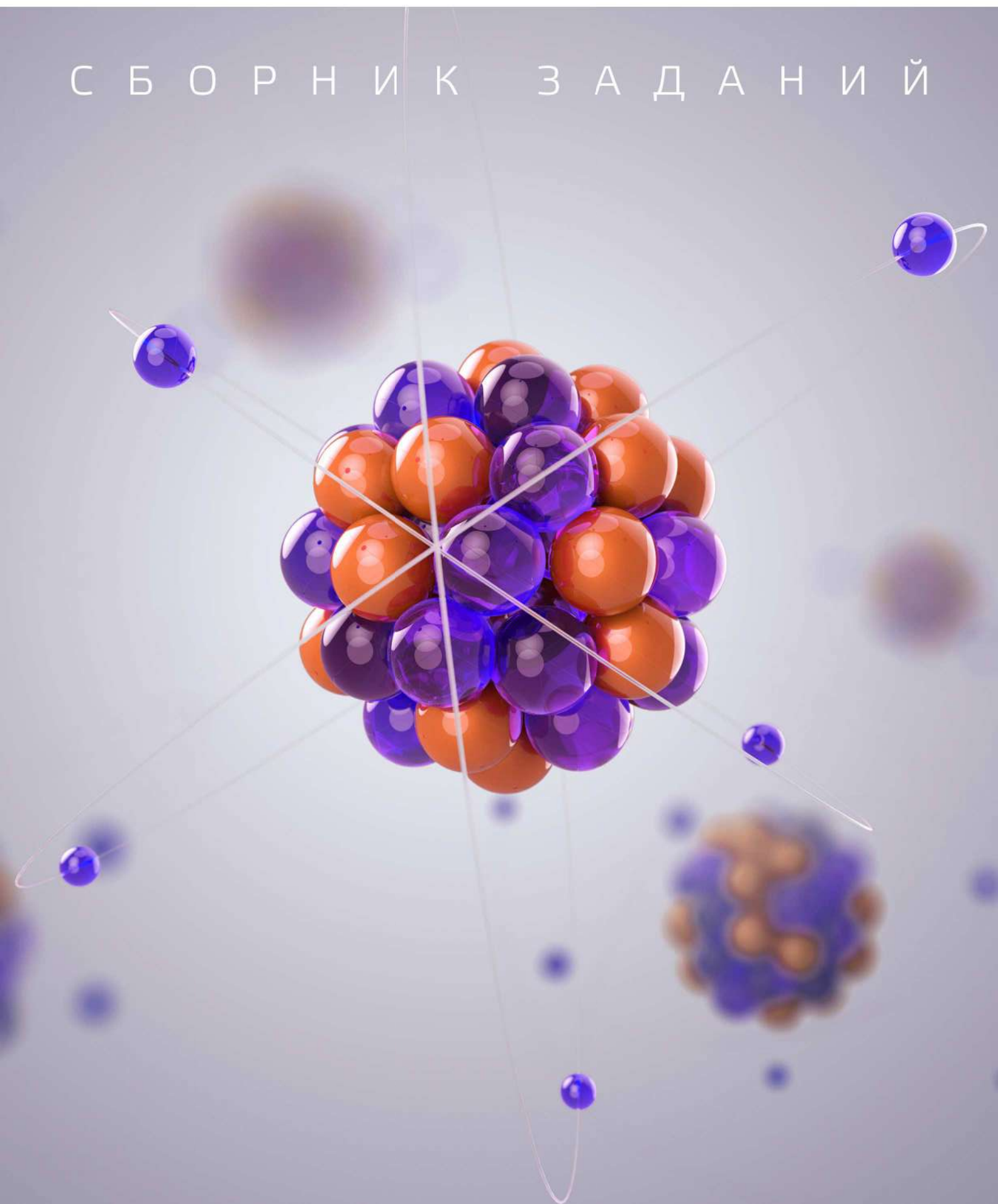




СБОРНИК ЗАДАНИЙ



Авторами заданий являются научные сотрудники и преподаватели химического, физического, биологического факультетов, факультета наук о материалах МГУ имени М.В.Ломоносова и других организаций, привлекавшихся Оргкомитетом Олимпиады для разработки учебно-методических материалов. Авторство материалов сохранено за разработчиками. Запрещается использование данных материалов для коммерческих целей. Ссылка на принадлежность данных материалов Всероссийской Интернет-олимпиаде по нанотехнологиям (<http://enanos.nanometer.ru>) обязательна при любом их упоминании.

Список авторов (в алфавитном порядке):

Байжуманов Адиль Ануарович
Берекчиян Михаил Вартанович
Бидыло Тимофей Иванович
Браже Алексей Рудольфович
Браже Надежда Александровна
Гарифуллин Булат Назирович
Гонгальский Максим Брониславович
Гудилин Евгений Алексеевич
Дроздов Андрей Анатольевич
Еремин Вадим Владимирович
Жигунов Денис Михайлович
Коробов Михаил Валерьевич
Макеева Екатерина Анатольевна
Никельшпарг Эвелина Ильинична
Павликов Александр Владимирович
Паршина Евгения Юрьевна
Юсипович Александр Иванович

Содержание

Элементы и Люди	6
Задание	8
National Student Team Contest	10
Задание	11
Конкурс тьюторов	13
Задание	14
Просто о сложном	16
Задание	18
Гениальные мысли	19
Задание	21
Юный эрудит	23
Нанообъекты	26
Решение (Нанообъекты)	27
Масштаб	29
Решение (Масштаб)	30
Единицы измерения для наномира	31
Решение (Единицы измерения для наномира)	32
Нанозагадки	33
Решение (Нанозагадки)	34
Нанозагадки про учёных	35
Решение (Нанозагадки про учёных)	36
Я художник, я так вижу	37
Решение (Я художник, я так вижу)	38
Кто больше?	39
Решение (Кто больше?)	41
Бабочки	42
Решение (Бабочки)	43
Окраска стекол	44
Решение (Окраска стекол)	47
Плоский бакибол	48
Решение (Плоский бакибол)	49
Ромбоэдр	50
Решение (Ромбоэдр)	51
Самосборка	52
Решение (Самосборка)	55
Авария на нанофабрике	58
Решение (Авария на нанофабрике)	59
Кроссворд	60
Решение (Кроссворд)	62
Нанофилворд	64

Решение (Нанофилворд)	65
Химия для школьников	67
Наноалмазы	69
Решение (Наноалмазы)	70
Активные порошки	73
Решение (Активные порошки)	74
Кубок Ликурга	75
Решение (Кубок Ликурга)	77
Фотокатализаторы	79
Решение (Фотокатализаторы)	80
Фуллерен с нечетным числом атомов	82
Решение (Фуллерен с нечетным числом атомов)	83
Наноструктурированный источник тока	85
Решение (Наноструктурированный источник тока)	86
Частицы золота	87
Решение (Частицы золота)	88
Нанотехнологии в стоматологии	90
Решение (Нанотехнологии в стоматологии)	92
Расшифровка пептида	94
Решение (Расшифровка пептида)	95
Модификации	99
Решение (Модификации)	100
Физика для школьников	102
Распыление наночастиц	104
Решение (Распыление наночастиц)	105
Графен под микроскопом	106
Решение (Графен под микроскопом)	107
Оптический пинцет	109
Решение (Оптический пинцет)	110
Нанопозиционер	111
Решение (Нанопозиционер)	112
Оптический профилометр	113
Решение (Оптический профилометр)	114
Плотнупакованные нанокристаллы	115
Решение (Плотнупакованные нанокристаллы)	116
Магнитные наночастицы	117
Решение (Магнитные наночастицы)	118
Нанодинамик	120
Решение (Нанодинамик)	121
Кровяной наногенератор	122
Решение (Кровяной наногенератор)	123
Просвечивающий электронный микроскоп	124
Решение (Просвечивающий электронный микроскоп)	125

Биология для школьников	127
Наноантибиотик	130
Решение (Наноантибиотик)	131
Молекулярный мотор	132
Решение (Молекулярный мотор)	133
Настройка фотосинтеза	134
Решение (Настройка фотосинтеза)	136
Вкусный вопрос	138
Решение (Вкусный вопрос)	139
Что Вы знаете о крови?	140
Решение (Что Вы знаете о крови?)	142
Наследники богатыря	144
Решение (Наследники богатыря)	146
Экзобиология	147
Решение (Экзобиология)	148
Гематоэнцефалический барьер и нанороботы	150
Решение (Гематоэнцефалический барьер и нанороботы)	151
Необычные “кукухо”	152
Решение (Необычные “кукухо”)	153
Антитела природные и искусственные	154
Решение (Антитела природные и искусственные)	155
Математика для школьников	156
Геометрия радиолярий	159
Решение (Геометрия радиолярий)	160
Мутации: и целого мира мало	161
Решение (Мутации: и целого мира мало)	162
Аэрогель	163
Решение (Аэрогель)	164
Ребус	165
Решение (Ребус)	166
Поиск наномотивов в ДНК E. Coli	167
Решение (Поиск наномотивов в ДНК E. Coli)	169
Нетипичный симметричный фуллерен	171
Решение (Нетипичный симметричный фуллерен)	172
Симметрия и изомеры	173
Решение (Симметрия и изомеры)	174
Вот, новый поворот	176
Решение (Вот, новый поворот)	180
Медно-фосфорные каркасы	183
Решение (Медно-фосфорные каркасы)	185
Устойчивость магических кластеров	188
Решение (Устойчивость магических кластеров)	190
Икс-файлы	193

Икс-файлы	193
Решение (Икс-файлы)	200
Викторина для школьников	205
Викторина для школьников	205
Решение (Викторина для школьников)	225
Задания очного тура	237



Элементы и Люди

Специальный конкурс

Категория участников: школьники, студенты, аспиранты, молодые ученые, специалисты

Конкурс, посвященный 150-летию юбилею Периодической таблицы химических элементов Д.И. Менделеева. Организован совместно с Российским Химическим Обществом имени Д.И.Менделеева, РХТУ имени Д.И.Менделеева и порталом Mendeleev.info. Конкурс проводится в рамках Международного года Периодической таблицы химических элементов, объявленного ООН в 2017 году.

Задание

Конкурс посвящен 150-летию Периодической таблицы химических элементов Д.И. Менделеева и включает три компонента: визуальный, научно-популярный и научный. Иными словами, заявка состоит из фотографии, научно-популярного эссе и краткого научного сообщения (пояснений), подготовленных по одной и той же теме на основе результатов научно-исследовательской / проектной работы авторов (школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, специалистов).

Участникам необходимо максимально раскрыть роль периодического закона или особенностей отдельных элементов, их групп и семейств в какой-либо из областей науки и техники, например, в химии, химической технологии, геологии, минералогии, биологии, медицине, нанотехнологии, материаловедении, технике и технологии промышленных (инновационных) устройств. Конкурс проводится [Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова](#) (МГУ), [Фондом Инфраструктурных и Образовательных Программ](#) (ФИОП), [РХТУ имени Д.И.Менделеева](#) совместно с [Российским Химическим Обществом имени Д.И.Менделеева](#) и порталом [Mendeleev.info](#).

Работа на конкурс предоставляется только через сайт Олимпиады (<http://enanos.nanometer.ru>) в виде одного файла заявки в формате pdf (форма - в Приложении 1).

Авторам лучших работ будет предложено членство в РХО им. Д.И. Менделеева (в течение 3 лет, бесплатно) и погашение оргвзноса на Менделеевском Съезде 2019 года (одному

победителю также будут компенсированы затраты на проживание) – крупнейшей химической и материаловедческой конференции с международным участием в Российской Федерации. В качестве дополнительных возможностей студенты, аспиранты, молодые ученые могут быть приглашены докладчиками на молодежную секцию Менделеевского Съезда 2019 года. Работы авторов с их согласия могут быть опубликованы на сайте www.nanometer.ru, в журнале "Химия и жизнь" и других научно-популярных журналах, а также на специализированном портале Mendeleev.info, участвующем в программе мероприятий юбилейного года Периодической таблицы элементов Д.И. Менделеева.

Для участия в конкурсе необходимо ознакомиться с положением и отправить через сайт работу, представленную согласно форме (файл с заданием ниже).



Элементы и люди. Конкурс, посвященный 150-летнему юбилею Периодической таблицы химических элементов Д.И. Менделеева Форма заявки на участие в конкурсе

Работа на конкурс предоставляется только через сайт Олимпиады (<http://enanos.nanometer.ru>) в виде одного файла заявки в формате pdf. Форматирование текста – размер шрифта 12 pt, одинарный межстрочный интервал, лист формата А4, отступы по 2 см от всех краев листа. Файл – не более 10 Мб. Файл необходимо загрузить на сайт Олимпиады в раздел Конкурсы – конкурс "Элементы и Люди", предварительно создав личный профиль на сайте или отредактировав (обновив) существующий.

*Фотографии (разрешение фотографии – 150-300 точек на дюйм, ориентация – портретная или альбомная; допускается использование графических редакторов для улучшения качества изображения, создания коллажей, внедрения элементов компьютерной графики, текста и прочее.) должны быть сделаны участником конкурса **самостоятельно или от лица коллектива авторов**, не должны нарушать права третьих лиц, не быть плагиатом, как и остальные части заявки.*

На конкурс можно подать несколько работ, при этом принимаются только индивидуальные заявки. При подаче работы необходимо включить в нее следующие блоки:

Фото 1. "Элемент" – художественность, качество, оригинальность (до 15 баллов)

Основная фотография, демонстрирующая значимость Периодической таблицы Д.И.Менделеева в науке и технике, уникальность свойств отдельных элементов, использование периодичности в изменении свойств и пр. Фотография должна быть в явном виде, по смыслу связана с последующими частями заявки – научно-популярным эссе и научными пояснениями к нему.

Нужно: научная или художественная фотография явления, процесса, материала, минерала, макрофотография элементов структуры, поверхности, изображение с электронного микроскопа, сканирующей зондовой микроскопии и проч., в том числе продукты различных типов литографии в виде изображения элементов, их группы, всей периодической системы, историческое изображение, инфографика, аэрофотосъемка и др.

Не нужно: фотографии тех или иных изображений периодической системы элементов в быту, на предметах быта, в учебниках, учебных классах, аудиториях и прочее, в виде предметов интерьера и т.д. (предмет конкурса прошлого года).

Фото 2. "Человек" – художественность, качество, оригинальность (до 10 баллов)

Личная художественная фотография автора, репортажная фотография автора и проводимого им эксперимента, фотография автора в условиях лаборатории и т.д.

Эссе (текстовая часть 1) – научно-популярное эссе (до 30 баллов)

Эссе включает заголовок, подзаголовок и другие необходимые по мнению автора структурные элементы. Оценивается полнота, художественный стиль, оригинальность подачи материала, популярность изложения, самодостаточность и лаконичность. Формат изложения выбирается самим участником: очерк, статья, репортаж, интервью и т.д. Возможно включение небольшого количества иллюстраций. Эссе должно быть связано с фотографиями по смыслу или иным другим понятным читателю образом.

Факты (текстовая часть 2) – краткое научное сообщение (до 30 баллов)

"Факты" должны писаться в формате расширенного абстракта и включать заголовок, автора, организацию, текстовый блок, ссылки на источники. Оценивается научная и практическая значимость, актуальность, новизна. Факты должны пояснять (быть связанными) с фотографией и научно-популярным эссе и помогать специалистам понять существо проблемы.

Первоисточники (текстовая часть 3) – вклад в работу и список публикаций (до 15 баллов)

В данном разделе необходимо привести краткую информацию о себе: указать список собственных наиболее важных статей и других публикаций (не более 10), места работы или учебы, премии и награды, вклад в представленную работу.

Всего – 100 баллов



National Student Team Contest

National Student Team Contest

Категория участников: bachelor and master students

The competition among bachelor and master students of higher school in Russia considering theoretical, experimental and creative skills based on nanotechnology and nanomaterials subjects. The Contest selects the best **national team members** for participation in the International NanoOlympiad contest on nanotechnology

Задание

The National Student Team Contest is a national stage of the International Olympiad on Nanotechnology (International NanoOlympiad, INO) having a goal to select an effective and capable student team for participation in INO with a support of the Organizing Committee of the Russian Internet Olympiad on Nanotechnology (RION) "Breakthrough to the Future".

The INO is an annual collaborative international event which holds an international competition among university level students (please find the application form below) and could combine a pre-olympic scientific conference for young scientists and the Olympiad itself. INO is organized to improve motivation of the students towards deeper knowledge in nanotechnology and better skills for innovative applications of real scientific and industrial problems. It is also a platform for international collaboration and networking in the relevant areas of nanotechnology. Participants propose their competitive ideas and plans as nanotechnology based solutions for focused problems related to global challenges. These rules are based on regulations of RION and take into consideration of the regulations of INO.



National Student Team Contest Application Form

Recommended structure of the Part 1 (scientific proposal)

Scientific Proposal (SP) of the joint Proposal demanded for all the participants of the National Student Team Contest **(totally 60% of scores)**

SP is the first part of the combined proposal demanded from all the participants of the National Student Team Contest to be successfully selected for the participation in the International Olympiad on Nanotechnology (INO). Another, second, part includes the Implementation Proposal (Part 2, IP, Appendix 2). Both Part 1 and Part 2 must be presented as a single file of the joint proposal with all the text descriptions, illustrations, references etc. within the file.

Language: English

Aim: to represent scientific and experimental overview / background of a proposed project

Recommended length: 5 – 7 pages with all demanded illustrations (A4 size, 2 cm margins from all the sides, Arial 14 pt font, single space)

Project scientific / experimental description and scores:

- *Project title* (3 – 20 words, score **0 – 2**)
- *Abstract* (10 – 300 words, score **0 – 8**)
- *Introduction* (a global problem, project aim, tasks, actuality, novelty, score **0 – 10**)
- *Approach* (suggested possible solutions, experimental procedures and features, etc., score **0 – 10**)
- *Discussion* (explanations of scientific novelty and effectiveness of the suggested solutions and approaches, score **0 – 25**)
- *Descriptive conclusions* (score **0 – 3**)
- *References* (score **0 – 2**)

Total score – 60

Recommended structure of the Part 2 (implementation proposal)

Implementation Proposal (IP) of the project results of the joint Proposal demanded for all the participants of the National Student Team Contest **(totally 40% of scores)**

IP is the second part of the combined proposal demanded from all the participants of the National Student Team Contest to be successfully selected for the participation in the International Olympiad on nanotechnology (INO). Another, first, part includes the Scientific Proposal (Part 1, SP, Appendix 1). Both Part 1 and Part 2 must be presented as a single file of the joint proposal with all the text descriptions, illustrations, references etc. within the file.

Language: English

Aim: to represent and explain the practical impact of the proposed project and its possible commercial implementations

Recommended length: 2 – 3 pages with all needed illustrations (A4 size, 2 cm margins from all the sides, Arial 14 pt font, single space)

Project commercial / implementation impacts and scores:

- *Implementation* (possible practical applications of the project in devices / products, score **0 – 10**)
- *Impact* (focused explanation why the project can influence our life / society, score **0 – 10**)
- *Analogues* (comparison with analogues to show novelty and effectiveness, score **0 – 10**)
- *Cost* (numbers and estimations why the project results would be attractive for global or local market, implementation schedule, protection of intellectual properties, possible start up investments, cost effectiveness and possible income / earning by years, stages of project implementation and growth, score **0 – 10**)

Total score – 40



Конкурс тьюторов

Конкурс Тьюторов

Категория участников: студенты, аспиранты, молодые ученые, учителя, преподаватели

Конкурс кураторов (наставников, тьюторов, преподавателей) проектной деятельности школьников.

Задание

В современной системе образования наставник, преподаватель, тьютор, курирующий проектную деятельность школьников, играет все большую роль. Тьютор является ключевым звеном в выборе темы и обсуждении способов достижения результатов, в мотивации школьников на выполнение проекта, незаменимым помощником в корректной интерпретации полученных результатов и поиске перспектив развития проекта. Быть тьютором – значит быть неординарным человеком, сподвижником, творцом ярких идей. Ежегодный конкурс тьюторов призван помочь нашей молодой школьной смене, обществу найти этих редких и крайне важных людей, чтобы поделиться их идеями и достижениями, вдохновить школьников на новые открытия и формирование их научного мировоззрения.

Для участия в конкурсе Вам необходимо ознакомиться с положением и предоставить паспорт проекта по предлагаемой форме (файл с заданием ниже).



Конкурс тьюторов (заочный тур) **Форма заявки на участие в конкурсе – паспорт проекта**

Паспорт проекта предоставляется на конкурсной основе для отбора лучших руководителей проектных команд школьников и рассматривается как внутренний конфиденциальный конкурсный документ (не публикуется на сайте, школьникам не передается). Файл заявки в формате pdf необходимо загрузить на сайт Олимпиады в раздел Конкурсы – «Конкурс тьюторов», предварительно создав личный профиль на сайте Олимпиады или отредактировав (обновив) существующий.

Автор-руководитель проекта (не оценивается)

Фамилия, имя, отчество куратора проекта полностью.

Социальный статус, ученая степень (не оценивается)

Указывается текущий статус в настоящий момент и ученая степень (при наличии):

Организация (не оценивается)

Место учебы / работы.

Перечень достижений в науке, технике, работе со школьниками, опыт образовательной деятельности (до 10 баллов)

Краткое жизнеописание. Объем – до 1000 знаков.

Координаты для связи (не оценивается)

Телефон, адрес электронной почты, сайт, соцсети (при наличии).

Название проекта или образовательной программы (мероприятия, материалов) по поддержке и развитию проектной деятельности (до 1 балла)

Краткая аннотация (до 3 баллов)

Объем – до 500 знаков.

Научно-популярное описание (до 8 баллов)

Примерная структура блока: введение, состояние дел в предметной области проекта, актуальность, новизна, цель, задачи, рисунки, список источников. Объем – до 3 000 знаков.

Целевая аудитория школьников (не оценивается)

Указывается, для школьников каких классов предназначен проект (мероприятие, материалы).

Методы работы со школьниками (до 10 баллов)

Краткое описание образовательных технологий, конкретных методических и психологических приемов, которые куратор планирует использовать в проекте для работы со школьниками. Также указываются способы организации самостоятельной работы школьников, целеполагание, описание методов развития самостоятельности и творчества школьников, описание задач, на решение которых направлен проект, и навыков, которые будут получены участником проекта в результате выполнения. Объем – до 2000 знаков.

Оборудование и технические средства (до 5 баллов)

Приводится описание оборудования и иных технических средств.

Материалы и ресурсы (до 5 баллов)

Перечень необходимых реактивов, расходных материалов, программного обеспечения, стандартных инженерных компонентов и составляющих.

Предостережения по технике безопасности (до 2 баллов)

Объем – до 500 знаков.

Предполагаемый план-график выполнения проекта (до 20 баллов)

Следует предоставить план реализации проекта (мероприятия и др.), включая теоретическую, экспериментальную часть, подготовку отчета и презентации. План должен быть привязан к задачам выполнения проекта и вести к достижению основной цели проекта. При планировании желательно обозначить блоки / стадии по (1) анализу предмета темы работы и современного состояния дел с участием школьников и выбора ими путей решения задач, (2) получению веществ и материалов школьниками, (3) разработке конструкции прототипа школьниками, (4) созданию / сборке устройства или опытного образца школьниками, (5) испытанию / анализу образца / прототипа с участием школьников, (6) сопоставлению с аналогами самими школьниками, (7) анализу перспектив практического использования в результате самостоятельной работы школьников. В случае, если мероприятие или материалы по поддержке проектной деятельности не могут быть рассмотрены в рамках данного плана, автор заявки вправе использовать свою структуру предоставления пояснений.

Методы анализа результатов и их сопоставления с аналогами / близкими известными разработками (до 6 баллов)

Необходимо описать, как планируется организовать работу школьников по анализу полученных результатов, поиску и сопоставлению с аналогами, защите новизны сделанной ими разработки с проведением оценочного анализа себестоимости разработки, возможных путей ее производства, внедрения, доступности рынка для коммерциализации и рекламы. Школьники должны практически получить простейшие представления по маркетинговым исследованиям и технопредпринимательству. Объем – до 1000 знаков.

Всего – 70 баллов



Просто о сложном

Просто о сложном

Категория участников: студенты, аспиранты, молодые ученые

Конкурс научно-популярных статей, написанных авторами на основе своих публикаций в высокорейтинговых научных журналах, рассматривающих различные аспекты нанотехнологий. В научно-популярной статье авторам необходимо раскрыть суть разработки и объяснить сложные аспекты своей научной работы простым языком. Конкурс проводится совместно с Автономной некоммерческой организацией "Электронное образование для nanoиндустрии" (eNANO, ФИОП).

Задание

Самые выдающиеся научные и инженерные работы в России и во всем мире создаются талантливыми молодыми людьми – студентами, аспирантами, молодыми учеными, которые могут делиться своим опытом со всеми окружающими ими людьми. Известно, что если одной фразой нельзя выразить смысл или идею самой сложной работы, то автор данной идеи, вероятно, сам не понимает ее до конца. Это особый талант – правильно объяснять простыми словами сложные вещи. Им должны обладать не только научные журналисты и выдающиеся лекторы и ораторы, но и сами ученые – творцы новых идей и открытий. Именно поэтому настоящий Конкурс предназначен для тех **студентов, аспирантов, молодых ученых**, которые готовы **популяризовать собственные научные идеи** и идеи научных групп, в которых они работают.

