементов с точностью до 3 см	Вычесть все баллы, если не выполнено	1,00
		O	На схеме обозначены все элементы интерферометра	Вычесть все баллы, если не выполнено	1,00
		O	Зачтено с первой попытки	Вычесть все баллы, если не выполнено	3,00
		J	Качество чертежа		3,00
				Чертеж неаккуратный и нечитаемый — 0	
				Чертеж со множеством помарок и исправлений, читается с трудом — 1	
				Отсутствуют помарки и исправления, чертеж читается легко — 2	

Таблица VI.2.2

Номер модуля	Название модуля	Тип критерия	Описание критерия	Комментарии	Макс. балл
				Отсутствуют пометки и исправления, все размеры соответствуют действительными или выполнены в масштабе — 3	

Таблица VI.2.3

Номер модуля	Название модуля	Тип критерия	Описание критерия	Комментарии	Макс. балл
$B_1$	Сборка оптической схемы интерферометра				
		О	Собранный интерферометр соответствует представленной ранее схеме	Вычесть все баллы, если не выполнено	5,00
		О	Излучение не возвращается обратно в источник	Вычесть все баллы, если не выполнено	13,00
		О	Разница мощности оптического излучения в плечах не превышает 3dBm	Вычесть все баллы, если не выполнено	3,00
		О	Количество интерференционных полос не более 1	Вычесть все баллы, если не выполнено	5,00
		О	Контраст интерференционной картины не менее 90%	Не менее 90% — 3; от 30% до 90% — 2	3,00
		О	Излучение введено в волокно	Вычесть все баллы, если не выполнено	1,00
		О	Фотоприемник не достиг насыщения	Вычесть все баллы, если не выполнено	1,00
		О	На оптических компонентах отсутствуют следы повреждений и загрязнений	Вычесть все баллы, если не выполнено	3,00

Таблица VI.2.3

Номер модуля	Название модуля	Тип критерия	Описание критерия	Комментарии	Макс. балл
		О	Отсутствуют критические изгибы волокна	Вычесть все баллы, если не выполнено	1,00
		О	Выполнены требования ТБ при работе с лазерным излучением	Вычесть все баллы, если не выполнено	2,00
		О	Зачтено с первой попытки	Вычесть все баллы, если не выполнено	3,00

Таблица VI.2.4

Номер модуля	Название модуля	Тип критерия	Описание критерия	Комментарии	Макс. балл
$B_2$	Получение данных				
		О	Корректно выбран масштаб по вертикальной оси без чоппера	Вычесть все баллы, если не выполнено	1
		О	Корректно выбран масштаб по горизонтальной оси без чоппера	Вычесть все баллы, если не выполнено	1
		О	Сигнал без чоппера занимает как можно большую область на экране осциллографа	Вычесть все баллы, если не выполнено	2
		О	Сигнал без чоппера не выходит за пределы экрана осциллографа	Вычесть все баллы, если не выполнено	1
		О	Корректно выбран масштаб по вертикальной оси с чоппером	Вычесть все баллы, если не выполнено	1
		О	Корректно выбран масштаб по горизонтальной оси с чоппером	Вычесть все баллы, если не выполнено	1
		О	Сигнал с чоппером занимает как можно большую область на экране осциллографа	Вычесть все баллы, если не выполнено	2

Таблица VI.2.4

Номер модуля	Название модуля	Тип критерия	Описание критерия	Комментарии	Макс. балл
		О	Сигнал с чопсером не выходит за пределы экрана осциллографа	Вычесть все баллы, если не выполнено	1

Таблица VI.2.5

Номер модуля	Название модуля	Тип критерия	Описание критерия	Комментарии	Макс. балл
$C_1$	Обработка данных				
		О	Определена частота колебаний зеркала	Вычесть все баллы, если не выполнено	2,00
		О	Определена амплитуда перемещения зеркала	Вычесть все баллы, если не выполнено	2,00
		О	Определена средняя скорость перемещения зеркала	Вычесть все баллы, если не выполнено	3,00
		О	Определены погрешности измерений	Вычесть все баллы, если не выполнено	5,00
		О	Все данные выдаются написанной программой обработки	Вычесть все баллы, если не выполнено	10,00
		О	Программа одинаково хорошо работает на эталонных и экспериментальных данных	Вычесть все баллы, если не выполнено	2,00
		О	Зачтено с первой попытки	Вычесть все баллы, если не выполнено	2,00