Участникам конкурса предлагается представить не обычную, исследовательскую, а **научно-популярную** статью по актуальной тематике. При этом основой для этого материала должны быть **собственные тематические публикации в рецензируемых научных журналах**. Вторым обязательным условием является популярность изложения. Текст должен быть понятен самому широкому кругу читателей, а не только специалистам в данной области. Научно-популярная статья должна быть написана на основе собственных научных исследований (исследований научной группы), результаты которых опубликованы в профильных (ведущих) научных журналах. При этом участник конкурса должен быть автором / соавтором одной или нескольких подобных научных статей, на основе которых им лично готовится научно-популярная статья, которая подается на конкурс. То есть фактически **участник конкурса должен перевести свои достижения с научного языка на научно-популярный, понятный для самой широкой публики, не теряя при этом сути своей работы или цикла работ**. Оригиналы научно-

исследовательских статей не рассматриваются как работы на конкурс, но их наличие дает дополнительные баллы при подаче на конкурс научно-популярной оригинальной статьи.

Для участия в конкурсе необходимо ознакомиться с положением и отправить через сайт работу, представленную согласно форме (файл с заданием ниже).



Конкурс работ молодых ученых «Просто о сложном» (заочный тур) Форма заявки на участие в конкурсе

Работа на конкурс предоставляется только через сайт Олимпиады (<http://enanos.nanometer.ru>) в виде одного файла заявки в формате pdf. Форматирование текста – размер шрифта 12 pt, одинарный межстрочный интервал, лист формата А4, отступы по 2 см от всех краев листа. Файл – не более 10 Мб. Файл необходимо загрузить на сайт Олимпиады в раздел Конкурсы – конкурс "Просто о сложном", предварительно создав личный профиль на сайте или отредактировав (обновив) существующий.

1. Авторы, название статей в ведущих научных журналах (5 баллов).

Указать список статей с прямыми гиперссылками на них на сайтах журналов, на основе которых пишется научно-популярная статья. Объем – не более 1000 символов.

2. Самостоятельно подготовленный иллюстративный материал (5 баллов).

Включает фото, схемы, инфографику, рисунки и т.д. Объем – не более 5 иллюстраций.

3. Научно-популярная статья (35 баллов).

Статья включает заголовок, подзаголовок, введение и другие необходимые структурные элементы. Оценивается полнота, стиль, оригинальность подачи материала, популярность изложения, самодостаточность и лаконичность. Формат изложения выбирается самим участником: очерк, статья, репортаж, интервью и т.д. Объем – не более 10 страниц.

4. CV (жизнеописание) (5 баллов).

Включает в себя общий список публикаций, места работы или учебы в РФ и вне ее пределов, премии и награды. Объем – не более 2 страниц.

5. Описание собственного вклада в работу (5 баллов).

Объем – не более 1 страницы.

6. Наличие сайта или блога, посвященного рассматриваемой теме (5 баллов).

Всего – 60 баллов.



Гениальные мысли

Гениальные мысли

Категория участников: школьники 5 - 11 классов

Конкурс авторефератов **школьных проектов**. Победители заочного этапа будут приглашены на очный тур для презентации своего проекта. Баллы по конкурсу не суммируются с баллами по комплексу предметов.

Задание

Развитие проектной деятельности учащихся является тенденцией современного школьного образования. В рамках конкурса "Гениальные мысли" рассматриваются творческие, исследовательские работы школьников, выполненные самостоятельно (под руководством учителя, научного консультанта) в области нанотехнологий. Основным критерием для участия в конкурсе служит оригинальность выполненной работы и ее продуманное изложение самим школьником в виде автореферата – краткого пояснения сути и основных результатов своей собственной работы, в соответствии с предлагаемым в Конкурсе планом предоставления работы. При этом работа может быть полностью завершена или находиться на стадии планирования экспериментальной части проекта с четким пониманием концепции концепции, сути и подходов по реализации работы, или же представлять собой оригинальную творческую работу. Во всех случаях подготовленный школьником автореферат, написанный по предлагаемой форме в файле с заданием ниже, является конечной и единственной работой на конкурс, призванной убедить Жюри в обоснованности, реалистичности, актуальности, новизне, оригинальности материала, предоставляемого школьником в кратком изложении. Представлять полнотекстовые файлы всей работы и полную презентацию результатов на стадии заочного отбора проектов не требуется.

Для участия в творческом конкурсе проектных работ "Гениальные мысли" необходимо изложить в соответствии с предложенным шаблоном "Автореферата школьного проекта" (файл с заданием ниже) краткое содержание уже подготовленного (прошедшего апробацию, опубликованного) или готовящегося школьного проекта научно-исследовательского характера, имеющего отношение к наноматериалам и нанотехнологиям, или свою творческую работу, также в области нанотехнологий.

На конкурс принимаются только индивидуальные заявки.

Более подробная информация приведена в [положении о конкурсе](#).



Конкурс для школьников «Гениальные мысли» (заочный тур) Форма заявки на участие в конкурсе – автореферат проекта

Жюри оценивает новизну, смысл работы и ее близость к области нанотехнологий, оригинальность и качество подготовки автореферата. **Просьба не превышать общий размер работы – не более 10 страниц.** Формат текста – Times New Roman, размер шрифта – 12 pt, расстояние между строками в абзаце – один интервал. Формат файла – *.pdf.

Ниже указаны основные разделы автореферата с пояснениями и максимальными баллами за каждый раздел. Требуется внимательно, вдумчиво и лаконично (без потери и упрощения смысла) заполнить все разделы, сохранив их нумерацию. В работу допускается вставлять разумное количество важнейших иллюстраций и таблиц. Не следует вместо автореферата подавать на конкурс саму проектную работу, это приведет к снижению количества баллов за данный конкурс. Подавая работу на конкурс, участник тем самым гарантирует, что он **самостоятельно подготовил настоящий автореферат и получил согласие соавторов на участие в конкурсе, а также подтверждает отсутствие несогласованных заимствований работ третьих лиц.**

1. Название работы. (1 балл)

Название должно иметь отношение к области нанотехнологий

2. Соответствие области нанотехнологий. (5 баллов)

Объясните кратко, почему эта работа относится именно к области нанотехнологий. В своих объяснениях не обязательно следовать общепринятому мнению, однако в этом случае следует доказать правоту своей точки зрения и убедить в этом Жюри.

3. Основная идея работы, цели, задачи. (3 балла)

Сформулируйте кратко, какова основная идея работы, что должно быть достигнуто в работе – цель работы, за счет выполнения каких задач последовательно будет достигаться основная цель.

4. Актуальность и новизна работы. (3 балла)

Сформулируйте кратко, почему работа интересна другим людям, обществу, науке, в чем состоит актуальность работы в целом, а также, что нового предлагается в работе по сравнению с тем, что, возможно, делали другие.

5. Основные результаты. (30 баллов)

Основная часть работы в произвольной форме, со ссылками и иллюстрациями, до 3-7 страниц. Основная часть должна быть самодостаточной и описывать как эксперимент, так и основные результаты (или же творческий полет мысли). В результате прочтения основной части Жюри должно убедиться, что все ранее приведенные задачи работы выполнены, и цель всей работы достигнута.

6. Выводы, заключение, перспективы. (5 баллов)

Данный раздел не должен дублировать задачи, но выводы должны конкретно продемонстрировать выполнение задач работы, а также кратко изложить основные достижения работы и все то новое и оригинальное, что удалось установить автору в ходе выполнения работы.

7. Список цитированных источников. (1 балл)

Список должен быть аккуратен и позволить Жюри судить, что автор работы знает не только свою, но и чужие работы по выбранной тематике.

8. Список достижений участника. (2 балла)

Конкурсы, публикации, ссылки в Интернете в рамках выполнения данной темы / проекта.

Всего – 50 баллов



Юный эрудит

Юный эрудит

Категория участников: школьники 5-7 классов

Блок простых задач для **младших** школьников. Лучшие школьники-младшеклассники будут приглашены на очный тур.

Задания

1. Нанообъекты

Для объектов из приведенного ниже списка определите, относятся они к нанообъектам или нет. Кратко поясните ответ и приведите определение «нанообъекта», которым Вы пользовались. Нанообъекты: нанотрубка, наноспутник, наночастица, наноалмаз, наноробот, наносалфетка...

2. Масштаб

Наночастица и яблоко на изображениях кажутся одинаковыми. А во сколько раз яблоко больше наночастицы? Что будет, если яблоко увеличить во столько же раз? Какой объект имеет такие размеры?..

3. Единицы измерения для наномира

Наномир – понятие, объединяющее совокупность объектов с линейными размерами от единиц до сотен нанометров. В качестве характерного примера рассмотрим кубик с длиной ребра 1 нм. Единицей объема для подобных объектов будет служить кубический нанометр...

4. Нанозагадки

Вставьте пропущенные слова. 1) Массы вовсе не имеет Да и не заряжен он, Но волною быть умеет. Это света квант – 2) Обработай плёнку светом – Будет фотография. Строит принцип свой на этом 3) Разогретый с током провод И шарнира деградация. У обоих общий повод – Это

5. Нанозагадки про учёных

Вставьте пропущенные фамилии и имена ученых. 1) Они впервые получили Графен из углеродных сколов, Его структуру изучили. Зовут их ... и 2) «Места там, внизу, немало», – Он сказал прямолинейно. Эта мысль бессмертной стала, Как и физик

6. Я художник, я так вижу

Одного художника попросили нарисовать иллюстрации к детской книжке по биологии. Но вот беда – он совсем забыл биологию! Боясь ошибиться, он сделал 2 наброска на сюжет “Фаги атакуют”, чтобы выбрать из них только правильные детали для конечного варианта...

7. Кто больше?

На рисунках изображены различные объекты – одни имеют отношение к живой клетке, другие – неорганического происхождения. Отгадайте, что изображено на каждой картинке и сравните объекты в каждой строке таблицы по размерам. В качестве ответа заполните таблицу по образцу...

8. Бабочки

На рисунке изображены два вида бабочек: капустница (а) и павлиний глаз (б). Оба вида используют нанотехнологии для придания характерных цветов своим крыльям. Одна из этих бабочек умеет также использовать свои «нанотехнологические» крылья...

9. Окраска стекол

Окраска стекол, содержащих наночастицы металлов, обусловлена поглощением света поверхностью наночастицы. Стекло приобретает окраску дополнительную к той, которая поглотилась. Дополнительные цвета расположены друг на против друга в цветовом круге...

10. Плоский бакибол

Фуллерены – это многогранники, собранные из пяти- и шестиугольных граней, в вершинах которых находятся атомы углерода. У каждого атома углерода по три соседа. Самый известный фуллерен – это изображенный на рисунке бакибол (или молекула – футбольный мяч) из 60 атомов углерода...

11. Ромбоэдр

Представим, что атомы металла складываются в кластер в форме ромбоэдра – многогранника с шестью гранями-ромбами. Сколько атомов (**М**) приходится на одну грань ромбоэдра, представленного на рисунке? Чему равна величина **М** для ромба?...

12. Самосборка

Самосборка – процесс формирования высокоупорядоченных массивов наноструктур (например, сверхрешеток). Это – типичный метод получения наноматериалов «снизу-вверх». Если в системе присутствуют наночастицы двух размеров, то в результате самосборки...

13. Авария на нанофабрике

На заводе по производству наночастиц случилась авария и, прежде чем аварию удалось ликвидировать, большой объем синтезированных серебряных наночастиц попал в грунтовые воды. Анализ распределения грунтовых вод показал, что в водоканал наночастицы не проникли...

14. Кроссворд

По горизонтали. **2.** Молекула, рис. 4. **5.** Играет ведущую роль в **12г**. **6.** Биокатализатор. **8.** Главный структурный мотив графена (рис. 5). **11.** 10^{-9} метра. **12.** Формулировка Нобелевской премии по химии – 2018 для **17г**: «за направленную ... **6г**». **13.** Свойство поверхности, рис. 3...

15. Нанофилворд

Найдите 18 «нанотехнологических» слов, зашифрованных на буквенном поле, и напишите, какое именно отношение зашифрованные здесь понятия имеют к нанотехнологиям. Каждое слово проиллюстрировано одной (реже – двумя) картинками, размещенными рядом с полем филворда...



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 1. Нанообъекты

Для объектов из приведенного ниже списка определите, относятся они к нанообъектам или нет. Кратко поясните ответ и приведите определение «нанообъекта», которым Вы пользовались.

- нанотрубка
- наноспутник
- наночастица
- наноалмаз
- наноробот
- наносалфетка
- нанокерамика
- наносим-карта
- наномойка
- нанореактор
- нанотела
- нанопицца
- нанокраски
- наноноски

Всего – 7 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 1. Нанообъекты

Согласно [тезаурусу РОСНАНО](#), нанообъект – дискретная часть материи или, наоборот, ее локальное отсутствие (пустоты, пора), размер которой хотя бы в одном измерении находится в нанодиапазоне (как правило, 1-100 нм).

К нанообъектам могут быть отнесены как объекты, имеющие четкие пространственные границы и доступные для прямого наблюдения методами электронной и зондовой сканирующей микроскопии (наночастицы, нанопластины, нанотрубка, нанопора), так и прочие наноразмерные объекты, размер которых часто определяется косвенными методами (агрегаты, липосомы, мембраны, нанок капли и т.п.).

Являются нанообъектами:

- **нанотрубка:** форма частиц в виде полого наностержня;
- **наночастица:** изолированный твердофазный объект, имеющий отчетливо выраженную границу с окружающей средой, размеры которого во всех трех измерениях составляют от 1 до 100 нм;
- **наноалмаз:** алмаз с размерами от 1 до 10 нм;
- **наноробот:** 1) робот, размером сопоставимый с молекулой (менее 100 нм), обладающий функциями движения, обработки и передачи информации, исполнения программ; 2) машина, способная точно взаимодействовать с наноразмерными объектами или способная манипулировать объектами в наномасштабе (такой наноробот может и не являться нанообъектом);
- **нанокерамика:** керамический наноструктурный материал, состоящий из кристаллитов (зерен) со средним размером до 100 нм, то есть, не обязательно является нанообъектом, но может рассматриваться как совокупность нанообъектов;
- **нанореактор:** реактор для осуществления химических реакций в ограниченном объеме, размер которого не превышает 100 нм хотя бы по одному из измерений и применяется для получения наночастиц, размеры которых ограничиваются размерами реактора;
- **нанотела:** «упрощенная» форма антител, молекулы которых, в отличие от классических, состоят только из укороченных «тяжелых» цепей (такие антитела содержатся в крови лам и некоторых других животных (например, верблюдов и акул)). Их размер составляет примерно 2×4 нм.

Не являются нанообъектами. Приставка «нано»- наряду с другими десятичными приставками используется для условной классификации размеров:

- **наносим-карта:** в данном случае приставка «нано»- отвечает размеру 12,30×8,80×0,67 мм (в отличие от полноразмерных (85,60×53,98×0,76 мм), мини- (25,00×15,00×0,76 мм) и микро-SIM-карт (15,00×12,00×0,76 мм));

- **наноспутник:** в данном случае приставка «нано»- отвечает искусственным спутникам Земли с массой от 1 до 10 кг (в отличие от мини-спутников (100 – 500 кг), микро-спутников (10 – 100 кг) и пикоспутников (100 г – 1 кг)).

В этом списке:

- **наносалфетка, наномойка, нанопицца, нанокраски, наноноски**

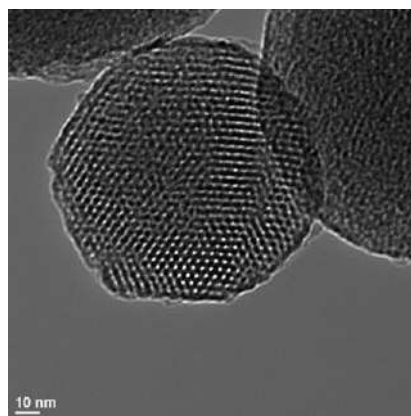
объекты по размерам мало отличаются от «не-нано» аналогов, приставка «нано»-, как правило, является рекламным ходом, зачастую, призванным подчеркнуть высокотехнологичность изделия либо заявить о наличии в его составе наночастиц или других нанообъектов.



Юный эрудит (заочный тур) Задача 2. Масштаб

Наночастица и яблоко на изображениях кажутся одинаковыми.

1. А во сколько раз яблоко больше наночастицы? **(2 балла)**
2. Что будет, если яблоко увеличить во столько же раз? Какой объект имеет такие размеры? **(2 балла)**



Всего – 4 балла



Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 2. Масштаб

1. Отношение $3 \text{ см} / 100 \text{ нм} = 300000 = 3 \cdot 10^5$.
2. Размер яблока будет $3 \text{ см} \cdot 3 \cdot 10^5 = 9 \text{ км}$.



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 3. Единицы измерения для наномира

Наномир – понятие, объединяющее совокупность объектов с линейными размерами от единиц до сотен нанометров. В качестве характерного примера рассмотрим кубик с длиной ребра 1 нм. Единицей объема для подобных объектов будет служить кубический нанометр (1 нм^3).

А в каких характерных дольных единицах СИ будет выражаться масса объектов наномира?

Всего – 3 балла



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 3. Единицы измерения для наномира

Масса, как известно, есть произведение объема объекта на плотность вещества, из которого он состоит. Плотность жидких и твердых веществ лежит обычно в диапазоне от единиц до десятков тысяч кг/м^3 . В основных единицах СИ объем кубика с длиной ребра $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ равен $(10^{-9})^3 = 10^{-27} \text{ м}^3$. Домножая это значение на 1000 (множитель для плотности), получаем, что масса такого кубика будет находиться в диапазоне от единиц до десятков икг – иоктокилограммов ($1 \text{ икг} = 10^{-24} \text{ кг}$). Однако, полученная таким образом единица массы содержит сразу две приставки (дольных и кратных единиц – иокто и кило), поэтому более корректным будет использование приставки «зепто» для выражения массы нанообъектов: $1 \text{ зг} = 10^{-21} \text{ г}$.



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 4. Нанозагадки

Вставьте пропущенные слова.

1. Массы вовсе не имеет
Да и не заряжен он,
Но волною быть умеет.
Это света квант –
2. Обработай плёнку светом –
Будет фотография.
Строит принцип свой на этом
... .
3. Разогретый с током провод
И шарнира деградация.
У обоих общий повод –
Это
4. Монослой из углерода,
Но по свойствам рекордсмен.
Такова его природа,
А зовётся он
5. Смеси лихо разделяет
И фильтрует неустанно.
В жизни очень помогает,
Даже в клетках есть

Всего – 5 баллов



Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 4. Нанозагадки

1. Фотон.
2. Фотолитография.
3. Диссипация.
4. Графен.
5. Мембрана.



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 5. Нанозагадки про учёных

Вставьте пропущенные фамилии и имена ученых.

1. Они впервые получили
Графен из углеродных сколов,
Его структуру изучили.
Зовут их ... и
2. «Места там, внизу, немало», –
Он сказал прямолинейно.
Эта мысль бессмертной стала,
Как и физик
3. Первый в мире ПЭМ сумели
Довести до пуска,
На всю Землю прогремели
Немцы ... и
4. – Кто «нанотехнологии»
Впервые нам озвучил?
– Согласно хронологии –
Японец
5. Фото это всем знакомо,
Разлетелось как бестселлер:
Ловко атомы ксенона
Разложить смог

Всего – 5 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 5. Нанозагадки про учёных

1. Гейм и Новосёлов.
2. Ричард Фейнман.
3. Кнолль и Руска.
4. Танигучи.
5. Дональд Эйглер.

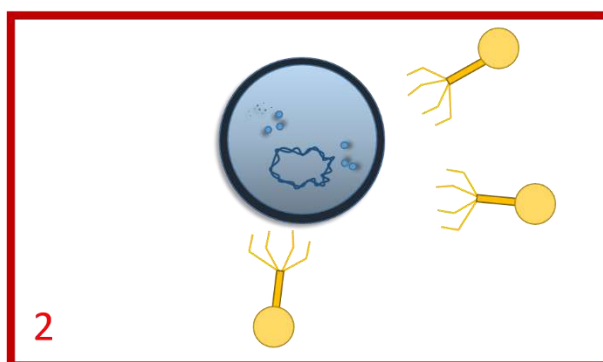
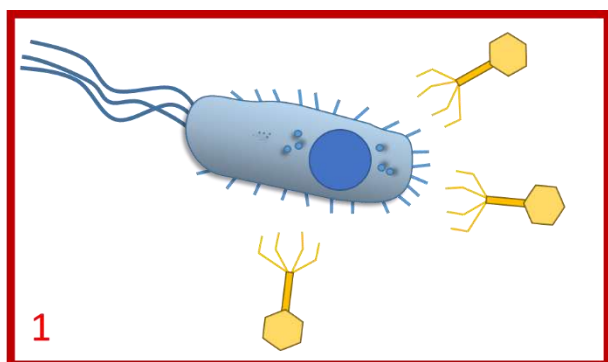


Юный эрудит (заочный тур)

Задача 6. Я художник, я так вижу

Одного художника попросили нарисовать иллюстрации к детской книжке по биологии. Но вот беда – он совсем забыл биологию! Боясь ошибиться, он сделал 2 наброска на сюжет “Фаги атакуют”, чтобы выбрать из них только правильные детали для конечного варианта.

Посмотрите на два варианта рисунка. Найдите 5 отличий. Для каждого из них напишите, какой вариант из двух является правильным, какой – неправильным, а в каком случае возможны оба варианта. Свой ответ поясните. **(по 2 балла за каждый правильный вариант)**



Всего – 10 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 6. Я художник, я так вижу

На рисунке изображены бактериофаги, атакующие бактерию.

- 1) В первом случае у бактерии есть ядро. Такого не может быть. На втором рисунке у бактерии есть нуклеоид – это правильно.
- 2) Форма бактерий. В первом случае – это бацилла, а во втором – кокки. Обе формы существуют.
- 3) Наличие жгутика и пилей в первом случае. Бактерии могут иметь один или несколько жгутиков и других отростков, а могут и не иметь их вовсе. Оба варианта возможны.
- 4) Клеточная стенка. В первом случае мы видим грамположительную бактерии без клеточной стенки, а во втором – грамотрицательную. Обе формы существуют. Но стоит оговориться, что бациллы всегда грамположительны, а кокки могут быть как грамположительными, так и грамотрицательными.

Форма головки бактериофага может быть как икосаэдрической, так и сферической. Оба варианта возможны.



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 7. Кто больше?

На рисунках изображены различные объекты – одни имеют отношение к живой клетке, другие – неорганического происхождения.

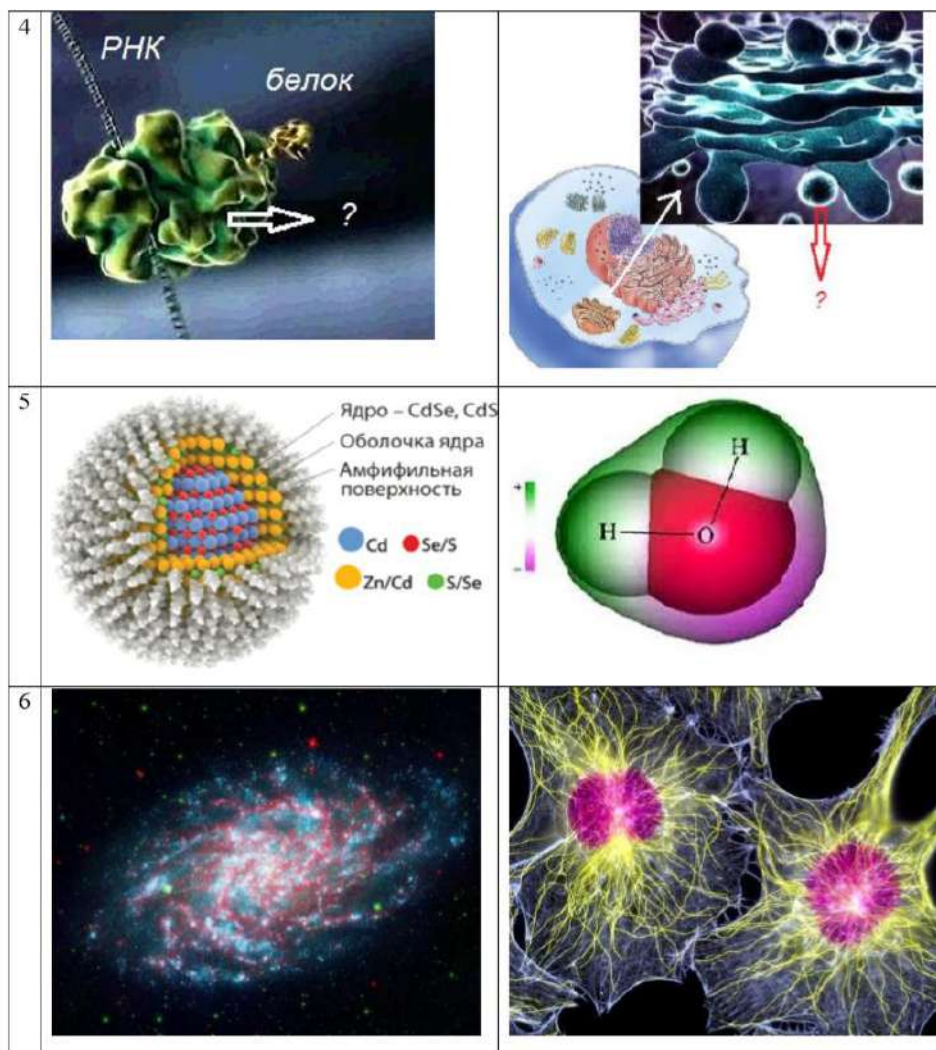
- Отгадайте, что изображено на каждой картинке и сравните объекты в каждой строке таблицы по размерам. **(за каждую правильно описанную пару 1 балл)**

В качестве ответа заполните таблицу по образцу:

1	Яблоко, диаметр 8 см	меньше чем	Арбуз, диаметр 50 см
2	...		

- Выберите те из объектов, которые являются предметом исследования в области нанотехнологий (являются «нанообъектами»). **(за каждый правильно выбранный объект 1 балл)**

1		
2	Клеточное ядро ? (название структуры и внутренний диаметр)	? (название структуры и внутренний диаметр)
3	(размер одной клетки)	(соединительная ткань, размер одной клетки)



Всего – 12 баллов



Юный эрудит (заочный тур) Решение задачи 7. Кто больше?

1. За каждую правильно описанную пару ставится 1 балл (максимум 6 баллов).

Микротрубочки, 25 нм	Примерно равны	Углеродные нанотрубки, от <1 нм до 50 нм
Ядерные поры, диаметр внутреннего канала до 25 нм	Больше чем	Коннексоны, диаметр внутреннего канала 2 нм.
Бактерия E.coli, 1х3 мкм	Меньше чем	Фибробласты, 20-50 мкм
Рибосома, 30 нм	Меньше чем	Лизосомы, клеточные везикулы, 0.2-1 мкм
Квантовая точка, до 30 нм	Больше чем	Молекула воды 0.3 нм
Спиральная галактика, 16—800 тысяч световых лет	Больше чем	Фибробласты (окрашенные флуоресцентным красителем) 20-50 мкм

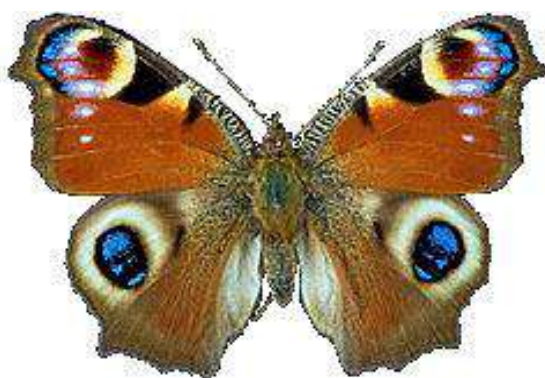
2. Микротрубочки, углеродные нанотрубки, ядерные поры, коннексоны, рибосомы, квантовые точки (6 баллов, по 1 за каждый правильный ответ).



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 8. Бабочки

На рисунке изображены два вида бабочек: капустница (а) и павлиний глаз (б). Оба вида используют нанотехнологии для придания характерных цветов своим крыльям. Одна из этих бабочек умеет также использовать свои «нанотехнологические» крылья, чтобы направлять поток солнечного света на тело, быстрее «согреть» летательные мускулы и быстрее начать полет в непогожие холодные дни.



а



б



1. Какая это бабочка? Постарайтесь назвать 2-3 видимых на фотографии особенности, которые подтверждают это. Назовите еще одну-две особенности этой бабочки, которые помогают ей сохранять полученное тепло. **(4 балла)**
2. С какой целью окраска используется второй бабочкой? **(1 балл)**

Всего – 5 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 8. Бабочки

1. Капустница.

- а) Направить и сконцентрировать поток света на теле могут только бабочки со светлыми крыльями, поскольку черные крылья поглощают солнечный свет, а не направляют его на тело (при этом больше нагревается окружающий бабочку воздух, а не тело бабочки).
- б) На фотографиях видно, что верх тела капустницы очень черный – чтобы сильнее нагреваться от солнца, а также поглощать собираемое крыльями излучение. При этом ее крылья у основания становятся темнее (сверху, но не снизу) – чтобы нагреваться и передавать тепло летательным мускулам.
- в) Чтобы «согревающаяся» капустница меньше охлаждалась от холодной земли, ее тело снизу покрыто густыми белыми «волосками» - своеобразным теплым мехом. Черные лапки покрыты белыми чешуйками, чтобы меньше терять тепло.

2. «Глаза» павлиньего глаза используются для отпугивания хищников. Потревоженная бабочка может быстро складывать и раскрывать крылья, при этом возникает иллюзия моргающих глаз большого животного.

Яркая окраска также может использоваться у самцов и самок в поиске и выборе друг друга.



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 9. Окраска стекол

Окраска стекол, содержащих наночастицы металлов, обусловлена поглощением света поверхностью наночастицы. Стекло приобретает окраску дополнительную к той, которая поглотилась. Дополнительные цвета расположены друг на против друга в цветовом круге.

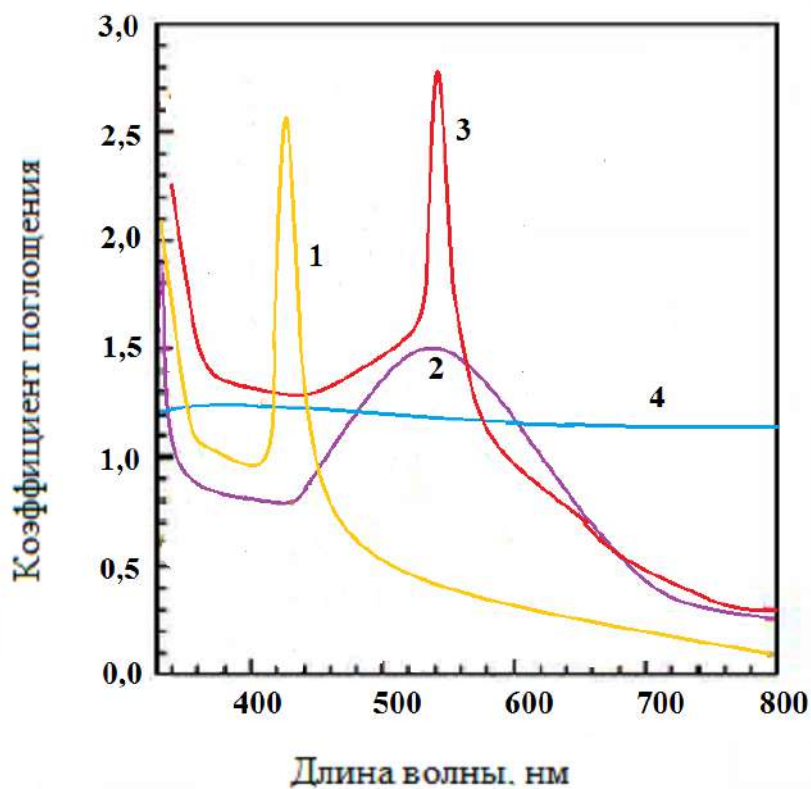
1. Используя эти сведения, выберите из предложенных шести фотографий стекол, три стекла, окрашенных наночастицами.
2. Соотнесите их со спектрами поглощения света стекол, приведенными на рисунке. Какому из стекол, приведенных на фотографии, соответствует оставшийся спектр?

Ответ оформите в виде таблицы:

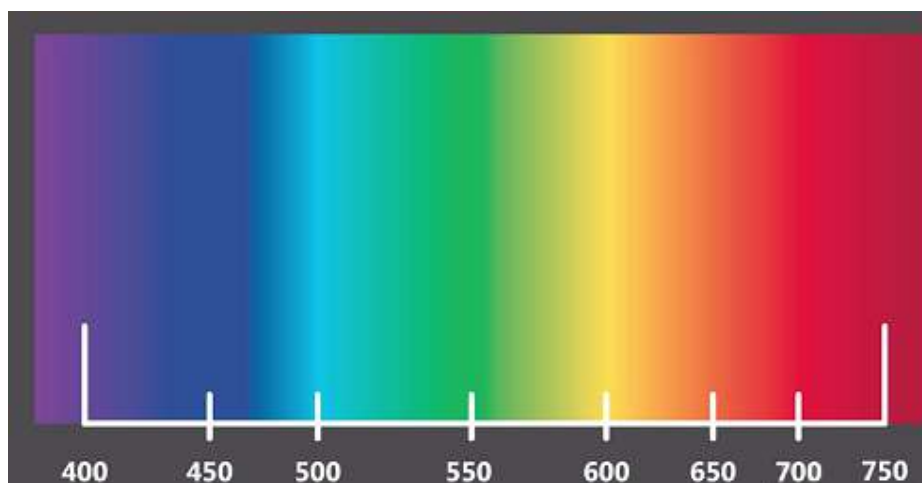
Номер спектра	1	2	3	4
Буква, обозначающая стекло, на рисунке				



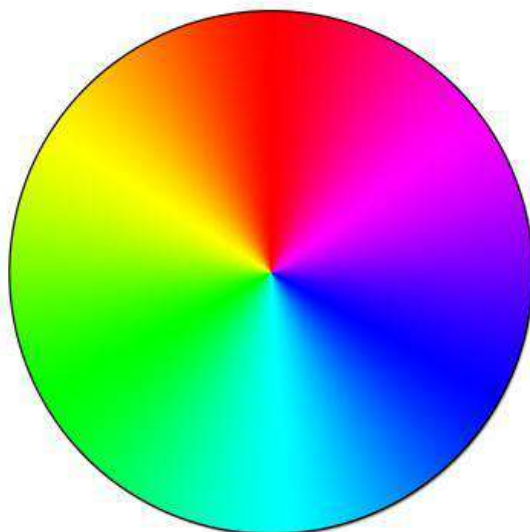
Фотографии стекол



Спектры поглощения стекол



Спектр видимого цвета



Цветовой круг

Всего – 4 балла

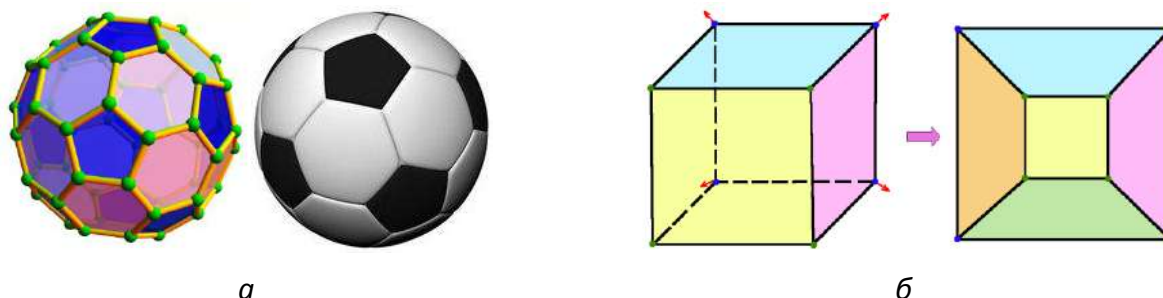


Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 9. Окраска стекол

Номер спектра	1	2	3	4
Буква, обозначающая стекло, на рисунке	E	A	F	D



Юный эрудит (заочный тур) Задача 10. Плоский бакибол

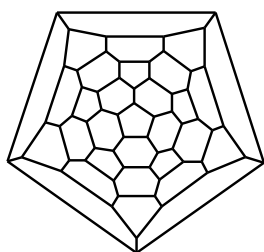


Фуллерены – это многогранники, собранные из пяти- и шестиугольных граней, в вершинах которых находятся атомы углерода. У каждого атома углерода по три соседа. Самый известный фуллерен – это изображенный на рисунке бакибол (или молекула – футбольный мяч) из 60 атомов углерода.

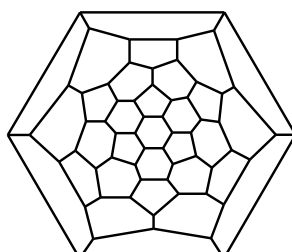
Чтобы удобно изобразить многогранник на плоскости, можно одновременно «потянуть» в разные стороны вершины одной из его граней (как показано на рисунке для куба): в какой-то момент мы сможем «расправить» на бумаге все его ребра и вершины – получим его плоскую проекцию.

Ниже нарисованы пять плоских проекций неких многогранников.

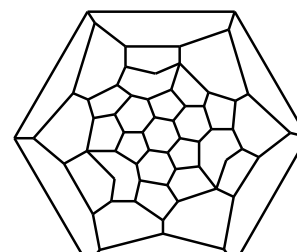
1. Сколько атомов углерода (то есть вершин) они содержат?
2. Определите, какие из них – это фуллерены.
3. Укажите номера проекций, которые получили из бакибола.
4. Сколько разных (отличающихся строением) фуллеренов здесь представлено?



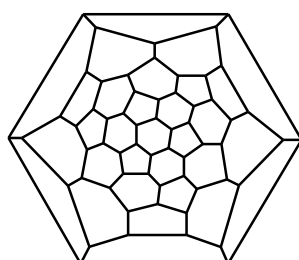
1



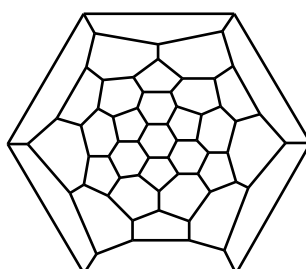
2



3



4



5

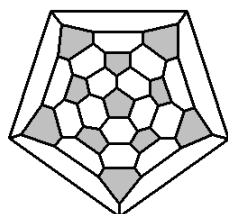
Всего – 5 баллов



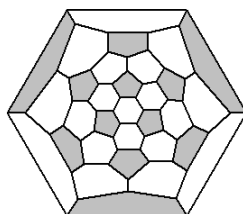
Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 10. Плоский бакибол

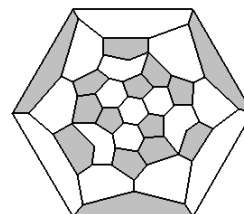
Мы видим, что у бакибола, как и у мяча, нет ни одного пятиугольника, который касается соседнего. Поэтому на всех приведенных рисунках для удобства закрасим все пятиугольники:



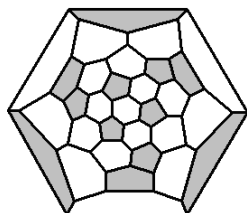
1



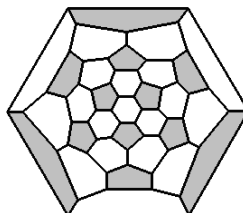
2



3



4



5

Все проекции принадлежат 60-вершинникам.

Видно, что на проекциях 1, 2 и 5 все пятиугольники являются изолированными, каждая вершина принадлежит одному пятиугольнику и двум шестиугольникам, все вершины эквивалентны – это бакибол C_{60} (усеченный икосаэдр).

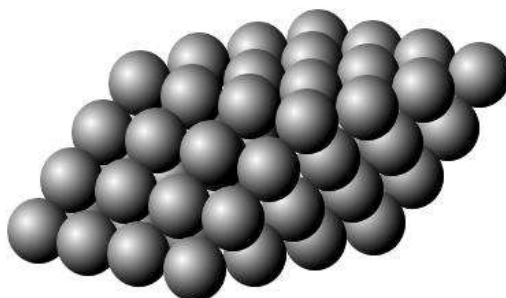
На проекции 4 изображен другой фуллерен C_{60} , он содержит 3 пары граничащих друг с другом пятиугольников.

Проекция 3 не соответствует ни один фуллерен, так как она содержит вершины с двумя и четырьмя соседями, а также семиугольники.



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 11. Ромбоэдр



Представим, что атомы металла складываются в кластер в форме ромбоэдра – многогранника с шестью гранями-ромбами.

1. Сколько атомов (**M**) приходится на одну грань ромбоэдра, представленного на рисунке? Чему равна величина **M** для ромба, на сторону которого приходится а) 6, б) 15, в) **n** атомов? **(2.5 балла)**
2. Каково общее число атомов **N** в ромбоэдре, изображенном на рисунке? Чему равна величина **N** для ромбоэдра, на ребро которого приходится: а) 6, б) 15, в) **n** атомов? **(2.5 балла)**
3. Кластер в форме какого Платонова тела можно получить, переложив без остатка атомы любого ромбоэдра? **(1 балл)**

Ответ подтвердите расчетами и/или рисунками.

Всего – 6 баллов



Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 11. Ромбоэдр

1. $M = 1 + 2 + 3 + 4 + 3 + 2 + 1 = 16$
 $M(6) = 36, M(15) = 225, M(n) = n \cdot n = n^2$. (n рядов по n атомов в каждом)
2. $N = 64$
 $N(6) = 216, N(15) = 3375, N(n) = n \cdot n^2 = n^3$
3. Куб





Юный эрудит (заочный тур)

Задача 12. Самосборка

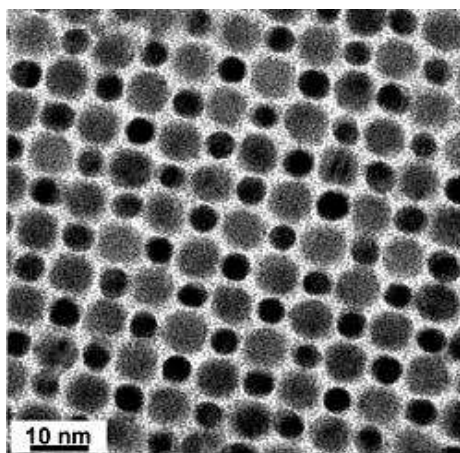
Самосборка – процесс формирования высокоупорядоченных массивов наноструктур (например, сверхрешеток). Это – типичный метод получения наноматериалов «снизу-вверх». Если в системе присутствуют наночастицы двух размеров, то в результате самосборки возможно образование сверхрешеток с расположением наночастиц, подобным расположению атомов в кристаллах.

Ниже приведен ряд микрофотографий сверхрешеток, сделанных при помощи туннельного просвечивающего микроскопа, на которых мы можем видеть высокоупорядоченное взаимное расположение темных областей двух размеров – «теней» наночастиц, формирующих сверхрешетки. Сопоставьте каждой из микрофотографий трехмерную структуру упаковки атомов в кристаллах.

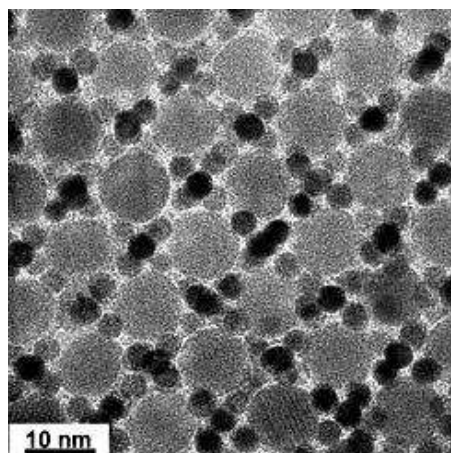
Ответ представьте в виде таблицы:

Микрофотография	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Структура										

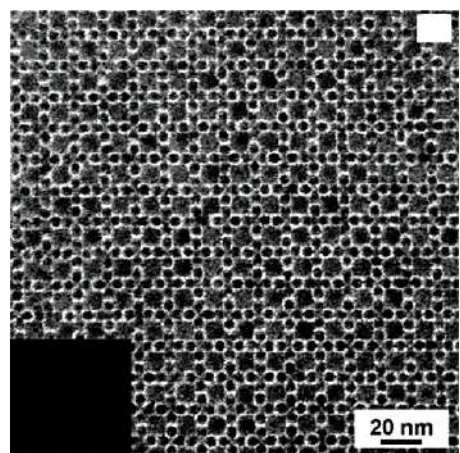
Микрофотографии:



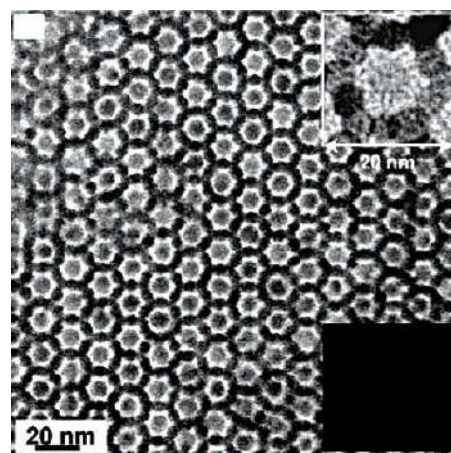
1



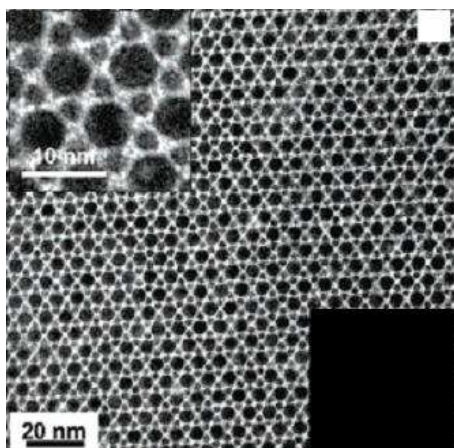
2



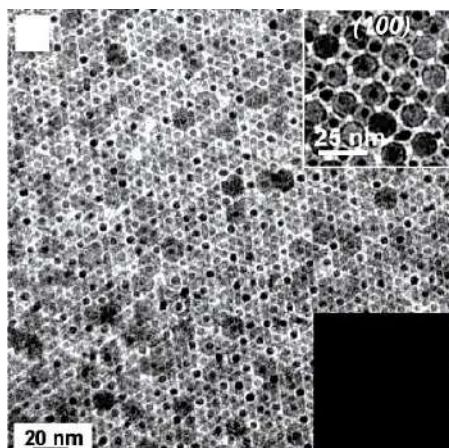
3



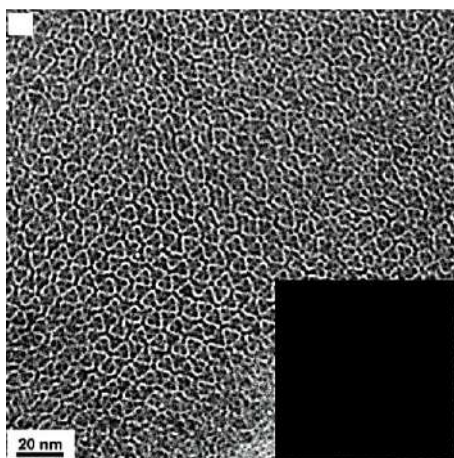
4



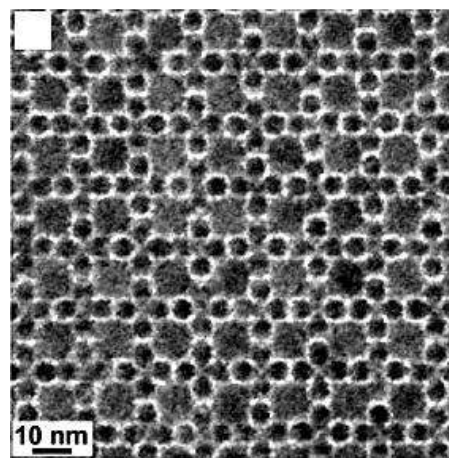
5



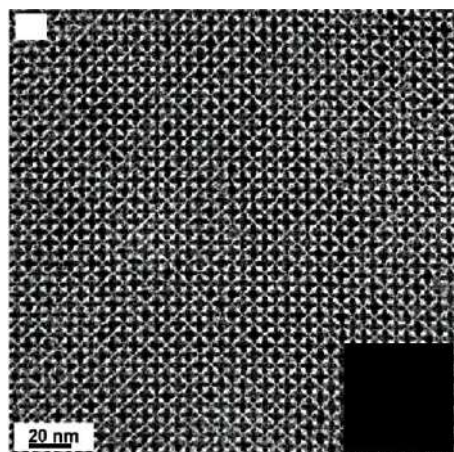
6



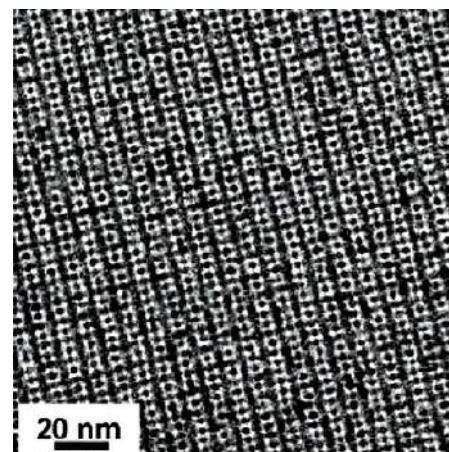
7



8

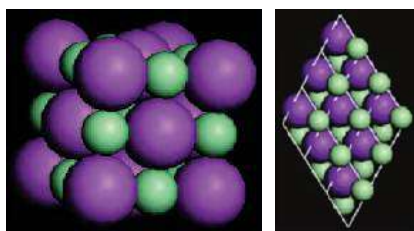


9

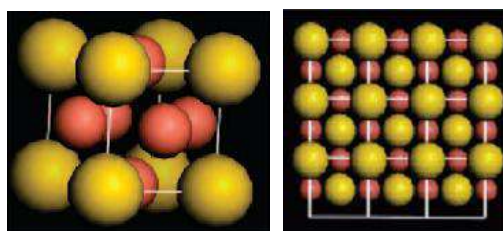


10

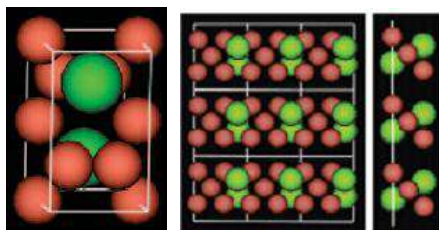
Структуры:



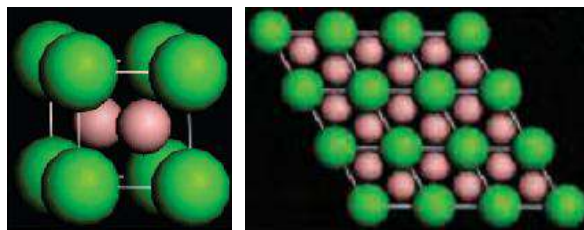
а) NaCl



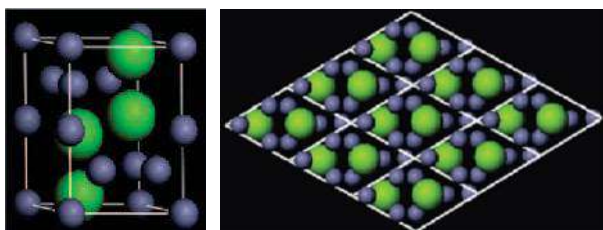
б) CuAu



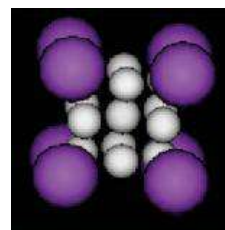
в) ортор. АВ



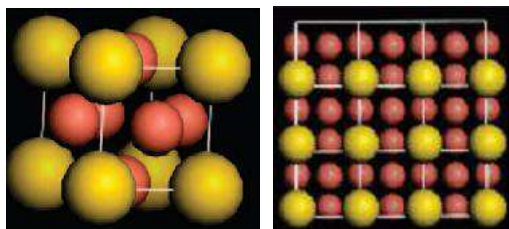
г) AlB₂



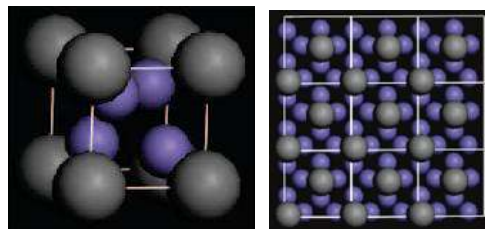
д) MgZn₂



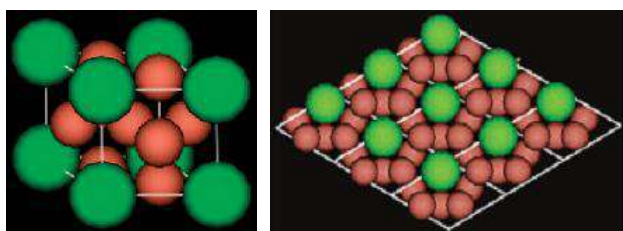
е) AB₁₃



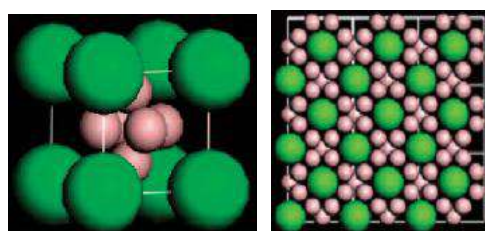
ж) Cu₃Au



з) Fe₄C



и) CaCu₅



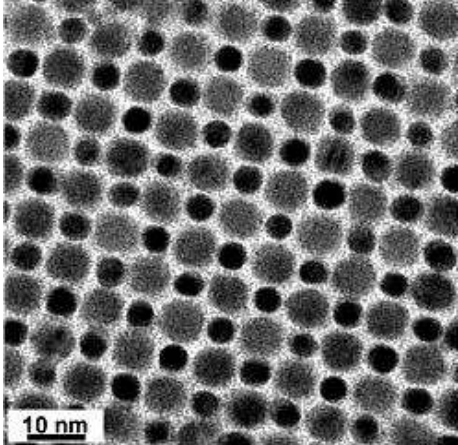
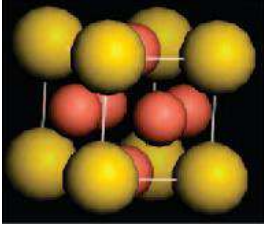
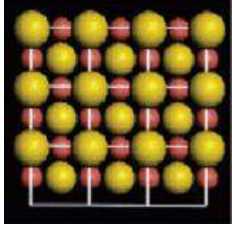
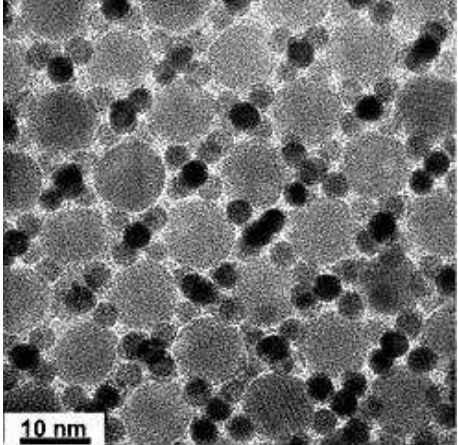
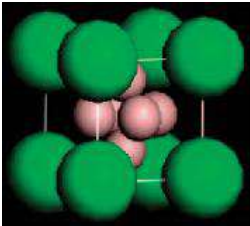
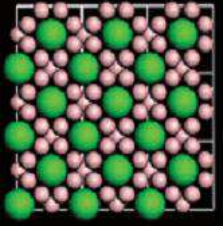
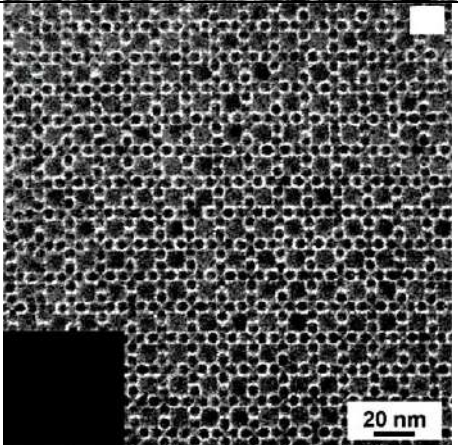
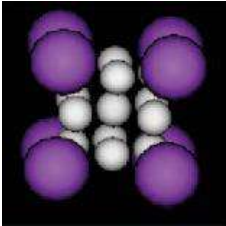
к) CaB₆

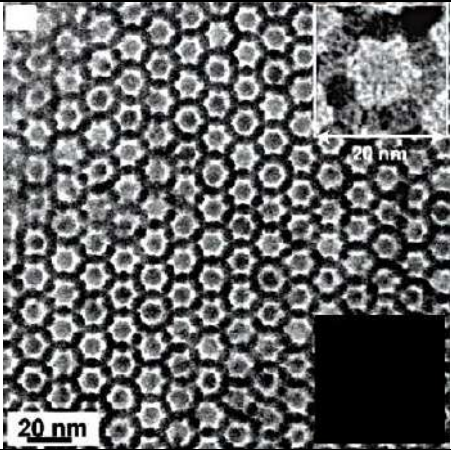
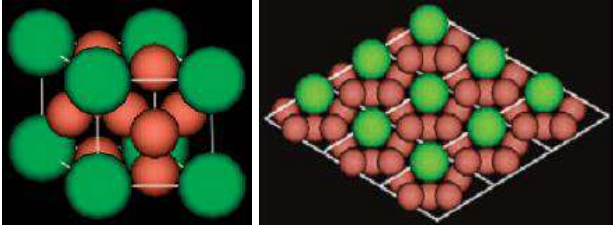
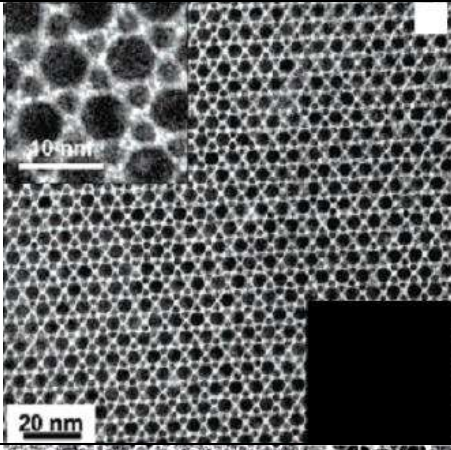
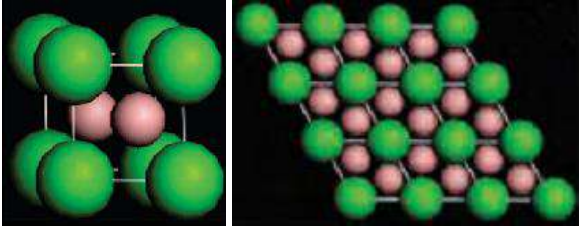
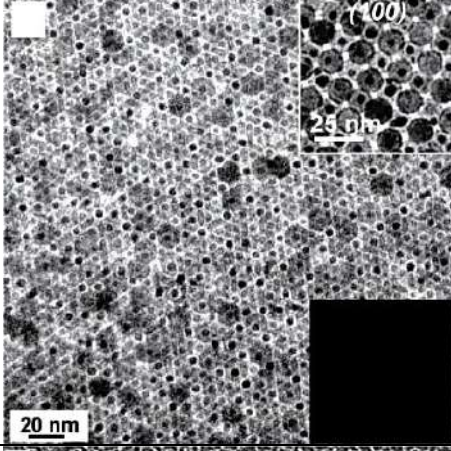
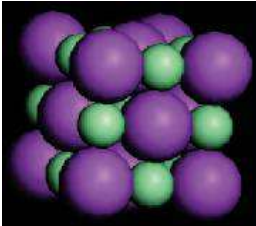
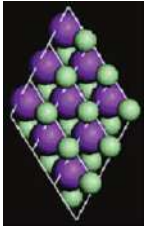
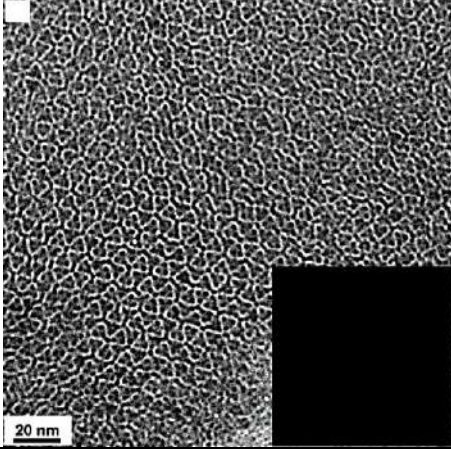
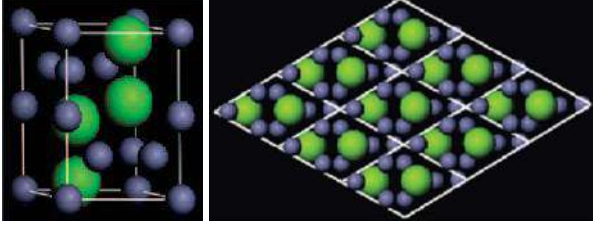
Всего – 10 баллов

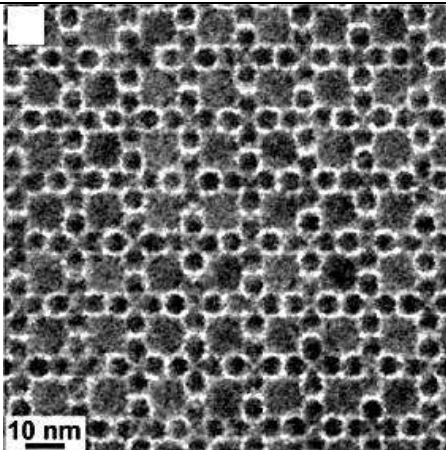
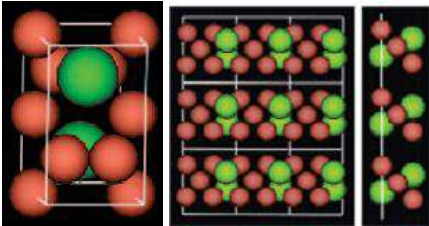
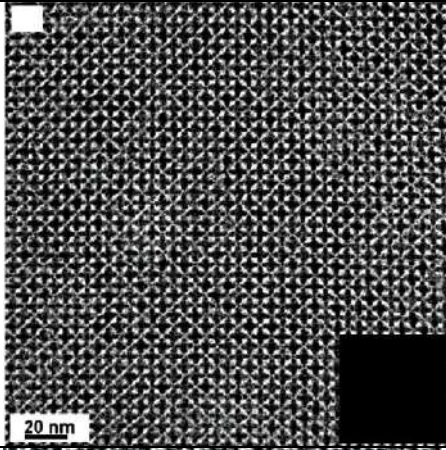
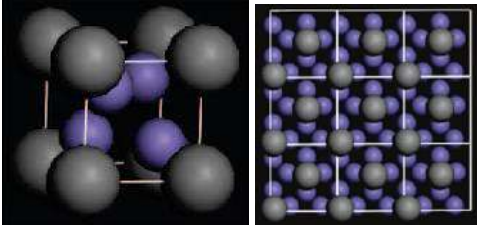
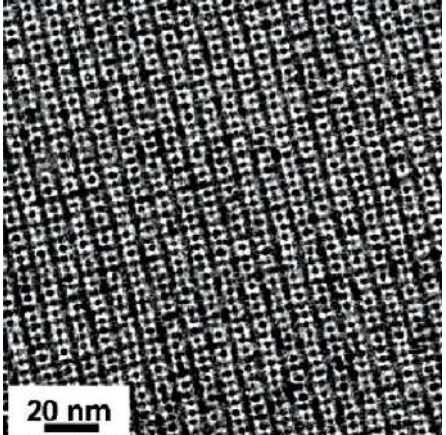
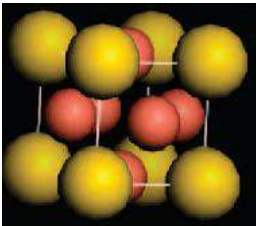
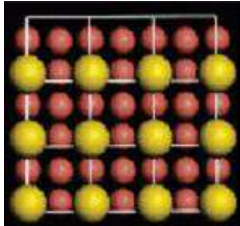


Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 12. Самосборка

Микро-фотография	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Структура	CuAu	CaB ₆	AB ₁₃	CaCu ₅	AlB ₂	NaCl	MgZn ₂	AB	Fe ₄ C	Cu ₃ Au

1		б	CuAu   (I) микрофотография соответствует (II), повернутому на угол 45°
2		к	CaB₆  
3		е	AB₁₃ 

4		и	CaCu ₅ 
5		г	AlB ₂ 
6		а	NaCl  (I) микрофотография на врезке соответствует виду сбоку на (I), повернутому на угол 45° (II) 
7		д	MgZn ₂ 

8		В	orthorhombic AB 
9		З	Fe_4C 
10		Ж	Cu_3Au  (I) соответствует  (II) микрофотография повернутому на небольшой угол



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 13. Авария на нанофабрике

На заводе по производству наночастиц случилась авария и, прежде чем аварию удалось ликвидировать, большой объем синтезированных серебряных наночастиц попал в грунтовые воды. Анализ распределения грунтовых вод показал, что в водоканал наночастицы не проникли, однако какая-то их часть могла попасть в подземные воды, питающие соседний сельскохозяйственный участок. Для того, чтобы проверить, могут ли наночастицы с водой поступать в выращиваемые растения, экологи предложили высадить на тестовой делянке несколько видов растений — подсолнечник и овес (со стержневой и мочковатой корневой системами, соответственно), а потом проанализировать, накопились ли наночастицы в различных тканях.

1. В чем отличие этих двух корневых систем? **(0.5 балла)** Как Вы думаете, почему экологи предложили эти два вида растений? **(1.5 балла)**
2. А как бы Вы предложили проверить, возможно ли попадание наночастиц из грунтовых вод в растения? **(2 балла)**
3. Предположите, зачем в промышленности (легкой, фармакологической, косметической и т. д.) могли бы понадобиться серебряные наночастицы. **(1 балл)**

Всего – 5 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 13. Авария на нанофабрике

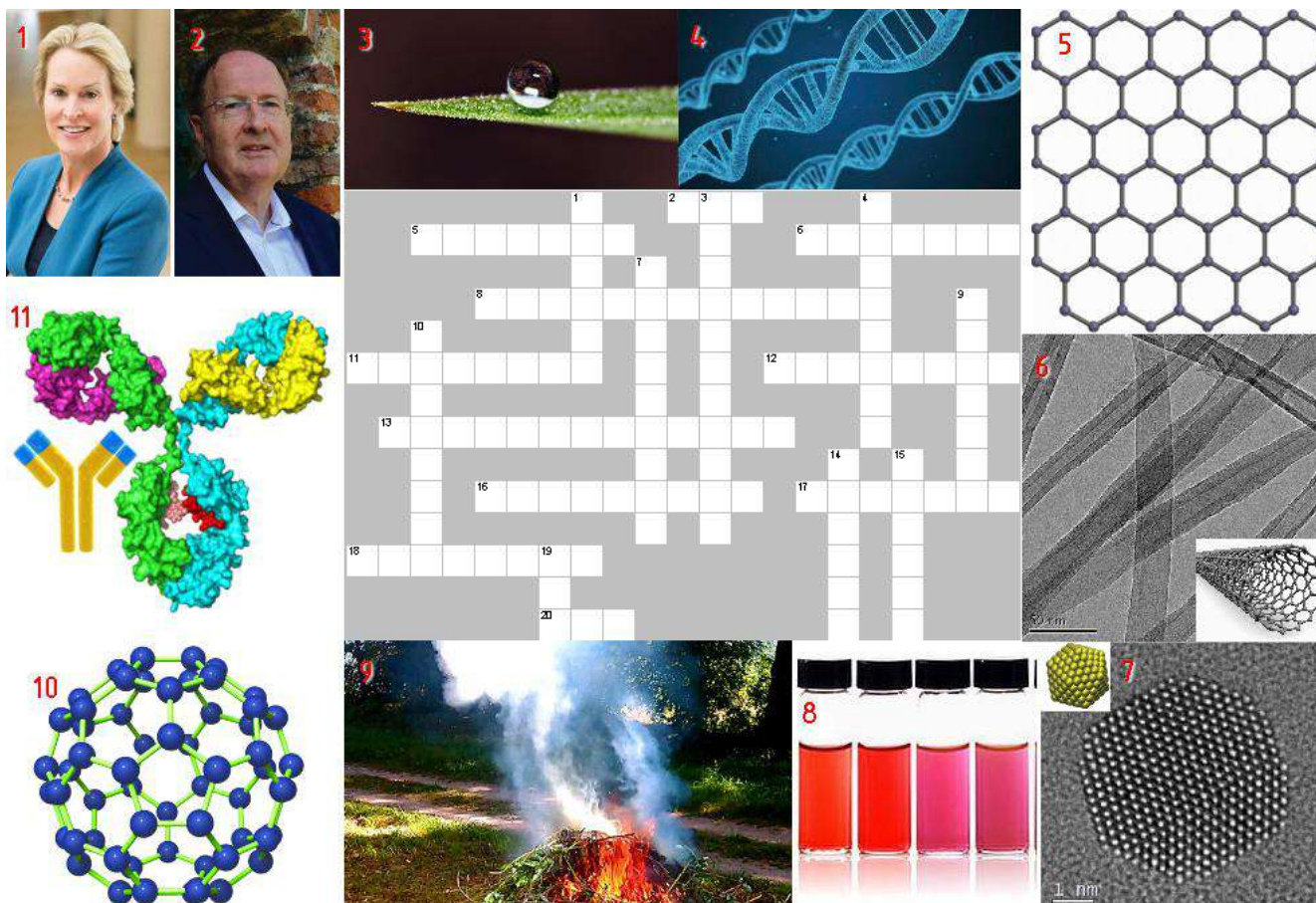
В стержневой корневой системе есть четко выделяемый основной корень, от которого отходят более мелкие. В мочковатой корневой системе нет выделенного основного корня, а присутствует много равнозначных корней. Растения со стержневой корневой системой могут получать воду из более глубоких слоев почвы, а растения с мочковатой корневой системой – из более поверхностных слоев. Экологи предложили использовать подсолнечник, поскольку из всех сельскохозяйственных растений он способен получать воду из наиболее глубоких слоев почвы, а овес — как один из примеров растений, получающих воду с относительно большой территории поверхностных слоев почвы. Таким образом, можно было установить, будут ли проникать в растения наночастицы из воды с разных слоев почвы.

В фармакологической промышленности коллоидный раствор серебра используют для производства некоторых лекарственных препаратов от насморка, в косметической промышленности – для различных кремов, в легкой промышленности какое-то время назад в Штатах наночастицы серебра использовали для покрытия нитей, используемых для производства армейских носков. За правильные ответы засчитываются любые обоснованные гипотетические варианты.



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 14. Кроссворд



По горизонтали

2. Молекула, рис. 4.
5. Играет ведущую роль в **12г**.
6. Биокатализатор.
8. Главный структурный мотив графена (рис. 5).
11. 10^{-9} метра.
12. Формулировка Нобелевской премии по химии – 2018 для **17г**: «за направленную ... **6г**».
13. Свойство поверхности, рис. 3.
16. Одним из главных его компонентов является **10в**.
17. Лауреат Нобелевской премии по химии – 2018, см. **12г** (рис. 1).
18. Его симметрией обладает и рис. 7, и рис. 10.
20. Предмет, имеющий такую же форму, как рис. 10.

По вертикали

1. Лауреат Нобелевской премии по химии – 2018 за разработку метода получения **10в**, (рис. 2).
3. Рис. 7.
4. Автор апокалиптического сценария превращения всего на Земле в серую слизь под действием неуправляемых самовоспроизводящихся нанороботов.
7. Смесь **3в** с водой (рис. 8).

9. Форма **2г** (рис. 4).

10. Рис. 11.

14. Форма рис. 6.

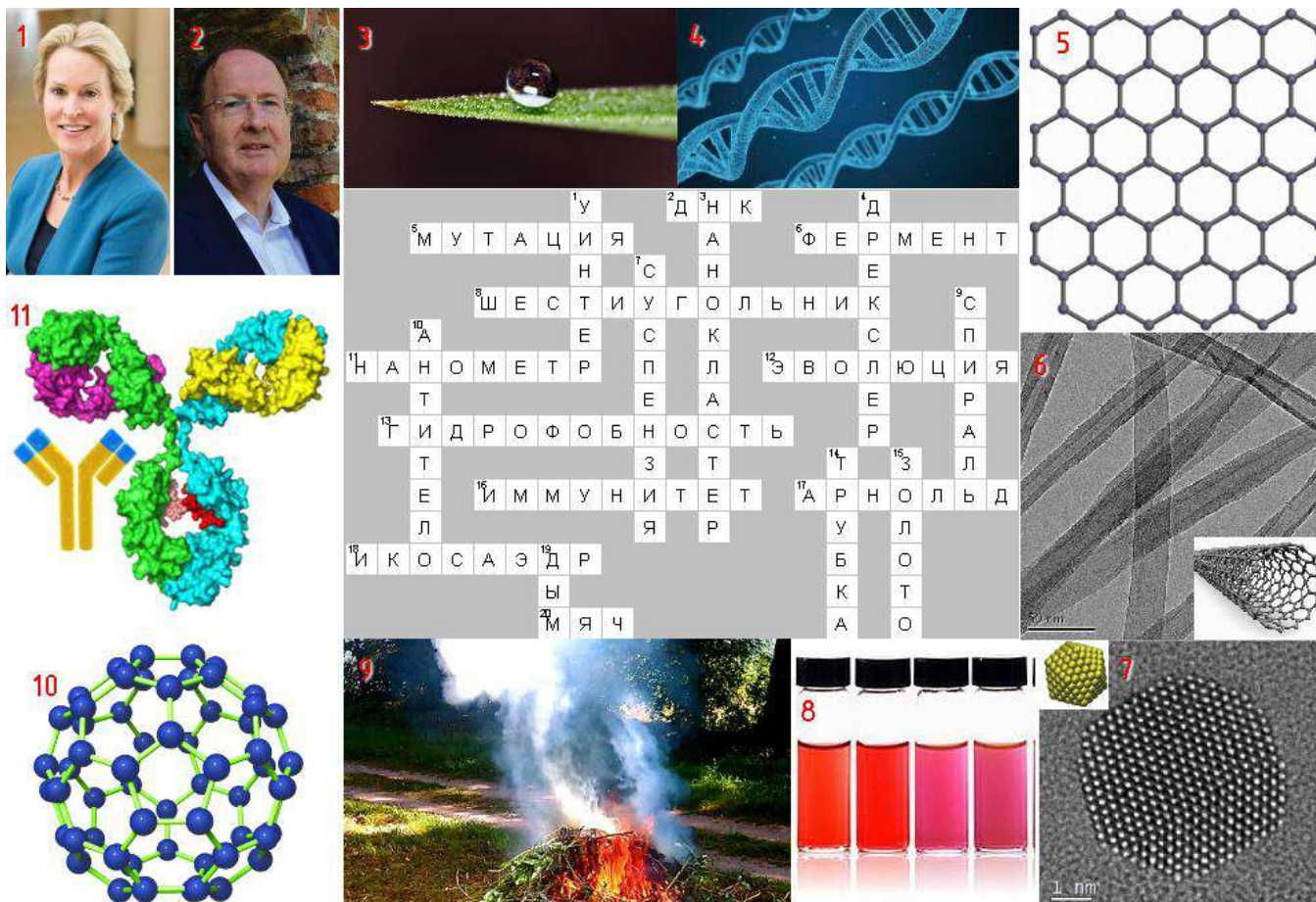
15. Благородный металл, часто применяется в нанотехнологиях (рис. 7, 8).

19. Аэрозоль, источником которого является костер (рис. 9).

Всего – 10 баллов



Юный эрудит (заочный тур) Решение задачи 14. Кроссворд



По горизонтали

2. ДНК – молекула, рис. 4.
5. Мутация – играет ведущую роль в **12г**.
6. Фермент – биокатализатор.
8. Шестиугольник – главный структурный мотив графена (рис. 5).
11. Нанометр – 10^{-9} метра.
12. Формулировка Нобелевской премии по химии – 2018 для **17г**: «за направленную эволюцию **6г**».
13. Гидрофобность – свойство поверхности, рис. 3.
16. Иммуитет – одним из главных его компонентов является **10в**.
17. Арнольд – лауреат Нобелевской премии по химии – 2018, см. **12г** (рис. 1).
18. Икосаэдр – его симметрией обладает и рис. 7, и рис. 10.
20. Мяч – предмет, имеющий такую же форму, как рис. 10.