Таблица VI.2.6

Номер модуля	Название модуля	Тип критерия	Описание критерия	Комментарии	Макс. балл
$D_1$	Подготовка отчёта				
		О	В презентации приведены возможные источники погрешности измерений	Вычесть все баллы, если не выполнено	3,00

Таблица VI.2.6

Номер модуля	Название модуля	Тип критерия	Описание критерия	Комментарии	Макс. балл
		О	В презентации приведены физические и математические обоснования работы интерферометра и приведенных расчетов	Вычесть все баллы, если не выполнено	3,00
		О	В отчете отражены результаты обработки эталонных и экспериментальных данных	Вычесть все баллы, если не выполнено	1,00
		О	В отчет внесены все погрешности измерений	Вычесть все баллы, если не выполнено	5,00
		Д	Описан принцип настройки интерферометра и работы с готовым устройством		3,00
				Не описан принцип работы — 0	
				Основной принцип присутствует, но помодульно не объяснено — 1	
				Четко представлена работа интерферометра — 2	
				Презентация дает детальное представление о том, как работает интерферометр — 3	
		Д	Качество представление итоговой презентации		3,00
				Сбивчивый, непоследовательный рассказ — 0	
				Логика прослеживается, но общая картина не формируется — 1	

Таблица VI.2.6

Номер модуля	Название модуля	Тип критерия	Описание критерия	Комментарии	Макс. балл
				Уверенное представление, четкая логика, но графический материал презентации не соответствует рассказу — 2	
				Графический материал и устный рассказ создают полную, непротиворечивую картину — 3	
		Ж	Качество ответа на вопросы		3,00
				Отвечает неправильно — 0	
				Ответ в целом верный, но отвечает неуверенно, без достаточной аргументации (ни на один вопрос не ответил хорошо) — 1	
				Корректный ответ с незначительными пометками и на большинство вопросов — 2	
				Подробный развернутый ответ с полноценной уверенной аргументацией на все вопросы — 3	

## Решение задачи

### *Модуль А<sub>1</sub>. Разработать чертеж интерферометра*

В качестве задания для модуля А<sub>1</sub> участникам было предложено разработать чертеж интерферометрического устройства, позволяющего измерять малые перемещения объектов. В качестве такого устройства может выступать интерферометр Майкельсона, где на конце одного из плеч интерферометра устанавливается иссле-

двумый объект.

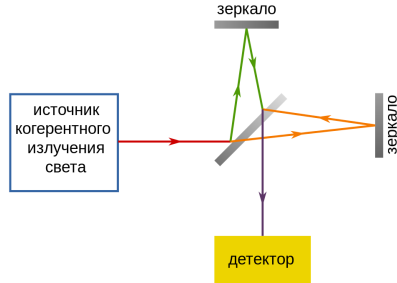


Рис. VI.2.1. Принципиальная схема интерферометра Майкельсона

Чертеж устройства должен отвечать следующим критериям:

- Схема, нарисованная на чертеже, должна быть пригодна для измерения перемещений объекта. В данном задании одно из зеркал является исследуемым объектом. Зеркало закреплено на пьезоэлементе, на который подается синусоидальный сигнал; оно совершает малые перемещения относительно своего начального положения, а следовательно, возможно определить характеристики его колебаний по изменению интерференционной картины на детекторе.
- На схеме установки должны быть обозначены все элементы интерферометра.
- На схеме должны быть нанесены размеры с точностью до 3 см (допуск в 3 см нужен для последующей юстировки оптической схемы).

На рис. VI.2.2 представлен пример чертежа, удовлетворяющий всем критериям оценки.

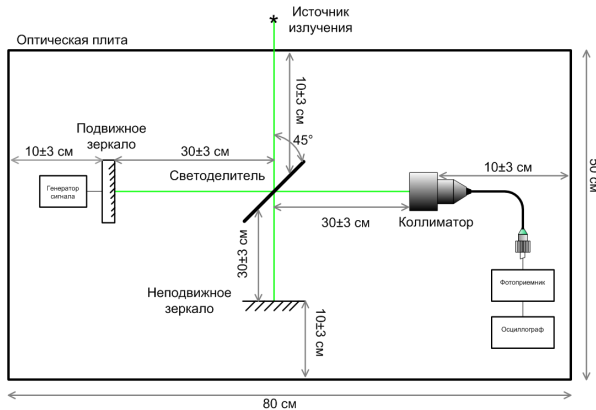


Рис. VI.2.2. Пример чертежа установки

### *Модуль В<sub>1</sub>. Выполнить сборку оптической схемы интерферометра*

В данном модуле было предложено собрать оптическую схему интерферометра и получить интерференционную картину на детекторе.