По вертикали

1. Уинтер – лауреат Нобелевской премии по химии – 2018 за разработку метода получения **10в**, (рис. 2).
3. Нанокластер – рис. 7.
4. Дрекслер – автор апокалиптического сценария превращения всего на Земле в серую слизь под действием неуправляемых самовоспроизводящихся нанороботов.

- 7. Суспензия** – смесь **Зв** с водой (рис. 8).
- 9. Спираль** – форма **2г** (рис. 4).
- 10. Антитело** – рис. 11.
- 14. Трубка** – форма рис. 6.
- 15. Золото** – благородный металл, часто применяется в нанотехнологиях (рис. 7, 8).
- 19. Дым** – аэрозоль, источником которого является костер (рис. 9).



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 15. Нанofilворд



Найдите 18 «нанотехнологических» слов, зашифрованных на буквенном поле, и напишите, какое именно отношение зашифрованные здесь понятия имеют к нанотехнологиям. **(0.2 балла за слово и 0.3 балла за определение)** Каждое слово проиллюстрировано одной (реже – двумя) картинками, размещенными рядом с полем филворда, одной картинке может соответствовать несколько слов. Способ поиска показан на примере слова «вектор» (горизонтально слева направо или вертикально сверху вниз, диагональных слов и слов с обратным порядком букв, а также пересечений слов здесь нет).

Всего – 9 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 15. Нанofilворд



1. **Адсорбент** – материал с большой удельной (то есть, приходящейся на единицу массы) поверхностью, на которой происходит адсорбция (поглощение) веществ из соприкасающихся с ней газов или жидкостей. Самые эффективные адсорбенты состоят из наночастиц, поскольку чем меньше радиус, тем больше удельная площадь поверхности.
2. **Аэрогель** – высокопористый материал, расстояние между стенками соседних пор в котором, как правило, составляет 4 – 10 нм. Он представляет собой гель, в котором жидкая фаза (например, вода) полностью заменена воздухом без нарушения структуры геля.
3. **Бактериофаг** – вирус, избирательно поражающий бактериальные клетки. Его оболочка состоит из головки диаметром 45 – 140 нм и хвоста толщиной 10 – 40 и длиной 100 – 200 нм.
4. **Вискер** – нитевидный нанокристалл, у которого длина более чем в 100 раз превышает диаметр.

5. **Геккон** – ящерица, способная бегать по стенам и потолку. «Липучка» на пальцах геккона состоит из большого числа щетинок, каждая из которых оканчивается более маленькими ворсинками с лопатообразными кончиками, что обеспечивает большую площадь контакта с поверхностью. Ворсинки «прилипают» к поверхности за счет сил Ван-дер-Ваальса, которые действуют лишь на очень маленьких расстояниях.
6. **Гинзбург**, Виталий Лазаревич – советский и российский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии по физике (2003, вместе с А.А. Абрикосовым и Э. Леггетом) «за вклад в развитие теории сверхпроводимости и сверхтекучести».
7. **Графен** – форма углерода, представляющая собой расположенные в одной плоскости атомы углерода, связи между которыми образуют шестиугольную сетку.
8. **Зигзаг** – один из структурных мотивов углеродных нанотрубок (УНТ). Представляет собой замкнутую цепочку атомов углерода, повторением которой можно получить зигзагообразные УНТ.
9. **Интеркаляция** – обратимое включение атома, молекулы или группы молекул между слоями материала. Например, вхождение натрия между слоями графита.
10. **Ксерогель** – высушенный гель. В отличие от аэрогеля, в его структуре преобладают мезопоры.
11. **Липосома** – пузырьки, заполненные жидкостью, стенка которых состоит из двойных липидных слоев. Диаметр липосом составляет примерно от 20 нм до 10 – 50 мкм.
12. **Мезопоры** – поры размером от 2 до 50 нм.
13. **Наномотор** (молекулярный мотор) – молекулярное устройство, способное преобразовывать энергию в движение. За его «проектирование» Бернарду Феринга в 2016 году была вручена Нобелевская премия по химии.
14. **Светодиод** – полупроводниковый прибор с электронно-дырочным (*p-n*-) переходом, излучающий свет при пропускании через него электрического тока. Толщина *p-n*-перехода в современных светодиодах, а, иногда, и размер всего светодиода, лежат в нанометровом диапазоне.
15. **Смолли**, Ричард – американский физик, лауреат Нобелевской премии по химии (1996, совместно с Робертом Керлом и Харольдом Крото) «за открытие новой формы углерода – фуллеренов».
16. **Темплат** (*иначе матрица, шаблон*) – частица или структура, задающая форму и направляющая рост получаемых на ней наноструктур.
17. **Феринга**, Бернард – нидерландский химик, лауреат Нобелевской премии по химии (2016, совместно с Жаном-Пьером Соважем и Фрейзером Стоддартом) «за проектирование и синтез молекулярных машин».
18. **Цеолит** – группа алюмосиликатных минералов со структурой в виде трехмерного каркаса, пронизанного полостями и каналами (окнами) размером 0,2 – 1,5 нм.



Химия для школьников

Химия

Категория участников: школьники 7-11 классов

Блок теоретических заданий по **химии для школьников 7-11 классов** включает задачи разной сложности. Для повышения вероятности прохождения на очный тур Вам желательно решить задачи не только по химии, но и по физике, математике, биологии, чтобы набрать больше баллов. Дополнительные баллы будут начислены за прохождение теста "[Викторина](#)". Все прошедшие на очный тур обязательно решают задачи по всем четырем предметам.

Задания

1. Наноалмазы

Наноалмазы – перспективный *наноматериал*, который предполагается использовать для решения различных практических задач. Материал состоит из отдельных кристалликов алмаза, размером ~ 5 нм. Мы обсудим свойства и некоторые применения наноалмазов...

2. Активные порошки

При взаимодействии простого вещества элемента X с хлором были получены бесцветные чешуйчатые кристаллы вещества X_1 , дымящие на воздухе. Известно, что для получения 0.89 г X_1 теоретически требуется 224 мл хлора (н.у.)...

3. Кубок Ликурга

Кубок Ликурга – это знаменитый памятник античного стеклоделия. Он выполнен из полупрозрачного стекла, которое кажется красным в проходящем свете и зеленым в отраженном. Состав стекла кубка Ликурга в массовых процентах: SiO_2 74%, Na_2O 15%, CaO 6.8%, Al_2O_3 2.5%, Fe_2O_3 1.5%, ...

4. Фотокатализаторы

В последнее время широкую популярность получили фотокатализаторы на основе

мезопористого диоксида титана. Одной из его важнейших характеристик является удельная площадь поверхности $S_{уд}$ (отношение площади поверхности к массе образца)...

5. Фуллерен с нечетным числом атомов

Известно, что фуллерен C_{28} неустойчив и обладает повышенной реакционной способностью, так как является радикалом с четырьмя неспаренными электронами. Однако добавление всего одного углеродного атома способно стабилизировать соединение...

6. Наноструктурированный источник тока

Использование наноструктурных электродов – один из потенциальных способов повышения эффективности химических источников тока. Один из электродов приготовили по следующей методике. При комнатной температуре смешали концентрированные растворы соли **X** и NaOH...

7. Частицы золота

Наночастицы золота синтезировали по следующей методике: раствор $HAuCl_4$ смешали в определенном соотношении с раствором ароматической кислоты **X** в избытке щелочи при комнатной температуре, затем добавили твердый $NaBH_4$...

8. Нанотехнологии в стоматологии

В настоящее время на потребительском рынке предпринимаются активные маркетинговые усилия по продвижению зубных паст, содержащих, по заверениям производителей, наночастицы соединения **A**. В медицинскую практику в ее стоматологическом сегменте пытаются внедрить...

9. Расшифровка пептида

При полном гидролизе линейного пептида **X** массой 1228,7 Да, состоящего из канонических аминокислот, была получена смесь индивидуальных аминокислот (АК), молекулярные массы которых в порядке возрастания составляют...

10. Модификации

На рис. 1. представлен упрощенный общий подход к синтезу новых перспективных наноматериалов **X** и **Y**. Нарисуйте или опишите структурные элементы **X** и **Y** и запишите их химические формулы в общем виде. Расшифруйте вещества **D** – **J**...



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 1. Наноалмазы

Наноалмазы – перспективный *наноматериал*, который предполагается использовать для решения различных практических задач. Материал состоит из отдельных кристалликов алмаза, размером ~5 нм. Мы обсудим свойства и некоторые применения наноалмазов.

Свойства

1. Почему наноалмазы называют наноматериалом, а не кристаллическим веществом? **(1 балл)**
2. При детонации углеродосодержащих взрывчатых веществ, например, гексогена, образуется углеродная сажа, состоящая из частиц наноалмаза. Почему в этом случае образуется именно алмаз, а не графит? Чем определяется размер наночастицы алмаза? **(3 балла)**

Теперь обратимся к возможным **применениям наноалмазов**.

3. Наноалмазы пробуют использовать для транспорта лекарственных препаратов внутри организма человека. Один из таких препаратов – глицин, $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$. Предложите двухстадийный синтез, позволяющий ковалентно присоединить глицин к поверхности наноалмаза аминогруппой. **(4 балла)**
4. Алмазы и наноалмазы обладают высокой теплопроводностью. Предложено использовать коллоидные растворы наноалмазов в воде в качестве теплопроводящих жидкостей. Максимальная концентрация наноалмазов в воде – около 10 мас.%. Коэффициент теплопроводности чистой воды равен $\kappa = 0.6 \text{ Вт/(м·К)}$, а для раствора, содержащего 1.5 объемных % алмаза, он увеличился на 3%. Увеличение коэффициента теплопроводности (в %) пропорционально объемной доле наноалмаза в коллоидном растворе. На какой максимальный коэффициент теплопроводности можно рассчитывать для теплопроводящей жидкости на основе водного раствора наноалмазов? Плотность наноалмаза составляет 3.5 г/см^3 . Считайте, что добавка наноалмаза не изменяет плотность воды. **(4 балла)**

Всего – 12 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 1. Наноалмазы

Общие замечания.

К сожалению, очень немногие отвечали на вопросы самостоятельно, т.е. старались выразить своими словами свои мысли. Этим немногим людям мы давали дополнительные очки. Многие другие механически копировали тексты из интернета. За бессмысленное копирование мы снижали оценки.

1. Внимательно прочтите вопрос! Речь идет не просто о свойствах наноматериала, а о сравнении наноматериала и кристаллического вещества.

Во всем объеме кристаллического вещества атомы (или молекулы) расположены в определенном порядке. Говорят, что в кристалле существует «дальний порядок» в расположении атомов (молекул). Наноматериалы состоят из отдельных наночастиц. В них «дальнего порядка» нет. Атомы упорядочены только в объеме отдельной наночастицы. Так устроены наноалмазы.

Многие отмечали, что у наноалмазов высока доля поверхностных атомов. Неплохое соображение! Но, это скорее свойство отдельной наночастицы, а не наноматериала. Наночастицы в наноматериале обязательно слипаются, и доля поверхностных атомов падает. А, вот, «дальний порядок» при слипании возникнуть не может.

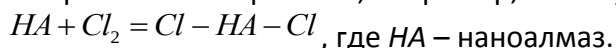
2. При взрыве на короткое время возникает область высокой температуры и высокого давления. Под действием высокой температуры газообразные молекулы углеродосодержащих веществ распадаются на атомы. Затем происходит конденсация углерода, образуются углеродные наночастицы. При высокой температуре и высоком давлении термодинамически выгодной модификацией углерода является алмаз, а не графит. Поэтому образующиеся наночастицы имеют структуру алмаза (гибридизация sp^3). Размер алмазной наночастицы определяется временем существования зоны нужной высокой температуры и нужного высокого давления.

Температура и давление спадают быстро. При комнатной температуре и атмосферном давлении термодинамически выгодной модификацией углерода является графит. Однако, скорость превращения алмаза в графит в этих условиях очень мала. Размер алмазных наночастиц, образовавшихся при высоких температуре и давлении, не меняется.

Правильный ответ складывается из подчеркнутых фраз. Многие бездумно вставляли в свою работу файлы из интернета. За такие ответы – 1,5 балла, в лучшем случае.

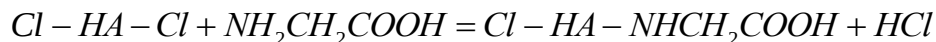
3. Атомы углерода в алмазе имеют sp^3 гибридизацию. Атомы на поверхности наноалмазной частицы имеют по одной “свободной связи”. Поэтому, они могут вступать в реакции присоединения, например, с галогенами: хлором, фтором, бромом, йодом.

Первая стадия – галогенирование поверхности, например, молекулярным хлором



Можно использовать другие хлорирующие агенты. Любое галогенирование считалось правильным ответом.

Вторая стадия – замещение галогена на поверхности при взаимодействии с аминокислотой:



Некоторые авторы предлагали на первой стадии окислить поверхность различными способами. Однако, в этом случае трудно будет провести реакцию замещения.

Кое-кто скопировал из интернета патент, в котором описан синтез конъюгата (нанокомпозиата) наноалмаза с глицином. За копирование без всяких комментариев – максимум, 2 балла.

4. Алмазы и наноалмазы обладают высокой теплопроводностью. Предложено использовать коллоидные растворы наноалмазов в воде в качестве теплопроводящих жидкостей. Максимальная концентрация наноалмазов в воде – около 10 весовых%. Коэффициент теплопроводности чистой воды равен $\kappa=0.6$ Вт/(м*К) а для раствора содержащего 1.5 объемных % алмаза он увеличился на 3%. Увеличение коэффициента теплопроводности (в %) пропорционально объемной доле наноалмаза в коллоидном растворе. На какой максимальный коэффициент теплопроводности можно рассчитывать для теплопроводящей жидкости на основе водного раствора наноалмазов? Плотность наноалмаза составляет 3.5 г/см^3 . Считайте, что добавка наноалмаза не изменяет плотность воды (4 балла).

Здесь было предложено два решения.

Решение 1.

Концентрация наноалмаза в весовых и объемных процентах определяется по формулам

$$c(\%) = \frac{M_{\text{алмаз}}}{M_{\text{алмаз}} + M_{\text{вода}}} \times 100$$

$$v(\%) = \frac{V_{\text{алмаз}}}{V_{\text{раств}}} \times 100$$

Связь между c и v дается соотношением

$$v = \frac{c}{\rho_{\text{алмаз}}} \times \rho_{\text{воды}}$$

В этом случае, мы считаем, что плотность раствора равна плотности чистой воды (см. последнюю фразу Условия!)

Коллоидный раствор, с концентрацией 10% весовых соответствует

$$v(\%) = \frac{10}{3.5} \times 1 = 2,85\%$$

Таким образом, максимальное увеличение коэффициента теплопроводности может составить

$$\Delta v(\%) = \frac{2,85}{1,5} \times 3 = 5,7\%$$

Максимальный коэффициент теплопроводности составит

$$\kappa = 0,6 + 0,6 \times 0,057 = 0,634 \text{ Вт/(м} \times \text{К)}$$

Решение 2.

Возьмем 100 г коллоидного раствора с максимальной концентрацией наноалмазов. Он содержит 10 г наноалмазов (объем $10/3.5 = 2.9 \text{ см}^3$) и 90 г воды (объем 90 см^3). Объемная доля наноалмазов равна: $2.9 / (90+2.9) = 0.031 = 3.1\%$.

В этом случае мы предполагаем, что объем раствора равен сумме объемов составляющих.

Таким образом, максимальное увеличение коэффициента теплопроводности может составить

$$(3,1/1,5) \times 3 = 6,2\%$$

Максимальный коэффициент теплопроводности будет равен

$$\kappa = 0,6 + 0,6 \times 0,062 = 0,637 \text{ Вт/(м} \times \text{К)}$$

Оба решения считались верными!



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 2. Активные порошки

При взаимодействии простого вещества элемента X с хлором были получены бесцветные чешуйчатые кристаллы вещества X_1 , дымящие на воздухе. Известно, что для получения 0.89 г X_1 теоретически требуется 224 мл хлора (н.у.). При действии на X_1 алюмогидридом лития в 1,3,5-триметилбензоле (мезитилене) при 160 °С был получен серый порошок X_2 с температурой плавления 590 °С. Если реакцию проводить при температуре 90 °С, то образуется белый порошок X_3 , который при прокаливании разлагается с образованием вещества X_2 . Оба вещества – X_2 и X_3 – энергично реагируют с водой уже при комнатной температуре. Если нагреть X_2 до температуры плавления, расплав превращается в блестящую застывшую каплю с металлическим блеском. Расплавить ее удастся только при более высокой температуре. Свежеприготовленный порошок X_2 воспламеняется на воздухе уже при слабом нагревании. Однако при хранении в закрытой склянке его реакционная способность понижается.

1. Определите состав всех веществ, если дополнительно известно, что из 1.00 г X_3 можно получить не более 0.9 г X_2 . **(3 балла)**
2. Запишите уравнения реакций. **(4 балла)**
3. Объясните причину высокой реакционной способности X_2 и уменьшение ее при хранении. **(1 балл)**
4. Предложите два других способа получения X_2 . **(2 балла)**

Всего – 10 баллов

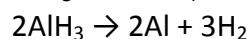
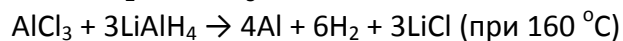
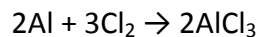


Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 2. Активные порошки

1. $X - \text{Al}$, $X_1 - \text{AlCl}_3$, $X_2 - \text{Al(nano)}$, $X_3 - \text{AlH}_3$

2. Уравнения реакций:



3. В высокую реакционную способность наноалюминия вносит вклад избыточная поверхностная энергия наночастиц, которая при хранении уменьшается из-за окисления поверхности.

4. Другие способы получения Al(nano) – осаждение из газовой фазы, взрывное диспергирование.



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 3. Кубок Ликурга



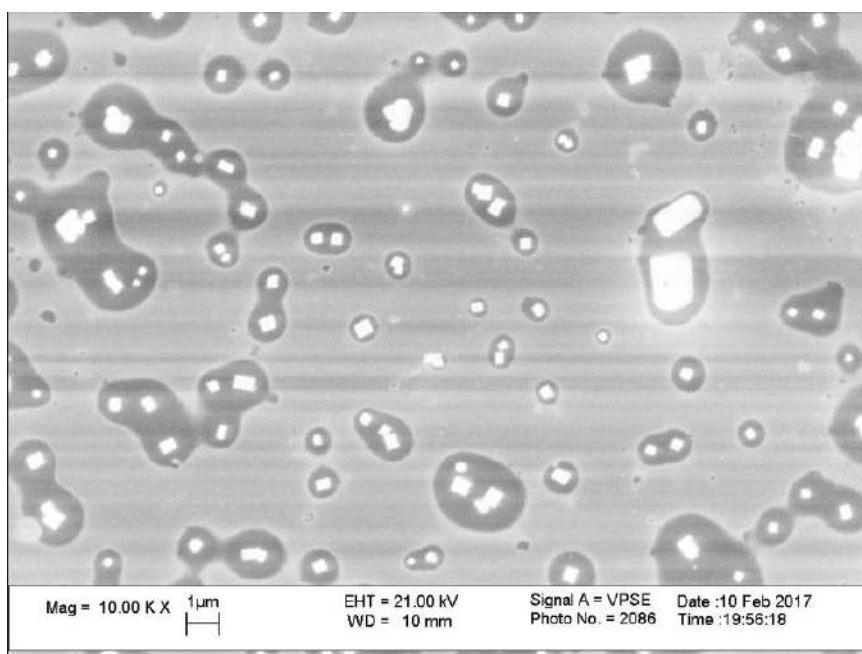
Кубок Ликурга – это знаменитый памятник античного стеклоделия. Он выполнен из полупрозрачного стекла, которое кажется красным в проходящем свете и зеленым в отраженном. Состав стекла кубка Ликурга в массовых процентах:

SiO_2 74%, Na_2O 15%, CaO 6.8%, Al_2O_3 2.5%, Fe_2O_3 1.5%, P_2O_5 0.2%, Ag 0.03%, Au 0.004%.

Современные оконные стекла, производимые в различных странах, имеют состав:

SiO_2 68-75%, Na_2O 11-15%, CaO 6-11%, Al_2O_3 0-3%, K_2O 0-3%.

В отличие от обычного оконного стекла, стекло кубка Ликурга обладает сложной микроструктурой, представленной на микрофотографии. В основной стеклофазе находятся капли другого стекла, обогащенного SiO_2 , в которых со временем происходит кристаллизация кварца. Также в стекле есть металлические наночастицы, состоящие из золота и серебра.



1. Можно ли для воспроизведения стекла кубка Ликурга использовать смесь компонентов, подготовленную для варки оконного стекла? Какие химические соединения в нее необходимо добавить? **(2 балла)**
2. Кубок Ликурга интересен своими оптическими свойствами. Как называется явление, придающее ему эти свойства? **(2 балла)**
3. Оцените примерный размер капель второй стеклофазы в стекле кубка Ликурга по микрофотографии. Ответ дайте в виде двойного неравенства. **(2 балла)**
4. Выскажите предположение о том, откуда могло попасть железо в состав стекла. **(1 балл)**
5. Рассчитайте состав шихты для варки 1 кг стекла кубка Ликурга, зная, что 3% натрия в процессе варки улетучивается в виде оксида, а источником фосфора является фосфат кальция. **(3 балла)**
6. На каком расстоянии друг от друга в стекле кубка Ликурга находятся наночастицы? Примите, что частицы являются сферическими (диаметр 40 нм), состоят только из атомов золота и равномерно распределены в объеме стекла. Плотность стекла равна 2.55 г/см^3 , а плотность золота 19.32 г/см^3 . **(3 балла)**

Всего – 13 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 3. Кубок Ликурга

1. Для производства стекла кубка Ликурга можно использовать шихту оконного стекла, в которую необходимо добавить оксид железа.
2. Дихроизм – это явление, которое заключается в различной окраске в зависимости от местоположения источника света. В отраженном свете кубок зеленый, а в проходящем – красный.
3. Размеры капель от 0.5 до 3 мкм.
4. Железо могло попасть в стекло вместе с кварцевым песком.
5. SiO_2 вводят в шихту в виде кварцевого песка.

$$m(\text{SiO}_2) = 1000 \cdot 0.74 = \mathbf{740 \text{ г}}$$

Na_2O вводят в стекло в виде карбоната натрия.

$$m(\text{Na}_2\text{O}) = 1000 \cdot 0.15 = 150 \text{ г}$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 150 / 62 \cdot 106 = 256.45 \text{ г}$$

с учетом 3% потери: $m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 256.45 / 0.97 = \mathbf{264.38 \text{ г}}$

CaO вводят в стекло в виде карбоната кальция и фосфата кальция

$$n(\text{P}_2\text{O}_5) = 1000 \cdot 0.002 / 142 = 0.0141 \text{ моль}$$

$$m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 0.0141 \cdot 310 = \mathbf{4.37 \text{ г}}$$

$n(\text{CaO}) = 1000 \cdot 0.068 / 56 = 1.2143 \text{ моль}$, из них $0.0141 \cdot 3 = 0.0423 \text{ моль}$ придет с фосфатом

$$m(\text{CaCO}_3) = (1.2143 - 0.0423) \cdot 100 = \mathbf{117.2 \text{ г}}$$

Al_2O_3 вводят в стекло в виде корунда

$$m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 1000 \cdot 0.025 = \mathbf{25 \text{ г}}$$

Fe_2O_3 вводят в стекло в виде оксида железа (III)

$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 1000 \cdot 0.015 = \mathbf{15 \text{ г}}$$

Серебро вводят в стекло в виде нитрата серебра

$$m(\text{AgNO}_3) = 1000 \cdot 0.0003 / 108 \cdot 170 = \mathbf{0.47 \text{ г}}$$

$$m(\text{Au}) = 1000 \cdot 0.00004 = \mathbf{0.04 \text{ г}}$$

$$\begin{aligned}
 6. \quad V(\text{НЧ}) &= \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (40 \text{ нм})^3 = \frac{4}{3} \pi \cdot (4 \cdot 10^{-6} \text{ см})^3 = 2.68 \cdot 10^{-16} \text{ см}^3 \\
 m(\text{НЧ}) &= V \cdot \rho = 2.68 \cdot 10^{-16} \text{ см}^3 \cdot 19.32 \text{ г/см}^3 = 5.18 \cdot 10^{-15} \text{ г} \\
 N(\text{НЧ}) &= m / m(\text{НЧ}) = 0.04 \text{ г} / 5.18 \cdot 10^{-15} \text{ г} = 7.7 \cdot 10^{12} \text{ частиц в 1 кг стекла} \\
 V(\text{стекла}) &= m / \rho = 1000 \text{ г} / 2.55 \text{ г/см}^3 = 392.16 \text{ см}^3
 \end{aligned}$$

Предположим, что каждая наночастица расположена в центре куба, тогда ребро куба и будет расстоянием между НЧ.

$$\begin{aligned}
 V(\text{куба}) &= V(\text{стекла}) / N(\text{НЧ}) = 392.16 \text{ см}^3 / 7.7 \cdot 10^{12} = 5.09 \cdot 10^{-11} \text{ см}^3 \\
 a(\text{куба}) &= (5.09 \cdot 10^{-11} \text{ см}^3)^{1/3} = \mathbf{3.7 \cdot 10^{-4} \text{ см}}
 \end{aligned}$$



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 4. Фотокатализаторы

В последнее время широкую популярность получили фотокатализаторы на основе мезопористого диоксида титана. Одной из его важнейших характеристик является удельная площадь поверхности $S_{уд}$ (отношение площади поверхности к массе образца). Для определения данного параметра используют метод сорбции-десорбции азота при 77 К: экспериментально измеряют объём адсорбированного азота и рассчитывают $S_{уд}$ в предположении, что молекулы N_2 образуют монослой.

1. Определите удельную площадь поверхности мезопористого диоксида титана, если 1.00 г данного материала адсорбировал 0.15 мл жидкого азота. Плотность жидкого азота равна 0.808 г/мл, радиус молекулы азота равен 0.16 нм. **(3 балла)**
2. Оцените средний диаметр частиц мезопористого диоксида титана, обладающего такой удельной поверхностью. Для простоты форму частиц можно считать сферически симметричной. Плотность диоксида титана равна 4.05 г/см³. **(3 балла)**
3. Объясните, почему для мезопористого диоксида титана как фотокатализатора удельная площадь поверхности является одним из наиболее важных параметров. Какую роль при этом играет размер частиц? Приведите пример фотокаталитической химической реакции. **(2 балла)**

Всего – 8 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 4. Фотокатализаторы

1. Количество адсорбированного азота равно

$$v = \frac{m}{M} = \frac{\rho V}{M}$$

Это соответствует $N = v \cdot N_A = \frac{\rho V N_A}{M}$ молекулам азота.

Так как они образуют монослой, то занимаемая площадь равна

$$S = s_{N_2} \cdot N = \pi r_{N_2}^2 \cdot \frac{\rho V N_A}{M} = \pi \cdot (0,16 \cdot 10^{-9} \text{ м})^2 \cdot \frac{808 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}}{0,028 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 210 \text{ м}^2$$

По условию, масса оксида титана равна 1 г, поэтому удельная площадь поверхности равна $210 \text{ м}^2/\text{г}$.

2. Предположим, что количество частиц оксида титана в одном грамме равно n . Тогда суммарная площадь поверхности частиц равна

$$S_n = S_1 \cdot n = 4\pi r^2 n,$$

а суммарный объём равен

$$V_n = V_1 \cdot n = \frac{4}{3} \pi r^3 n.$$

Кроме того, известно, что площадь поверхности равна 210 м^2 , а объём равен

$$V_n = \frac{m}{\rho}.$$

Составим систему уравнений и решим её.

$$\begin{cases} 210 = 4\pi r^2 n \\ \frac{m}{\rho} = \frac{4}{3} \pi r^3 n \end{cases}$$

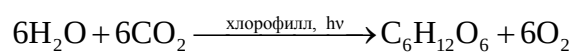
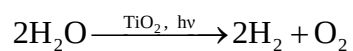
$$r = \frac{m}{70\rho} = \frac{10^{-3} \text{ кг}}{70 \text{ м}^2 \cdot 4050 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 3,5 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 3,5 \text{ нм}$$

Значит, диаметр наночастиц равен 7 нм.

3. Эффективность фотокатализатора (как и любого другого гетерогенного катализатора) зависит от площади контакта катализатор/реагенты и количества активных центров на его поверхности. Следовательно, чем больше удельная площадь поверхности диоксида титана, тем выше его эффективность.

Как известно, уменьшение размеров частиц приводит к увеличению площади поверхности материала, так как на поверхности оказывается большее число атомов. Таким образом, снижение размера частиц повышает эффективность фотокатализатора.

Примеры фотокаталитических химических реакций:





Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 5. Фуллерен с нечетным числом атомов

Известно, что фуллерен C_{28} неустойчив и обладает повышенной реакционной способностью, так как является радикалом с четырьмя неспаренными электронами. Однако добавление всего одного углеродного атома способно стабилизировать соединение настолько, что его можно применять как абразивный материал. Продукт наиболее полного гидрирования этого фуллерена содержит 6.494% водорода по массе.

1. Предложите структуру соединения C_{29} . **(3 балла)**
2. Запишите уравнение реакции полного гидрирования C_{29} . **(2 балла)**
3. Объясните, почему данное соединение не может присоединить большее число атомов водорода. **(2 балла)**

Указание. В расчетах используйте максимально точные атомные массы элементов.

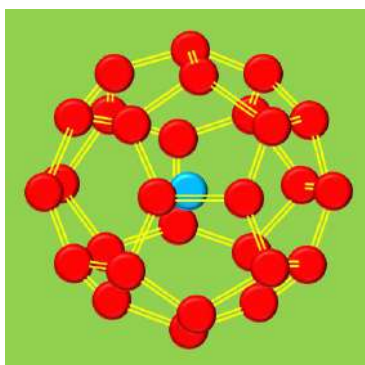
Всего – 7 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 5. Фуллерен с нечетным числом атомов

1. Структуру соединения C_{29} можно представить как «оболочку» из фуллерена C_{28} (четыре шестиугольника и четыре пятиугольника, в вершинах которых расположены атомы углерода), в центре которого расположен ещё один атом углерода, стабилизирующий молекулу за счёт включения неспаренных электронов «оболочки» в четыре ковалентные связи с «ядром». На рисунке схематично изображено строение молекулы C_{29} . Синим цветом выделен центральный атом углерода, красным – атомы, входящие в состав «оболочки».



2. Обозначим формулу продукта наиболее полного гидрирования $C_{29}H_n$ и найдём число атомов водорода. Молярная масса такого соединения равна $M(C_{29}H_n) = 29 \cdot A(C) + n \cdot A(H)$, где $A(C)$ – атомная масса углерода, $A(H)$ – атомная масса водорода. Значит, массовую долю водорода можно выразить как

$$\omega = \frac{n \cdot A(H)}{M(C_{29}H_n)} \cdot 100\%.$$

Таким образом, определим n :

$$\omega = \frac{n \cdot A(H)}{M(C_{29}H_n)} \cdot 100\%$$

$$n = \frac{\omega \cdot M(C_{29}H_n)}{A(H) \cdot 100\%} = \frac{\omega \cdot (29 \cdot A(C) + n \cdot A(H))}{A(H) \cdot 100\%}$$

$$n = \frac{6,494\% \cdot (29 \cdot 12,0107 \frac{\text{г}}{\text{моль}} + n \cdot 1,00794 \frac{\text{г}}{\text{моль}})}{1,00794 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot 100\%} = \frac{6,494}{1,00794 \cdot 100} \cdot (348,3103 + n \cdot 1,00794)$$

$$\frac{1,00794 \cdot 100}{6,494} n = 348,3103 + 1,00794 n$$

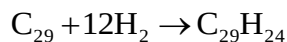
$$\frac{1,00794 \cdot 100}{6,494} n - 1,00794 n = 348,3103$$

$$\frac{1,00794 \cdot 100 - 1,00794 \cdot 6,494}{6,494} n = 348,3103$$

$$n = 24$$

Значит, формула продукта наиболее полного гидрирования $C_{29}H_{24}$.

Уравнение реакции:



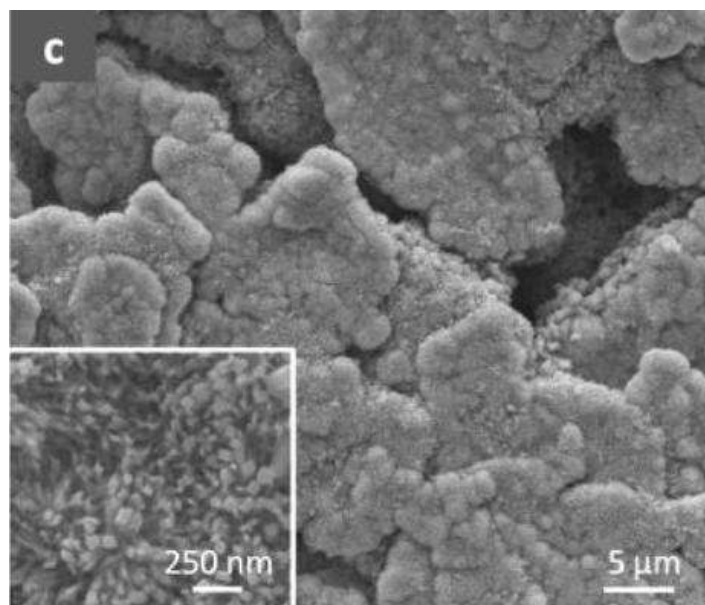
3. Каждый атом углерода в «оболочке» связан с тремя другими, при этом некоторые связи в данной структуре должны быть двойными (так как углерод четырёхвалентный). «Центральный» атом углерода связан одинарными связями с четырьмя атомами углерода из «оболочки» (каждый из которых соединён ещё с тремя атомами углерода из «оболочки»), поэтому 5 атомов из 29 имеют только одинарные связи (у каждого из них по 4 такие связи). Следовательно, только 24 атома углерода имеют двойную связь. Так как атомы углерода соединяются попарно, то двойных связей всего 12. Гидрирование C_{29} осуществляется только по кратным связям (без разрыва связей C–C), поэтому данное соединение не может присоединить большее число атомов водорода.



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 6. Наноструктурированный источник тока

Использование наноструктурных электродов – один из потенциальных способов повышения эффективности химических источников тока. Один из электродов приготовили по следующей методике. При комнатной температуре смешали концентрированные растворы соли **X** и гидроксида натрия, последний был взят в небольшом избытке. Смесь перемешивали в течение нескольких минут, затем выпавший желто-зеленый осадок **Y** отделили и высушили. К высушенному веществу **Y** добавили 4.7 М H_2SO_4 , полученную смесь снова высушили и подвергли электрохимическому окислению в серной кислоте. В результате образовались дендритные нанокристаллы вещества **Z** (см. рис.), которые использовали в качестве катода в химических источниках тока.



Известно, что:

- а) масса **Y** в 1.484 раза меньше массы **X**, взятого для синтеза;
- б) **Y** и **Z** – бинарные соединения одного и того же качественного состава, в которых массовая доля одного из элементов отличается на 6.2%.

1. Определите формулы веществ **X** – **Z**. Ответ подтвердите расчетом. **(3 балла)**
2. Напишите уравнения проведенных реакций. **(3 балла)**
3. Напишите уравнения полуреакций, протекающих на катоде и аноде при разрядке и зарядке источника тока. Один из электродов – вещество **Z**, другой электрод и электролит выберите самостоятельно. **(2 балла)**

Всего – 8 баллов



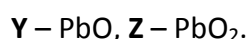
Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 6. Наноструктурированный источник тока

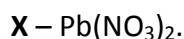
1. Из условия очевидно, что **Y** и **Z** – кислородсодержащие соединения, обозначим их $\text{Э}_2\text{O}_y$ и $\text{Э}_2\text{O}_z$. Тогда получим условие на массовую долю элемента Э:

$$\frac{2M(\text{Э})}{2M(\text{Э})+16y} - \frac{2M(\text{Э})}{2M(\text{Э})+16z} = 0.062$$

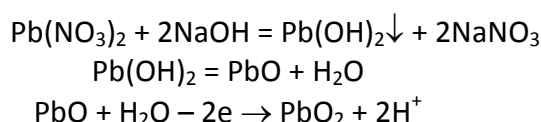
После небольшого перебора по y и z находим: При $y = 2$ и $z = 4$, $M(\text{Э}) = 207$ г/моль.



Молярная масса исходной соли: $M(\text{X}) = 223 \cdot 1.484 = 331$ г/моль, это – нитрат свинца(II),

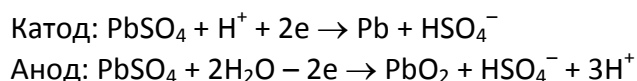


2. Уравнения реакций:

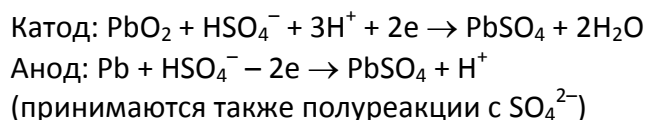


3. Возьмем простой автомобильный аккумулятор, в котором второй электрод – Pb , а электролит – H_2SO_4 . На катоде всегда происходит восстановление, на аноде – окисление.

Зарядка (несамопроизвольный процесс).



Разрядка (самопроизвольный процесс).





Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 7. Частицы золота

Наночастицы золота синтезировали по следующей методике: раствор HAuCl_4 смешали в определенном соотношении с раствором ароматической кислоты **X** в избытке щелочи при комнатной температуре, затем добавили твердый NaBH_4 . Образовавшуюся смесь коллоидных частиц разного размера разделили путем многократного центрифугирования. В результате были получены частицы фиксированного состава, молекулярную массу которых определяли с помощью масс-спектрометрии и гель-электрофореза. Частица, содержащая 204 атома золота и некоторое число остатков кислоты, имела массу 52348 Да, а частица, в которой было на 7 атомов золота и на 3 остатка меньше, весила 50513 Да. Частицы **Y** массой 26782 Да оказались настолько устойчивыми, что из них удалось вырастить монокристалл и определить пространственную структуру методом рентгеноструктурного анализа.

1. Установите структурную формулу органической кислоты **X**, если известно, что она содержит серу, а ее молекула симметрична. **(2 балла)**
2. Сколько атомов золота и остатков кислоты входят в состав самой устойчивой частицы **Y**? **(2 балл)**
3. Наночастицы состоят из металлического ядра и остатков кислоты, связанных с атомами на поверхности. Оцените радиусы частицы **Y** и ее ядра, считая их сферическими. Радиус атома золота равен 0.144 нм, плотноупакованные сферы занимают 74% пространства. Размер молекулы **X** оцените самостоятельно, используя справочные данные о длинах связей. **(4 балла)**

Указание. Атомные массы всех элементов считайте целыми.

Всего – 8 баллов



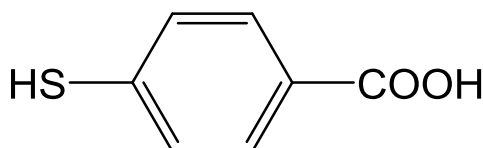
Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 7. Частицы золота

1. Семь атомов золота и три остатка кислоты имеют массу:

$$7 \cdot 197 + 3M = 52348 - 50513,$$

откуда $M = 152$ Да. Это – молекулярная масса аниона. Такую массу имеет анион меркаптобензойной кислоты $^{-}\text{S}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}^{-}$. Из трех изомерных кислот, отличающихся взаимным расположением двух функциональных групп, симметричной является только 4-меркаптобензойная кислота (pMBA):



X

2. Пусть Y содержит a атомов Au и b остатков X, тогда

$$197a + 152b = 26782.$$

Уравнение решается подбором с учетом того, что a – четное, но не делится на 4. Кроме того, из анализа состава более крупных частиц следует, что атомов золота – примерно в 2.5 раза больше, чем анионов.

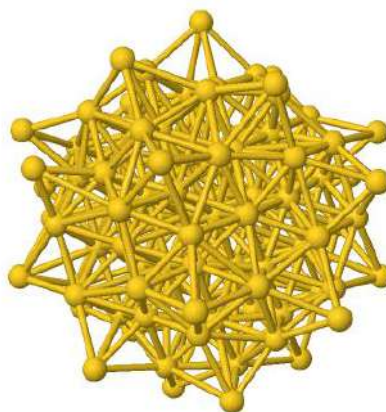
$$a = 102, b = 44.$$



3. Пусть R – радиус металлического ядра, $r = 0.144$ нм – радиус атома золота, тогда

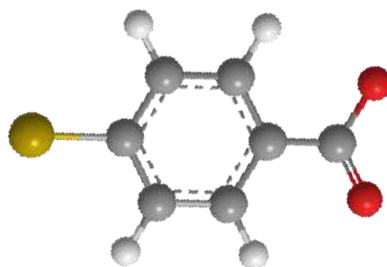
$$\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{102 \cdot \frac{4}{3}\pi r^3}{0.74},$$

откуда $R = 0.744$ нм.



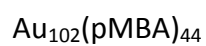
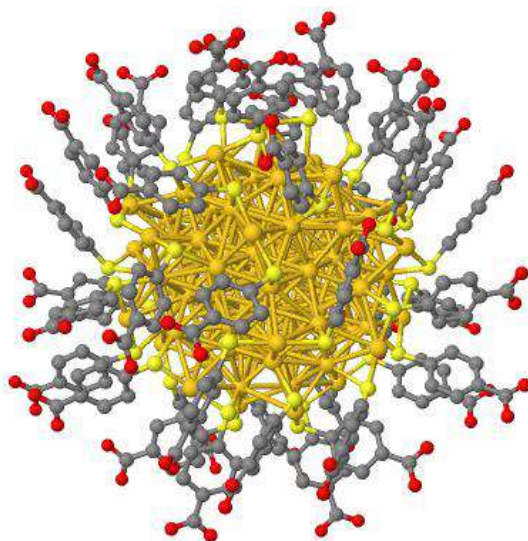
Au_{102}

Оценим линейный размер остатка:



$$l(\text{S}-\text{C}) + 2l(\text{C}-\text{C}) + l(\text{C}-\text{O}) + 1/2 \cdot l(\text{C}=\text{O}) = 0.182 + 2 \cdot 0.140 + 0.154 + 1/2 \cdot 0.132 = 0.682 \text{ нм.}$$

Полный радиус частицы: $0.744 + 0.682 = 1.426 \text{ нм} \approx 1.4 \text{ нм.}$





Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 8. Нанотехнологии в стоматологии

В настоящее время на потребительском рынке предпринимаются активные маркетинговые усилия по продвижению зубных паст, содержащих, по заверениям производителей, наночастицы соединения **A**. В медицинскую практику в ее стоматологическом сегменте пытаются внедрить “светоотверждаемый универсально применимый нано-гибридный композит с новым видом наполнителя из соединения **B** для прямых реставраций фронтальных и жевательных зубов”. Соединения **A** и **B** родственны смешанной соли **C**, которая в следовых количествах присутствует в зубах человека. В таблице приведено массовое содержание некоторых элементов по результатам анализа соединений **A – C** (? – данные отсутствуют).

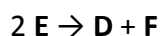
Соль	$\omega(\text{Ca})$	$\omega(\text{P})$	$\omega(\text{O})$
A	39.89	18.51	41.40
B	39.74	?	?
C	38.89	18.04	?

1. Установите состав **A – C**. Ответ обязательно подтвердите расчетом. **(3 балла)**
2. Тюбик зубной пасты японского производства, содержащей наночастицы **A**, объемом 60 мл стоит на российском рынке порядка 1000 рублей. Обычная паста подобного объема стоит порядка 100 рублей. Оцените минимальную стоимость (в рублях) производства одного грамма наночастиц **A**, если считать, что производители паст продают их по себестоимости. Насколько реалистична такая оценка? **(1 балл)**

В 2018 году был синтезирован новый тип наночастиц на основе соединения **D**, который позволяет диагностировать и лечить зубной налет в рамках регулярного стоматологического осмотра. Зубной налет, который может служить причиной развития кариеса, фактически представляет собой пленку, содержащую колонии нескольких видов бактерий. Основными микроорганизмами зубного налета выступают бактерии вида *Streptococcus mutans*.

3. Напишите уравнение реакции, лежащей в основе развития кариеса и протекающей при непосредственном участии *Streptococcus mutans*. **(1 балл)**

Нерастворимое в воде соединение **D** можно получить при нагревании до 300°C белых кристаллов вещества **E**, содержащего 6,03% O и 26,71% Cl (по массе) и еще один элемент, в соответствии с уравнением реакции:



4. Установите соединения **D – F**. **(3 балла)**

Использованные в исследовании наночастицы были сконструированы на основе ядра из **D**, укрытого органосилановым полимером, к которому был присоединен специальный олигопептид.

5. Какой компонент наночастицы с Вашей точки зрения отвечает за диагностику наличия зубного налета при невозможности определения его невооруженным глазом? **(1 балл)**

6. В тексте научной статьи, описывающей синтез и применение наночастиц на основе соединения **D**, часто используется фрагмент текста следующего содержания TFFRLFNRSFTQALGK. Что он означает? **(1 балл)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 8. Нанотехнологии в стоматологии

1. Заметим, что для соединения **A** сумма массовых долей приведенных элементов не равна 1, причем на остаток приходится 0.20%. Столь низкое массовое содержание наверняка связано с присутствием водорода, тогда:

$$\text{Ca} : \text{P} : \text{O} : \text{H} = \frac{39.89}{40.08} : \frac{18.51}{30.97} : \frac{41.40}{16.00} : \frac{0.20}{1.01} = 5 : 3 : 13 : 1.$$

Истинный состав **A** – $\text{Ca}_5\text{P}_3\text{O}_{13}\text{H}$ или $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ – это гидроксиапатит. Расчет показывает, что соотношение числа атомов кальция и фосфора в формульной единице **C** то же, что и для **A**. Следовательно, с учетом указания, что это родственная смешанная соль, ее состав можно представить в виде $(\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3)_a\text{An}$, где **An** – анион с зарядом a^- .

$M(\text{An}) = \left(\frac{40.08 \cdot 5}{0.3889} - 40.08 \cdot 5 - 94.97 \cdot 3 \right) \cdot a = 30.0 \cdot a$ (г/моль), что соответствует карбонату, тогда **C** – $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{CO}_3$ (карбонатапатит).

Применяя аналогичные рассуждения к веществу **B** и производя соответствующие выкладки, получим, что в данном случае эквивалент нефосфатного аниона равен 19 г/моль. Учитывая биологическое значение **B**, речь идет о фторапатите $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$.

(по 1 баллу за соединение, всего 3 балла)

2. Плотность зубной пасты легко вычислить, имея в руках тюбик, ее содержащий, примерно, 1.25 г/мл. Тогда тюбик объемом 60 мл будет содержать 75 г пасты, которая в пределе может быть представлена только наночастицами соединения **A**. Тогда стоимость 1 г наночастиц может составлять по минимуму $(1000-100)/75 = 12$ рублей, что, конечно, является нереалистической оценкой ввиду незначительного содержания гидроксиапатита в зубной пасте, наценки производителя и т.д.
3. $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2 \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$.

Молочная кислота, снижая pH в ротовой полости, ответственна за деградацию зубной эмали.

4. Мольное соотношение кислорода и хлора в соединении **E** – 1:2. Тогда молекулярную формулу соединения **E** можно записать как $\text{Z}_4(\text{OCl}_2)_n$, где n – степень окисления элемента Z. Отсюда:

$$M(\text{Z}) = \frac{(100 - 6,03 - 26,71) \cdot 16}{6,03 \cdot n} = 178,47 \cdot n^{-1}$$

Перебор возможных вариантов приводит к единственному ответу: неизвестный элемент – гафний, образующий соединение состава HfOCl_2 , которое при разложении образует оксид гафния (IV) HfO_2 (соединение **D**) и хлорид гафния (IV) (соединение **F**). Последний не подходит на роль **D**, так как он взаимодействует с водой.

(по 1 баллу за соединение, всего 3 балла)

5. Выбор оксида гафния был определен его потенциалом в качестве рентгеноконтрастного агента – известно, что из-за высокого атомного номера у гафния довольно большой коэффициент ослабления по отношению к рентгеновскому излучению, наиболее часто применяемому в диагностике стоматологических заболеваний.
6. В таком виде в статье представлена структура олигопептида, входящего в состав наночастиц для таргетирования их в отношении *Streptococcus mutans*, записанная при помощи однобуквенных обозначений аминокислот.



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 9. Расшифровка пептида

При полном гидролизе линейного пептида **X** массой 1228,7 Да, состоящего из канонических аминокислот, была получена смесь индивидуальных аминокислот (АК), молекулярные массы которых в порядке возрастания составляют:

M_{АК}, Да	75,1	115,1	131,2	146,2	165,2	174,2	181,2
---------------------------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

1. Из каких АК состоит пептид и сколько раз каждая АК входит в его состав? Поясните ход решения. **(3 балла)**

При неполном гидролизе **X** из образующейся смеси были выделены 5 фрагментов, длина которых не превышает трех АК:

Фрагмент	1	2	3	4	5
M, Да	238,3	279,4	406,5	434,6	465,6

2. Установите аминокислотный состав каждого из этих фрагментов, поясните ход решения. **(5 баллов)**
3. Установите точную последовательность АК в пептиде, если любые его два фрагмента перекрываются не более чем на одну АК, а при его реакции с динитрофторбензолом и последующем гидролизе можно выделить желтый продукт с молекулярной массой 347,3 Да. **(3 балла)**
4. Как называется этот пептид? **(1 балл)** Какую биологическую роль он выполняет? **(1 балл)**

Указание. Чтобы избежать погрешностей округления, все вычисления проводить с приведенными в таблице массами аминокислот и с точностью до десятых.

Всего – 13 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 9. Расшифровка пептида

1.

- 1) Для удобства дальнейших расчетов определим суммарную массу всех аминокислотных остатков (АКО) в пептиде:

$$M_0 = M - M_{H_2O} = 1228,7 - 18,0 = 1210,7 \text{ Да.}$$

- 2) По справочнику сопоставим аминокислоты значениям их масс, а также рассчитаем массы соответствующих им АКО:

АК	Gly	Pro	Leu	Lys	Phe	Arg	Tyr
M(АК), Да	75,1	115,1	131,2	146,2	165,2	174,2	181,2
M(АКО), Да	57,1	97,1	113,2	128,2	147,2	156,2	163,2

- 3) Масса семи АКО:

$$M_{7\text{АКО}} = 57,1 + 97,1 + 113,2 + 128,2 + 147,2 + 156,2 + 163,2 = 862,2 \text{ Да.}$$

То есть, на повторы приходится $M_x = M_0 - M_{7\text{АКО}} = 1210,7 - 862,2 = 348,5 \text{ Да}$, что больше массы какого-либо одного АКО.