Последовательность сборки:

1. Расстановка на оптической плите всех элементов, кроме светоделителя, по ранее нарисованному чертежу.
2. Установка светоделителя на пути лазерного луча.
3. Грубая юстировка системы, после которой в волокно должны заходить оба отраженных от зеркал луча, а разница мощностей излучения между плечами интерферометра не должна превышать 3 dBm. Считается, что излучение заходит в волокно, если на разъеме, подключаемом к фотоприемнику, выходящая мощность порядка единиц или десятков мВт (милливатт), при этом поверхность разъема должна ярко светиться.
4. Подключение генератора сигнала для получения изменяющейся интерференционной картины.
5. Точная юстировка системы при помощи микрометрических винтов на элементах для получения одной полосы и интерференционной картины хорошей контрастности (получение полос бесконечной ширины).

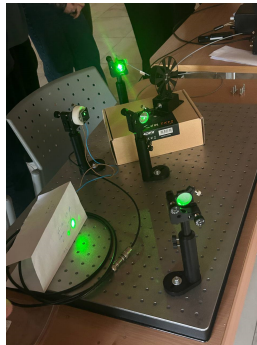


Рис. VI.2.3. Пример собранной и настроенной схемы интерферометр

### *Модуль В<sub>2</sub>. Получить данные с осциллографа*

После сборки схемы требовалось снять показания с осциллографа для последующей обработки. Чтобы с достаточной точностью определить характеристики движения зеркала, необходимо получить на осциллограмме не менее трех точек остановки зеркала. Точку остановки можно определить по характерным отклонениям функции интенсивности от синусоидального сигнала.

Для более точного определения характеристик также требовалось выбрать масштабы развертки осциллограммы, соответствующие характерным параметрам движения и контрастности интерференционной картины.

Количество точек, которыми описывается сигнал, должно удовлетворять теореме Котельникова, то есть частота дискретизации полученного сигнала должна быть как минимум в два раза больше, чем частота исходного синусоидального сигнала — это нужно для восстановления исходного сигнала без потерь от дискретизации.

### *Модуль C1. Выполнить обработку данных*

GitHub репозиторий с программой: <https://github.com/AndreyKe/NTO>.

Описание работы алгоритма:

1. Загрузка данных: программа загружает данные из файла C1\_00000.txt, содержащего информацию о колебаниях зеркала в интерферометрической схеме Майкельсона.
2. Определение частоты колебаний зеркала: с использованием функции `find_peaks` из библиотеки SciPy программа находит пики в данных, определяет период колебаний и вычисляет частоту колебаний зеркала.
3. Определение амплитуды колебаний зеркала: программа анализирует данные на одном периоде колебаний, определяет максимумы видности интерференционной картины и вычисляет амплитуду колебаний зеркала.
4. Определение средней скорости движения зеркала: на основе амплитуды колебаний и периода программа вычисляет среднюю скорость движения зеркала за период.
5. Расчет погрешностей: программа учитывает погрешности осциллографа (2%) и измерения длины волны (0,1%), вычисляя погрешности для частоты, амплитуды и скорости.
6. Вывод результатов: результаты выведены на экран с указанием значений частоты колебаний, амплитуды колебаний зеркала и средней скорости движения зеркала за период, включая погрешности.