- 4) Поскольку для решения придется перебирать комбинации АКО, для удобства составим таблицу сумм масс АКО по две:

		Gly	Pro	Leu	Lys	Phe	Arg	Tyr
Gly	57,1	114,2						
Pro	97,1	154,2	194,2					
Leu	113,2	170,3	210,3	226,4				
Lys	128,2	185,3	225,3	241,4	256,4			
Phe	147,2	204,3	244,3	260,4	275,4	294,4		
Arg	156,2	213,3	253,3	269,4	284,4	303,4	312,4	
Tyr	163,2	220,3	260,3	276,4	291,4	310,4	319,4	326,4

и рассортируем их в порядке возрастания для удобства поиска:

114,2 154,2 170,3 185,3 194,2 204,3 210,3 213,3 220,3 225,3 226,4 241,4 244,3 253,3
256,4 260,3 260,4 269,4 275,4 276,4 284,4 291,4 294,4 303,4 310,4 312,4 319,4 326,4.

- 5) Поскольку число десятых в $M_x = 348,5 \text{ Да}$ нечетно, то очевидно, что одним из повторяющихся АКО является Gly либо Pro. Вычтем их массы из M_x :

$$\begin{aligned} \text{Gly } M_1 &= 348,2 - 57,1 = 291,4 \text{ Да (совпадает с } M(\text{Lys-Tyr})), \\ \text{Pro } M_2 &= 348,5 - 97,1 = 251,4 \text{ Да.} \end{aligned}$$

- 6) Поскольку у M_2 число десятых четно, то на следующем этапе вычтем из нее массы ЛКО, для которых числа десятых также четны: Leu, Lys, Phe, Arg и Tyr, а также Gly₂, Pro₂ и GlyPro.

	Gly ₂	Pro ₂	GlyPro	Leu	Lys	Phe	Arg	Tyr
251,4	137,2	57,2	97,2	138,2	123,2	104,2	95,2	88,2

Так как ни одного нового соответствия не найдено, сумма АКО $M_x = 348,5$ Да отвечает единственному набору: Gly+Lys+Tyr.

Следовательно, аминокислотный состав исследуемого пептида Arg₁Gly₂Leu₁Lys₂Phe₁Pro₁Tyr₂.

2.

1) Рассчитаем массы АКО для фрагментов 1-5:

Фрагмент	1	2	3	4	5
$\sum M$, Да	238,3	279,4	406,5	434,6	465,6
$\sum M(АКО)$, Да	220,3	261,4	388,5	416,6	447,6

2) Проверяя на соответствие по списку из ответа 1, находим, что масса фрагмента 1 точно совпадает с $M(\text{Gly-Tyr})$.

3) Поскольку $M = 261,4$ Да в списке нет, фрагмент содержит более двух АКО, включая один из легких (Gly либо Pro):

Для Gly $M_3 = 261,4 - 57,1 = 204,3$ Да (совпадает с $M(\text{Gly-Phe})$),

Для Pro $M_4 = 261,4 - 97,1 = 164,3$ Да (в списке отсутствует).

4) Поскольку число десятых долей в $M = 388,5$ Да нечетно, то очевидно, что одним из повторяющихся АКО является Gly либо Pro:

Для Gly $M_5 = 388,5 - 57,1 = 331,4$ Да (двойных сочетаний АКО с такой массой в списке нет, а большее число АКО будет противоречить числу аминокислот в полипептиде по условию),

Для Pro $M_6 = 388,5 - 97,1 = 291,4$ Да (совпадает с $M(\text{Lys-Tyr})$).

5) $M = 416,6$ Да:

Gly $M_7 = 416,6 - 57,1 = 359,5$ Да (двойных сочетаний АКО с такой массой в списке нет),

Pro $M_8 = 416,6 - 97,1 = 319,5$ Да (двойных сочетаний АКО с такой массой в списке нет).

Leu $M_9 = 416,6 - 113,2 = 303,4$ Да (совпадает с $M(\text{Arg-Phe})$),

Lys $M_{10} = 416,6 - 128,2 = 288,4$ Да (в списке отсутствует).

Phe $M_{11} = 416,6 - 147,2 = 269,4$ Да (совпадает с $M(\text{Agr-Leu})$),

Agr $M_{12} = 416,6 - 156,2 = 260,4$ Да (совпадает с $M(\text{Leu-Phe})$).

Tyr $M_{13} = 416,6 - 163,2 = 253,4$ Да (в списке отсутствует).

6) $M = 447,6$ Да:

Gly $M_{14} = 447,6 - 57,1 = 390,5$ Да (двойных сочетаний АКО с такой массой в списке нет),

Pro $M_{15} = 447,6 - 97,1 = 350,5$ Да (двойных сочетаний АКО с такой массой в списке нет).

Leu $M_{16} = 447,6 - 113,2 = 334,4$ Да (в списке отсутствует),

Lys $M_{17} = 447,6 - 128,2 = 319,4$ Да (совпадает с $M(\text{Arg-Tyr})$).

Phe $M_{18} = 447,6 - 147,2 = 300,4$ Да (в списке отсутствует),

Agr $M_{19} = 447,6 - 156,2 = 291,4$ Да (совпадает с $M(\text{Lys-Tyr})$).

Tyr $M_{20} = 447,6 - 163,2 = 284,4$ Да (совпадает с $M(\text{Agr-Lys})$).

7) Таким образом, состав фрагментов (АКО приведены в алфавитном порядке):

1	2	3	4	5
Gly-Tyr	Gly-Gly-Phe	Lys-Pro-Tyr	Arg-Leu-Phe	Arg-Lys-Tyr
220,3	261,4	388,5	416,6	447,6

3.

- 1) Leu есть в одном фрагменте из 3х аминокислотных остатков, хотя встречается единожды – значит, он расположен в центре фрагмента 4, что приводит к следующим двум вариантам структур: Arg-Leu-Phe или Phe-Leu-Arg.
- 2) Arg есть в двух фрагментах, хотя встречается единожды, следовательно, фрагменты 4 и 5 пересекаются по этой аминокислоте, что приводит к следующим двум вариантам структур: (Lys, Tyr)-Arg-Leu-Phe или Phe-Leu-Arg-(Lys, Tyr).
- 3) Phe есть в двух фрагментах, хотя встречается единожды – фрагменты 2 и 4 пересекаются по этой аминокислоте, что приводит к следующим двум вариантам структур: (Lys, Tyr)-Arg-Leu-Phe-Gly-Gly или Gly-Gly-Phe-Leu-Arg-(Lys, Tyr).
- 4) Gly есть в двух фрагментах, причем в одном – дважды (что соответствует его встречаемости в структуре) – фрагменты 1 и 2 пересекаются по этой аминокислоте, что приводит к следующим двум вариантам структур: (Lys, Tyr)-Arg-Leu-Phe-Gly-Gly-Tyr или Tyr-Gly-Gly-Phe-Leu-Arg-(Lys, Tyr)
- 5) Pro есть в одном фрагменте и встречается он в пептиде единожды – значит, он в центре либо на «свободном» конце фрагмента 3, что приводит к следующим вариантам структур: Lys-(Pro, Tyr) или Tyr-(Pro, Lys).
- 6) Последовательности АКО **1-2-4-5** Tyr-Gly-Gly-Phe-Leu-Arg-(Lys, Tyr) (или **5-4-2-1** (Lys, Tyr)-Arg-Leu-Phe-Gly-Gly-Tyr) и **3** Lys-(Pro, Tyr) (или Tyr-(Pro, Lys)) могут быть соединены с пересечением по Lys либо по Tyr. Однако только вариант с пересечением по Tyr удовлетворяет условию наличия в структуре 2 Lys и 2 Tyr:

1-2-4-5-3 Tyr-Gly-Gly-Phe-Leu-Arg-Lys-Tyr-(Pro, Lys) (или **3-5-4-2-1** (Pro, Lys)-Tyr-Lys-Arg-Leu-Phe-Gly-Gly-Tyr) и

3-1-2-4-5 (Pro, Lys)-Tyr-Gly-Gly-Phe-Leu-Arg-Lys-Tyr (или **5-4-2-1-3** (Lys, Tyr)-Arg-Leu-Phe-Gly-Gly-Tyr-(Pro, Lys).

- 7) Найдем массу N-концевой аминокислоты: $347,3 - 167,1 + 1 = 181,2$ Да – это Tyr. Следовательно, последовательность аминокислот в пептиде: Tyr-Gly-Gly-Phe-Leu-Arg-Lys-Tyr-Pro-Lys. Реакция арилирования полипептида 2,4-

динитрофторбензолом приводит к образованию окрашенного в желтый цвет 2,4-динитрофенильного производного N-концевой аминокислоты. Найдем массу этой аминокислоты:

$$347,3 - (12,01 \cdot 6 + 3 + 2 \cdot (14,01 + 32)) + 1 = 347,3 - 167,1 + 1 = 181,2 \text{ Да} - \text{это Tyr.}$$

Следовательно, последовательность фрагментов в пептиде:

1-2-4-5-3 Tyr-Gly-Gly-Phe-Leu(Ile)-Arg-Lys-Tyr-(Pro, Lys)

или

5-4-2-1-3 Tyr-Lys-Arg-Leu(Ile)-Phe-Gly-Gly-Tyr-(Pro, Lys).

4. По очереди введя в поисковике все возможные варианты последовательности аминокислот, можно найти, что биологически активным является только α -неоэндофин (ему отвечает последовательность Tyr-Gly-Gly-Phe-Leu-Arg-Lys-Tyr-Pro-Lys). Он относится к группе опиоидных пептидов, которые обладают болеутоляющим действием, система опиоидных пептидов головного мозга играет важную роль в формировании мотиваций, эмоций, поведенческой привязанности, реакции на стресс и боль, а также в контроле приёма пищи.



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 10. Модификации

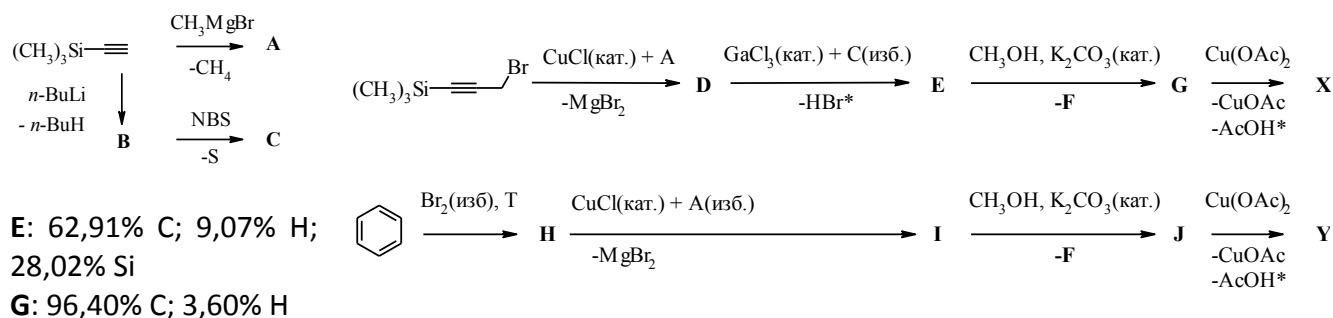


Рис. 1. Схема синтеза материалов **X** и **Y**, имеющих одинаковый химический состав.

Вещества **A, B, C, E, G, I, J** имеют в ЯМР ^1H спектре один сигнал.

Молекула **J** тяжелее молекулы **G** в ~2,0 раза.

Обозначения: *n*-Bu – *n*-бутил, NBS – *N*-бромсукцинимид, *S* – суццинимид, Ac – ацетил, изб. – избыток, кат. – катализатор, * – в реакцию дополнительно вводится основание для нейтрализации образующейся кислоты.

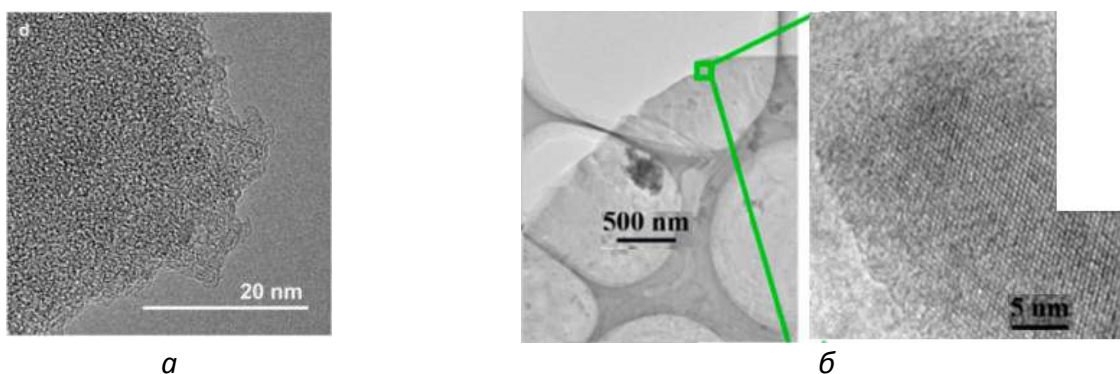


Рис. 2. ПЭМ изображение структуры материалов: а) **X** и б) **Y**.

На рис. 1. представлен упрощенный общий подход к синтезу новых перспективных наноматериалов **X** и **Y**.

1. Нарисуйте или опишите структурные элементы **X** и **Y** и запишите их химические формулы в общем виде. **(3 балла)** Расшифруйте вещества **D – J**. **(3 балла)**
2. Структурные элементы материала **X** аналогичны структурным элементам широко известного материала **V**, а материала **Y** – **W**. Как называются **V** и **W**? **(1 балл)** Сравните механические, химические свойства и стабильность материалов в парах **X-V** и **Y-W**. **(2 балла)**
3. Используя справочные данные о длинах необходимых связей, рассчитайте, во сколько раз плотность **Y** будет отличаться от плотности **W**. **(2 балла)**

Всего – 11 баллов



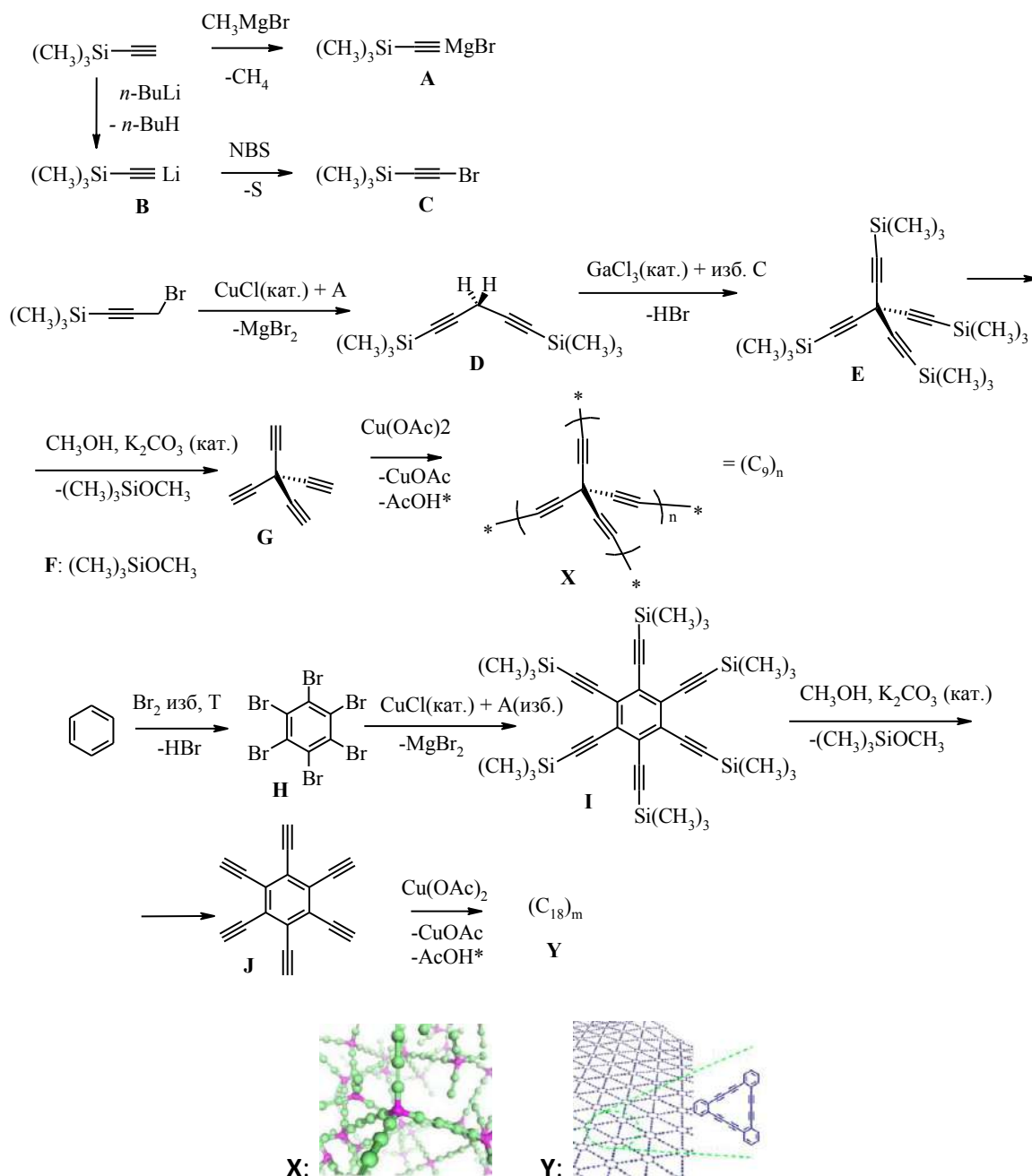
Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 10. Модификации

1. На основании элементного состава, устанавливаем формулу **E** как $C_{5,25}H_9Si$. Поскольку схема синтеза предполагает наличие $-Si(CH_3)_3$ групп и отсутствие других содержащих водород групп (поскольку **E** имеет единственный сигнал в ЯМР 1H спектре), то приходим к его условной структуре $C_{0,25}(CC)Si(CH_3)_3$ или, умножая на 4, получаем $C((CC)Si(CH_3)_3)_4$. К такому же результату можно прийти на основании анализа продуктов реакции синтеза **E**.

Аналогично, на основании элементного состава, устанавливаем формулу **G** как C_9H_4 , что с учетом эквивалентности всех его протонов приводит к структуре $C((CC)H)_4$.

Проанализировав схему превращений, несложно расшифровать остальные вещества:



X – тетраэдры, формула $(C_9)_n$, **Y** – шестиугольники, формула $(C_{18})_m$.

2. «Классические» аналоги **X** и **Y** – алмаз **V** и графен **W**. Наличие цепочек тройных связей делает материалы **X** и **Y** более реакционноспособными, чем **V** и **W**. Длинные цепи связей между узлами и меньшая плотность связей уменьшают прочность материалов **X** и **Y** по сравнению с **V** и **W**.
3. Рассчитаем отношение массы к объему для структур, повторением которых получаются **X** и **V**, а также **Y** и **W**. Для графена на один шестиугольник приходится $1/3 \cdot 6 = 2$ атома углерода, площадь которого составляет $3\sqrt{3}a^2$ (где a – длина С-С связи в графене), тогда плотность (в а.е.м./нм³) равна $\rho = 12 \cdot 2 / (h \cdot 3\sqrt{3}a^2) = 8 / (h\sqrt{3}a^2)$ (где h – высота слоя, равная высоте углеродного атома).

Для материала **Y** на один шестиугольник приходится 18 атомов углерода (все они лежат внутри его периметра). Сторона шестиугольника также равна расстоянию от его вершины до центра, $0,5a_1 + a_2 + a_3 = 1,5a_1 + a_2 + a_3$ (где a_1, a_2, a_3 – соответственно примерные длины С-С связей в алканах, алкинах, аренах). Плотность **Y** составит:

$$\rho = 12 \cdot 18 / (h \cdot 3\sqrt{3} (1,5a_1 + a_2 + a_3)^2) = 72 / (h\sqrt{3} (1,5a_1 + a_2 + a_3)^2)$$

Соотношение плотностей графена и **Y** составит $(1,5a_1 + a_2 + a_3)^2 / (9a^2)$.

Подставляя справочные данные ($a_1 = 0,154$ нм; $a_2 = 0,120$ нм; $a_3 = 0,139$ нм; $a = 0,142$ нм) получаем соотношение плотностей $0,49^2 / (0,181) = 1,3$.



Физика для школьников

Физика

Категория участников: школьники 7-11 классов

Блок теоретических заданий по **физике для школьников 7-11 классов** включает задачи разной сложности. Для повышения вероятности прохождения на очный тур Вам желательно решить задачи не только по физике, но и по химии, математике, биологии, чтобы набрать больше баллов. Дополнительные баллы будут начислены за прохождение теста "[Викторина](#)". Все прошедшие на очный тур обязательно решают задачи по всем четырем предметам.

Задания

1. Распыление наночастиц

Для нанесения на подложку массива наночастиц индия экспериментаторы испарили в напылительной вакуумной камере небольшую массу $m = 5$ г индия (In). Остаточное давление в напылительной камере составляло 10^{-3} мм рт. ст...

2. Графен под микроскопом

В одной из пионерских статей К.С. Новоселова и А.К. Гейма, опубликованной в журнале Science в 2004 году, описаны уникальные свойства графена. В журнале приведены изображения многослойной пленки графена, находящейся на кремниевой пластине...

3. Оптический пинцет

В 2018 году Нобелевская премия по физике была присуждена за изобретение оптического пинцета и его применение в биологических системах. С помощью оптического пинцета можно манипулировать отдельными наночастицами...

4. Нанопозиционер

Для прецизионных перемещений исследуемых объектов с шагом в нанометровом диапазоне применяют пьезоэлектрические подачи, принцип действия которых основан на

обратном пьезоэлектрическом эффекте – возникновении механической деформации...

5. Оптический профилометр

Для определения шероховатости поверхностей используют специальные приборы – профилометры. Принцип действия оптического бесконтактного профилометра основан на получении интерференционной картины, образующейся за счет сложения лучей...

6. Плотнупакованные нанокристаллы

Как известно, при переходе от макроскопических объектов к наночастицам многие свойства одного и того же вещества существенно меняются (так называемый размерный эффект). Так, например, теплоемкость наночастиц металлов заметно возрастает...

7. Магнитные наночастицы

Для “подкрашивания” определенных органов на изображениях магнитно-резонансной томографии (МРТ) ученые используют магнитные наночастицы. Такие наночастицы, как правило, имеют диаметр d 100-200 нм, хотя собственно магнитная часть может быть значительно меньше по размерам...

8. Нанодинамик

Корейские ученые разработали акустическую мембрану, представляющую из себя сетку пересекающихся серебряных нанонитей диаметром 10 нм в полимерной матрице. При подключении аудиосигнала мембрана воспроизводит музыку, даже будучи наклеенной на человеческое тело...

9. Кровяной наногенератор

Необычный наногенератор, способный получать энергию из кровотока, предложили китайские ученые. Генератор представляет из себя одномерную структуру из многостенных углеродных нанотрубок...

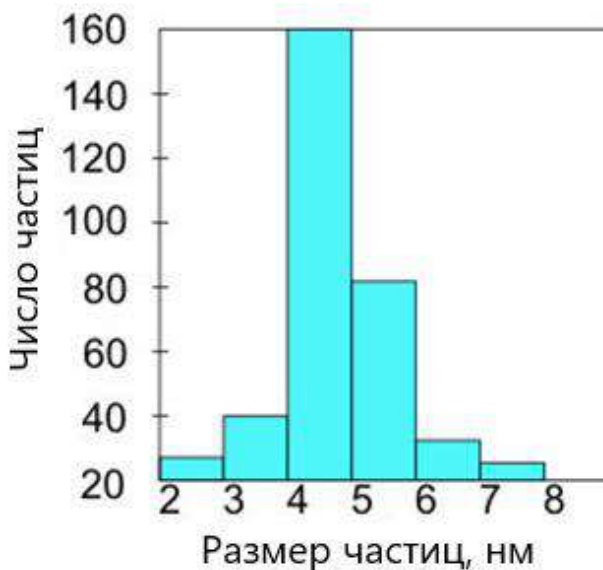
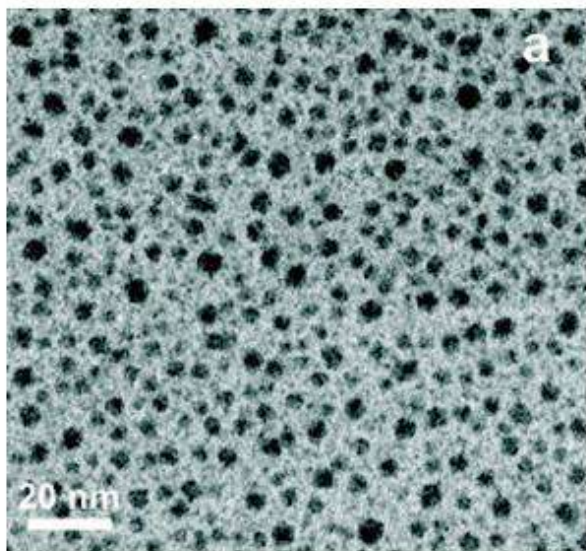
10. Просвечивающий электронный микроскоп

Известно, что для изучения наночастиц используют электронные микроскопы, а не оптические. Принципиальное отличие заключается в том, что анализируемые объекты облучают не сфокусированным пучком света, а высокоэнергетическими электронами...



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 1. Распыление наночастиц



Для нанесения на подложку массива наночастиц индия экспериментаторы испарили в напылительной вакуумной камере небольшую массу $m = 5$ г индия (In).