### *Пример программы-решения*

Ниже представлено решение на языке Python 3.

```

1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 from scipy.signal import find_peaks
4
5 # Загрузка данных
6 x, y = np.loadtxt('C1_00000.txt', delimiter=',', unpack=True, skiprows=5)
7
8 # Определение частоты колебаний зеркала
9 peaks, _ = find_peaks(-y, height=-1, distance=30, prominence=0.001, width=100)
10 T = (x[peaks[-1]] - x[peaks[0]]) / (len(peaks) - 1)
11 frequency = 1 / T
12
13 # Определение амплитуды колебаний зеркала
14 x_period = x[peaks[0]:peaks[1]]
15 y_period = y[peaks[0]:peaks[1]]
16 wavelength = 532
17 peaks_a, _ = find_peaks(y_period, height=-1, distance=30, prominence=0.001,
    ↪ width=10)

```

```

18 stripes = peaks_a[1:len(peaks_a) // 2 - 1]
19 amplitude = (len(stripes) - 1) * wavelength
20
21 # Определение средней скорости движения зеркала
22 speed = 4 * amplitude / (1000 * T)
23
24 # Расчет погрешностей
25 oscilloscope_error = 0.02
26 wavelength_error = 0.001
27
28 # T_error = T * oscilloscope_error
29 frequency_error = frequency * oscilloscope_error
30 amplitude_error = amplitude * wavelength_error
31 speed_error = speed * (oscilloscope_error + 2 * wavelength_error) # Сумма
   ↳ погрешностей для скорости
32
33 # Вывод результатов с округлением
34
35 print(f'Частота колебаний: {frequency:.1f} ± {frequency_error:.1f}# print(f'Период
   ↳ колебаний: {T*1000:.1f} ± {T_error*1000:.1f} мкс') Гц')
36 print(f'Амплитуда колебаний зеркала: {amplitude:.1f} ± {amplitude_error:.1f} нм')
37 print(f'Средняя скорость зеркала за период: {speed:.0f} ± {speed_error:.0f}
   ↳ мкм/с')
38
39 Output:
40 Частота колебаний: 100.2 ± 2.0 Гц
41 Амплитуда колебаний зеркала: 1596.0 ± 1.6 нм
42 Средняя скорость зеркала за период: 639 ± 14 мкм/с

```

## Модуль D<sub>1</sub>. Подготовить отчет

Возможный план текстового отчета:

1. Введение (описание).
2. Математическое и физическое обоснование проделанной работы:
  - физическое и математическое описание работы устройства;
  - методика проведения экспериментов;
  - методы, используемые для обработки данных и получения результатов, включая методы обработки погрешностей.
3. Приведение результатов работы:
  - расчет требуемых физических величин;
  - расчет погрешностей.
4. Заключение (краткое описание проделанной работы с приведением ее результатов).

Возможный план устного доклада:

1. Вступление, актуальность проделанной работы.
2. Краткое описание проделанной работы, включая все этапы:
  - разработка схемы устройства;
  - сборка схемы устройства;
  - получение экспериментальных данных;
  - методы обработки экспериментальных данных, результаты.
3. Заключение, подведение результатов проделанной работы.

В устной презентации стоит обратить внимание слушателей на преимущества устройства, возможные сценарии его использования, преимущества методов используемых в данной работе.

## Материалы для подготовки

1. Программирование на Python: <http://stepik.org/course/67/>.
2. Основы статистики: <http://stepik.org/course/76/>.
3. Статистика и вероятность: <http://stepik.org/course/68669/>.
4. Обработка данных в Python Pandas: <http://stepik.org/course/83990/>.
5. Оптика: <http://stepik.org/course/85243/>.
6. Электротехника. Физика Олимпиады НТИ: <http://stepik.org/course/74246/>.

# Критерии определения победителей и призеров

## Первый отборочный этап

В первом отборочном этапе участники решали задачи предметного тура по двум предметам: физике и информатике и инженерного тура. В каждом предмете максимально можно было набрать 100 баллов, в инженерном туре 100 баллов. Для того, чтобы пройти во второй этап участники должны были набрать в сумме по обоим предметам не менее 60 баллов, независимо от уровня.

## Второй отборочный этап

Количество баллов, набранных при решении всех задач второго отборочного этапа, суммируется. Победители второго отборочного этапа должны были набрать не менее 42,5 балла, независимо от уровня.

## Заключительный этап

### *Индивидуальный предметный тур*

- физика — максимально возможный балл за все задачи — 100 баллов;
- информатика — максимально возможный балл за все задачи — 500 баллов.

### *Командный инженерный тур*

Команды заключительного этапа получали за командный инженерный тур от 0 до 100 баллов: команда, набравшая наибольшее число баллов среди других команд, становилась командой-победителем.

Все результаты команд нормировались по формуле:

$$\frac{100 \times x}{MAX},$$

где  $x$  — число баллов, набранных командой,

$MAX$  — число баллов, максимально возможное за инженерный тур.

В заключительном этапе олимпиады индивидуальные баллы участника складываются из двух частей, каждая из которых имеет собственный вес: баллы за индивидуальное решение задач по предметам (физика, информатика) с весом  $K_1 = 0,15$  каждый предмет и баллы за командное решение задач инженерного тура с весом  $K_2 = 0,7$ .

Итоговый балл определяется по формуле:

$$S = K_1 \cdot (S_1 + S_2) + K_2 \cdot S_3,$$

где  $S_1$  — балл первой части заключительного этапа по физике (предметный тур) в стобальной системе ( $S_{1 \text{ макс}} = 100$ );

$S_2$  — балл первой части заключительного этапа по информатике (предметный тур) в стобальной системе ( $S_{2 \text{ макс}} = 100$ );

$S_3$  — итоговый балл инженерного командного тура в стобальной системе ( $S_{3 \text{ макс}} = 100$ ).

Итого максимально возможный индивидуальный балл участника заключительного этапа = 100 баллов.

### ***Критерий определения победителей и призеров***

Чтобы определить победителей и призеров (независимо от класса) на основе индивидуальных результатов участников, был сформирован общий рейтинг всех участников заключительного этапа. С начала рейтинга были выбраны 2 победителя и 6 призеров (первые 25% участников рейтинга становятся победителями или призерами, из них первые 8% становятся победителями, оставшиеся — призерами).

### ***Критерий определения победителей и призеров (независимо от уровня)***

<b>Категория</b>	<b>Количество баллов</b>
Победители	65,46 и выше
Призеры	От 58,36 до 62,80

# Работа наставника после НТО

Участие школьника в Олимпиаде может завершиться после любого из этапов: первого или второго отборочных либо после заключительного этапа. В каждом случае после завершения участия наставнику необходимо провести с учениками рефлексию — обсудить полученный опыт и проанализировать, что позволило достичь успеха, а что привело к неудаче.

Важная задача наставника — превратить неудачу в инструмент будущего успеха. Для этого необходимо вместе с учениками наметить план развития компетенций и подготовки к будущему сезону Олимпиады. Подробные материалы о проведении рефлексии представлены в курсе «Наставник НТО»: <https://academy.sk.ru/events/310>.



Наставнику важно проинформировать руководство образовательного учреждения, если его учащиеся стали финалистами, призерами и победителями. Публичное признание высоких результатов дополнительно повышает мотивацию.

В процессе рефлексии с учениками, не ставшими призерами или победителями, рекомендуется уделить особое внимание особенностям командной работы: распределению ролей, планированию работы, возникающим проблемам. Для этого могут использоваться опросники для самооценки собственной работы и взаимной оценки участниками других членов команды (P2P). Такие опросники могут выявить внутренние проблемы команды, для решения которых в план подготовки можно добавить мероприятия, направленные на ее сплочение.

Стоит рассказать, что в истории НТО было много примеров, когда не победив в первый раз, на следующий год участники показывали впечатляющие результаты, одержав победу сразу в нескольких профилях. Конечно, важно отметить, что так происходит только при учете прошлых ошибок и подготовке к Олимпиаде в течение года.

Еще одним направлением работы наставника после НТО может стать создание кружка по направлению профилей или по формированию необходимых компетенций: программирование, электроника, робототехника, 3D-моделирование и т. п. Формат подобного кружка может быть различным: короткие модули, дополнительные курсы, факультативы, группы дополнительного образования. Для создания кружков можно воспользоваться образовательными программами, опубликованными на сайте НТО: <https://ntcontest.ru/mentors/education-programs/>.



Важным фактором успешного участия в следующих сезонах НТО может стать поддержка родителей учеников. Знакомство с родителями помогает наставнику продемонстрировать им важность компетенций, развиваемых в процессе участия в НТО, для будущего образования и карьеры школьников. Поддержка родителей помогает мотивировать участников и позволяет выделить необходимое время на занятия в кружке.

С участниками-выпускниками наставнику рекомендуется обсудить их дальнейшее профессиональное развитие и его связь с выбранными профилями НТО. Отдельно можно обратить внимание на льготы для победителей и призеров, предлагаемые в вузах с интересующими ученика направлениями. Кроме того, ряд вузов предлагает льготы для всех финалистов НТО, а также учитывает результаты Конкурса цифровых портфолио «Талант НТО».