Остаточное давление в напылительной камере составляло 10^{-3} мм рт. ст. Давление насыщенных паров In приблизительно описывается формулой

$$\log(p) = 8,18 - \frac{1260}{T},$$

где p — давление в мм рт.ст., T — абсолютная температура. Напряжение, подаваемое на нагревательный элемент $U = 20$ В, а ток протекающий $I = 5$ А.

1. Рассчитайте минимальное время, необходимое для распыления всей массы. Полагать, что энергия передается массе In целиком и мгновенно. **(6 баллов)**

В результате напыления масса индия осела на подложке в виде наночастиц. Далее подложку с наночастицами In использовали для формирования полупроводниковых нанонитей, а металлические наночастицы использовались как центры роста. В процессе формирования полупроводниковых нанонитей выяснилось, что наночастицы In плавятся при температуре около 130°C .

2. Почему температура уменьшилась? В каком случае изменение температуры плавления наночастиц In может превысить 20%. **Приведите численную оценку. (4 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 1. Распыление наночастиц

1. Чтобы испарить металл, в частности индий, обычно нужно его нагреть до температуры плавления, расплавить, нагреть до температуры кипения и испарить. Но эти рассуждения верны, если процесс происходит при нормальном атмосферном давлении. Известно, что температура кипения зависит от давления над поверхностью жидкости. Кипение наступает, когда давление паров жидкости сравнивается с давлением газа над поверхностью. Оценим температуру, при которой давление паров индия будет равным остаточному давлению:

$$T = \frac{1260}{8,18 + 3,00} = 112,7K$$

т. е. ниже температуры плавления.

Это означает, что расплавленный металл при столь низком давлении начнет кипеть сразу после плавления.

$$Q = cm\Delta T + mr + m\lambda = 0,238 \frac{\text{Дж}}{\text{г} \cdot \text{К}} 5\text{г}(156 - 25)\text{К} + \frac{\left(3,24 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} + 225 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}\right) \cdot 5\text{г}}{114 \text{ г/моль}} \\ = 10,16 \text{кДж}$$

С другой стороны $Q = U \cdot I \cdot \tau$, откуда

$$\tau = \frac{Q}{U \cdot I} = \frac{10166 \text{Дж}}{20\text{В} \cdot 5\text{А}} \approx 100 \text{сек}$$

2. Плавление состоит в разрыве связей в кристаллической решетке. У наноструктур достаточно много уже разорванных связей по отношению к неразорванным. Первые находятся на поверхности, вторые – в объеме тела. Это объясняет, почему у наноструктур температура плавления ниже. Меньше связей необходимо разорвать.

Отношение числа связей на поверхности к числу связей в объеме можно грубо выразить следующим образом:

$$\frac{N_{\text{поверхность}}}{N_{\text{объем}}} = \frac{4\pi r^2/a^2}{\frac{4\pi r^3}{3a^3}} \sim \frac{a}{r},$$

где a — характерное расстояние между атомами.

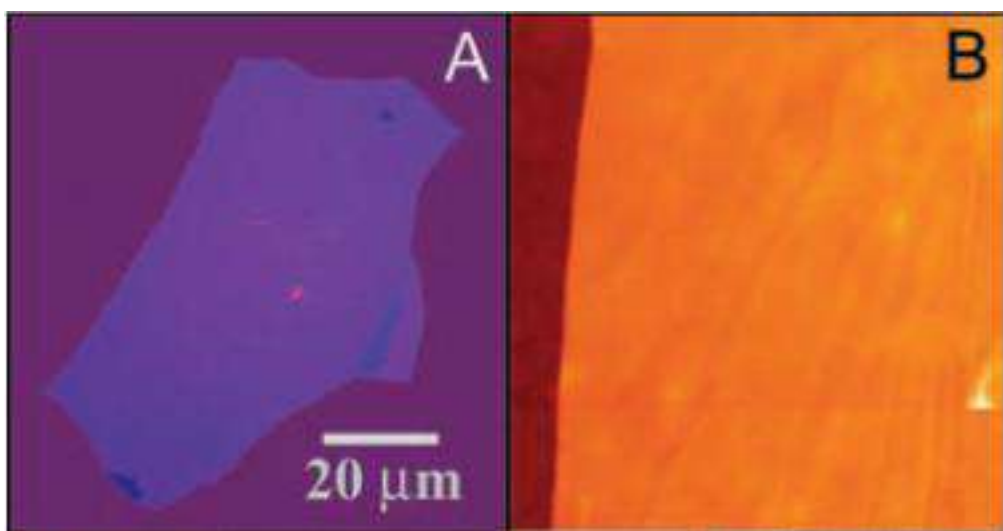
Таким образом, температура плавления может уменьшиться на 20%, когда доля атомов на поверхности будет составлять тот же процент. Или отношение будет равно 1/5. При этом r должно быть равно 2 нм.



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 2. Графен под микроскопом

В одной из пионерских статей К.С. Новоселова и А.К. Гейма, опубликованной в журнале Science в 2004 году, описаны уникальные свойства графена. В журнале приведены изображения многослойной пленки графена, находящейся на кремниевой пластине. Верхний слой пластины окислен и представляет из себя слой SiO_2 . На рисунке представлены изображения, полученные в оптическом микроскопе (А) и в атомно-силовом микроскопе (В).



(А) Изображение, полученное в оптическом микроскопе (в белом свете) относительно большой многослойной чешуйки графена толщиной 3 нм поверх окисленной пластины Si.
(В) Изображение, полученное на атомно-силовом микроскопе (АСМ), области размером 2 x 2 мкм этой чешуйки вблизи её края. Цвета: темно-коричневый, поверхность SiO_2 ; оранжевый, высота 3 нм над поверхностью SiO_2 .

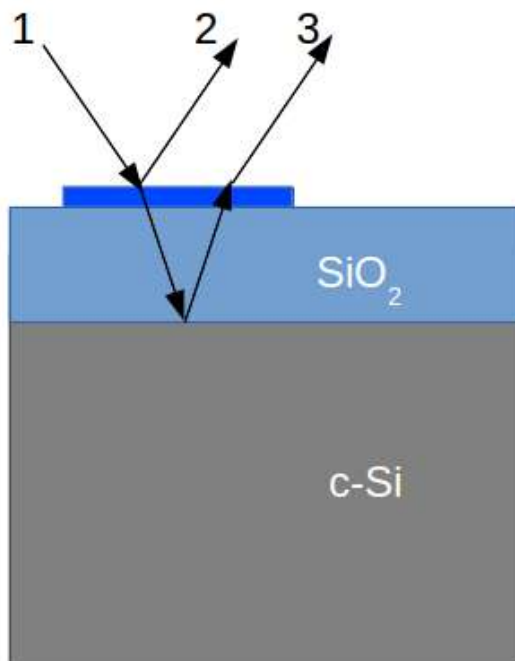
1. Как изменились бы изображения чешуйки (А) и (В), если бы она лежала непосредственно на кремниевой пластине? Объясните. **(3 балла)**
2. Какова минимальная толщина слоя оксида, если наблюдается такая картина, как на рис. (А)? **(3 балла)**
3. Почему чешуйка графена на рис. А имеет синий цвет, а слой SiO_2 – фиолетовый? Какую картину можно наблюдать в оптический микроскоп, если чешуйка будет а) в 3 раза толще и б) в 3 раза тоньше? **(4 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 2. Графен под микроскопом



1. Чешуйки будут не видны в оптическом микроскопе, в атомно-силовом микроскопе картина не изменится.
2. Появление характерной фиолетовой окраски у оксидного слоя – результат интерференции света в этом слое. Толстая пленка оксида уже не имеет такой окраски. Лежащая на поверхности чешуйка имеет малую толщину, чтобы свет интерферировал в таком малом слое.

Запишем оптическую разность хода лучей 2 и 3 и приравняем условию минимума:

$$2hn = \frac{m\lambda}{2},$$

т. к. отражение происходит от оптически более плотной среды дважды, то скачок фазы $\lambda/2$ не набегают.

При освещении белым светом будет наблюдаться окрашивание пленки, если выполняется условие минимума при интерференции. Минимальная толщина пленки оксида соответствует $m = 1$, а цвет, являющийся дополнительным к фиолетовому, – желтый. Ему соответствует длина волны $\lambda = 580$ нм.

$$h = \frac{\lambda}{4n} \approx 100 \text{ нм}$$

3. Чешуйка вносит дополнительную разность хода $2h_{\text{Graphene}}n_{\text{Graphene}} \approx 16 \text{ нм}$.

Это может привести к тому, что минимум будет наблюдаться для длины волны 620 нм, соответствующей оранжевому диапазону видимого излучения.

$$2hn + 2h_{\text{Graphene}}n_{\text{Graphene}} = \frac{\lambda}{2} = 310\text{нм}$$

Если чешуйка будет в 3 раза толще, то дополнительно наберет 48 нм, и чешуйка окрасится в зеленый цвет, т. к. будет выполняться условие минимума для красного цвета $\lambda = 680$ нм. А если в 3 раза тоньше, т. е. 1 нм, то никакой разницы в цвете мы не заметим, и чешуйка сольется с подложкой.

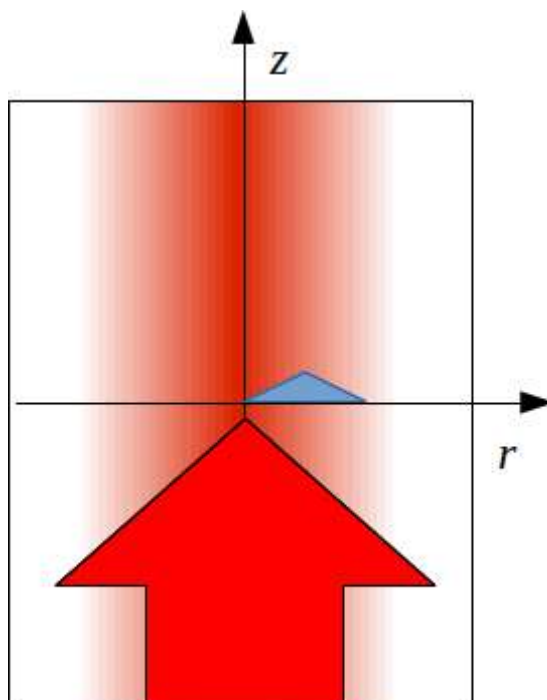
Справочные данные показателей преломления в видимой области

Вещество	$n (\lambda = 400 \text{ нм})$
Графен	2.70
SiO ₂	1.47
c-Si	5.56



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 3. Оптический пинцет



В 2018 году Нобелевская премия по физике была присуждена за изобретение оптического пинцета и его применение в биологических системах. С помощью оптического пинцета можно манипулировать отдельными наночастицами.

Один из подходов, объясняющих возможность удерживать наночастицу лазерным лучом, – геометрическая оптика.

Наночастица имеет форму тонкой треугольной призмы, в основании которой – равнобедренный треугольник. Основание равнобедренного треугольника 200 нм. Угол между боковыми сторонами треугольника $\alpha = 120^\circ$. Показатель преломления призмы $n = \sqrt{3}$.

Наночастица облучается лазерным пучком, имеющим гауссово распределение интенсивности $I(r) = I_0 \cdot \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)$, $\sigma = 200$ нм. Центр пучка совпадает с осью z . Наночастица сместилась от центра пучка, так что левый край совпадает с осью z , а излучение падает нормально на боковую грань (см. рис.).

1. Изобразите ход лучей на рисунке. **(1 балл)**
2. Используя рисунок, объясните возникновение градиентной силы. **(2 балла)**
3. Найдите угол возникающей градиентной силы относительно оси z , с учетом данных задачи. **(6 баллов)** Интегралы можно рассчитать численно.
4. Какая еще сила действует на наночастицу со стороны лазерного пучка? **(1 балл)**

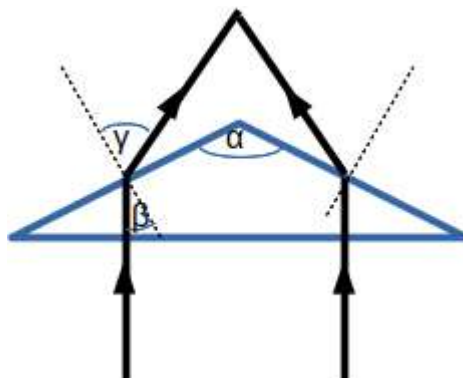
Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 3. Оптический пинцет

1.



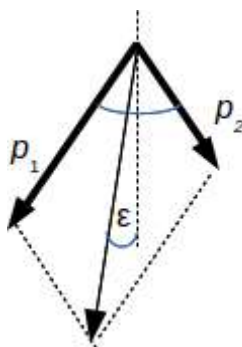
$$\frac{\sin(\gamma)}{\sin(\beta)} = n$$

2. Свет можно рассматривать, как поток фотонов, имеющих импульс. По закону сохранения импульса, векторная сумма импульсов фотонов и наночастицы должна быть равна нулю, т. к. начальный импульс системы был тоже равен нулю. Таким образом, импульс частицы равен по модулю и противоположно направлен импульсу вышедших фотонов. Импульс связан с интенсивностью:

$$p = \frac{I}{c}$$

Интенсивность, проходящая через левую половину призмы больше, чем через правую. Следовательно, можно говорить о градиентной силе, направленной к оси пучка, где интенсивность максимальна.

3.



$$\operatorname{tg}(\varepsilon) = \frac{p_1 - p_2}{p_1 + p_2} \operatorname{tg}\left(\gamma - \left(\frac{\pi - \alpha}{2}\right)\right)$$

Численное интегрирование дает $p_1 = 0.0959$, $p_2 = 0.0751$

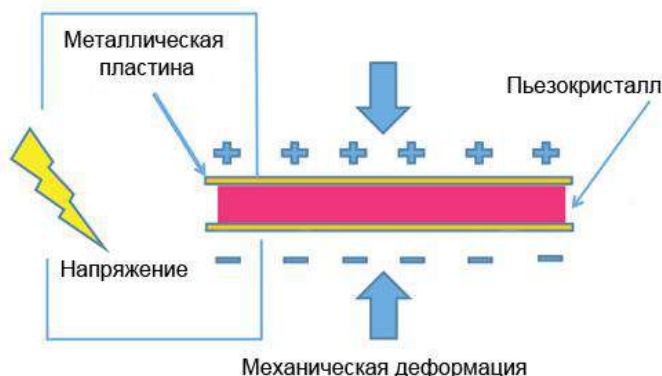
$$\operatorname{tg}(\varepsilon) = \frac{0.0959 - 0.0751}{0.0959 + 0.0751} \operatorname{tg}(30^\circ), \varepsilon \approx 4^\circ$$

4. Сила давления света.



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 4. Нанопозиционер



Для прецизионных перемещений исследуемых объектов с шагом в нанометровом диапазоне применяют пьезоэлектрические подачи, принцип действия которых основан на обратном пьезоэлектрическом эффекте – возникновении механической деформации (растяжения или сжатия) пьезокристалла под действием приложенного к нему напряжения.

Впервые данный эффект был обнаружен для кристаллов кварца, причем было замечено, что величина вызываемого механического напряжения σ в кристалле прямо пропорциональна приложенной разности потенциалов U и обратно пропорциональна его толщине d .

Оцените абсолютную деформацию Δd кристалла кварца толщиной $d = 1$ см, вызванную прикладываемым напряжением $U = 100$ В, если известно, что в отсутствие внешнего электрического поля на металлических пластинах, между которыми зажат пьезокристалл, возникает разность потенциалов $U_0 = 60$ В за счет прямого пьезоэлектрического эффекта. Деформации считайте малыми. Модуль Юнга для кварца примите равным 73 ГПа, атмосферное давление – 10^5 Па. **(10 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 4. Нанопозиционер

В случае малых деформаций механическое напряжение σ (давление) связано с относительной деформацией ε через модуль Юнга E линейным законом (Гука): $\sigma = E \cdot \varepsilon$.

С другой стороны, для пьезоэлектрического эффекта имеем: $\sigma = k \cdot U/d$, где k – коэффициент пропорциональности.

В отсутствие внешнего электрического поля на кристалл кварца действует внешнее атмосферное давление $\sigma_0 = 10^5$ Па, которое и вызывает (за счет прямого пьезоэлектрического эффекта) разность потенциалов U_0 : $\sigma_0 = k \cdot U_0/d$, откуда $k = \sigma_0 \cdot d/U_0$.

Таким образом, зная k , можно найти относительную деформацию кристалла кварца под действием приложенной разности потенциалов $U = 100$ В:

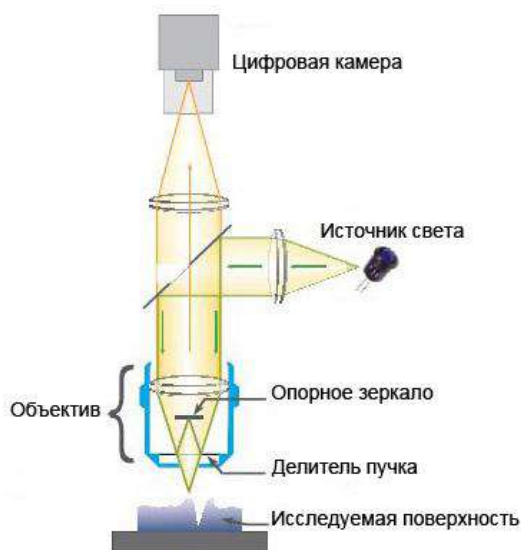
$$\varepsilon = \sigma/E = (k/E) \cdot (U/d) = (\sigma_0/E) \cdot (U/U_0) \approx 2 \cdot 10^{-6}.$$

Зная толщину кристалла d , можно теперь определить его абсолютную деформацию: $\Delta d = \varepsilon \cdot d \approx 2 \cdot 10^{-8}$ м = 20 нм.



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 5. Оптический профилометр



Для определения шероховатости поверхностей используют специальные приборы – профилометры. Принцип действия оптического бесконтактного профилометра основан на получении интерференционной картины, образующейся за счет сложения лучей, испускаемых источником света, отраженных от исследуемой поверхности и от опорного зеркала (см. рис.). Эта картина регистрируется цифровой камерой, а последующий количественный анализ сдвига интерференционных полос в процессе сканирования позволяет восстановить профиль исследуемой поверхности с высоким разрешением.

1. Оцените, какую минимальную высоту неровности исследуемой поверхности можно измерить с помощью оптического профилометра с источником монохроматического света ($\lambda = 370$ нм), если известно, что в процессе анализа смещений интерференционных полос можно различать смещения вплоть до сотых долей периода интерференционной картины. **(7 баллов)**
2. Как изменится минимально детектируемая высота неровностей, если будет использован источник не монохроматического, а белого света? **(3 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 5. Оптический профилометр

1. Изменение высоты неровностей исследуемой поверхности на некую величину Δh приводит к изменению оптической разности хода интерферирующих лучей на $2\Delta h$. В свою очередь, смещение интерференционных полос на величину, равную периоду интерференционной картины, соответствует изменению оптической разности хода на величину λ , в то время как высота неровностей меняется на $\lambda/2$. Следовательно, смещение полос на одну сотую периода интерференционной картины соответствует изменению высоты неровностей исследуемой поверхности на $\lambda/200$. Таким образом, в случае использования оптического профилометра с источником монохроматического света с $\lambda = 370$ нм, минимально детектируемую высоту неровности исследуемой поверхности можно оценить как $\Delta h_{\min} = 370/200 = 1.85$ нм.
2. При переходе на источник белого света минимально детектируемая высота неровности исследуемой поверхности возрастет, так как результирующая интерференционная картина станет менее контрастной, а полосы – более размытыми, что затруднит детектирование их малых смещений при сканировании исследуемой поверхности.



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 6. Плотнупакованные нанокристаллы

Как известно, при переходе от макроскопических объектов к наночастицам многие свойства одного и того же вещества существенно меняются (так называемый размерный эффект). Так, например, теплоемкость наночастиц металлов заметно возрастает по сравнению с теплоемкостью объемных образцов, в то время как температура плавления наоборот уменьшается.

1. Оцените линейный размер нанокристалла меди, при котором размерный эффект становится существенным. В качестве оценки энергии электронов использовать энергию Ферми при комнатной температуре, а также учесть, что эффективная масса электрона для меди совпадает с массой свободного электрона. **(5 баллов)**

Некоторые из проявлений размерного эффекта могут быть объяснены перестройками структуры кристаллической решетки при уменьшении линейных размеров кристаллов до нескольких нанометров. Действительно, столь малым кристаллам (нанокристаллам) оказывается энергетически выгодно перестроить свою структуру так, чтобы площадь поверхности была наименьшей, т.е. упаковка атомов становится более плотной.

2. Оцените относительное изменение плотности нанокристалла вольфрама по сравнению с плотностью объемного вольфрама, если известно, что при переходе от макро- к нанокристаллам структура кристаллической решетки вольфрама изменяется от кубической объемноцентрированной к кубической гранецентрированной, а постоянная решетки при этом уменьшается на 2 %. **(5 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 6. Плотнупакованные нанокристаллы

1. Для ответа на первый вопрос можно воспользоваться общим правилом, согласно которому размерные эффекты становятся существенными при уменьшении линейных размеров объектов до величины порядка длины волны де Бройля:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m^*E}},$$

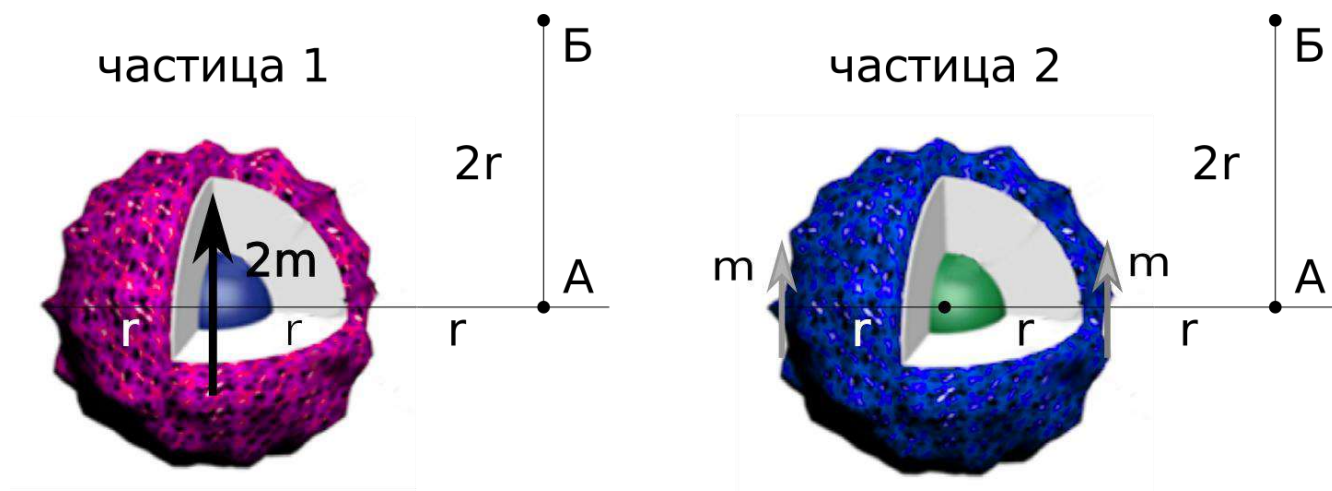
где m^* – эффективная масса электронов, а E – их энергия. Подставляя значение энергии Ферми для меди при комнатной температуре ($7 \text{ эВ} \approx 11.2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$) и массу свободного электрона, получаем оценку длины волны де Бройля $\sim 0.5 \text{ нм}$, что и является оценкой линейного размера нанокристалла меди, при котором размерный эффект для него становится существенным.

2. Для ответа на второй вопрос достаточно рассмотреть элементарную ячейку макро- и нанокристаллов вольфрама. При таком подходе плотность есть отношение массы всех атомов, входящих в элементарную ячейку, к объему этой ячейки. Для ОЦК решетки объемного вольфрама число атомов в элементарной ячейке – 2, в то время как для ГЦК решетки нанокристалла вольфрама это значение равно уже 4. Таким образом, в отсутствие уменьшения постоянной решетки плотность нанокристалла возрастала бы вдвое. С учетом уменьшения постоянной решетки объем элементарной ячейки в случае нанокристалла будет также уменьшаться в $1/(0.98^3) \approx 1.06$ раз. Результирующее относительное изменение плотности будет, таким образом, составлять $2/(0.98^3) \approx 2.13$ раз.



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 7. Магнитные наночастицы



Для “подкрашивания” определенных органов на изображениях магнитно-резонансной томографии (МРТ) ученые используют магнитные наночастицы. Такие наночастицы, как правило, имеют диаметр d 100-200 нм, хотя собственно магнитная часть может быть значительно меньше по размерам. Так, частицы могут содержать магнитные атомы гадолиния в центре, окруженные немагнитной оболочкой, либо, наоборот, атомы гадолиния могут находиться на поверхности. Для простоты рассмотрим частицу 1 с магнитным точечным диполем в центре наночастицы (магнитный момент равен $2m$), и частицу 2 с двумя магнитными диполями на поверхности наночастицы с магнитным моментом m .

1. Почему магнитные частицы “подкрашивают” изображение МРТ? **(2 балла)**
2. Почему диаметр наночастиц лежит в диапазоне 100-200 нм? **(1 балл)**
3. Во сколько раз отличаются магнитные поля, создаваемые частицами 1 и 2 в точках А **(3 балла)** и Б **(4 балла)**?

Справочная информация:

Напряженность поля точечного магнитного момента определяется формулой:

$$H = \frac{m}{\mu r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2\theta}, \quad (1)$$

где m – магнитный момент, μ – магнитная восприимчивость среды, r – расстояние от диполя до точки измерения, а θ – угол между направлением диполя и радиус-вектором точки измерения. Для простоты все магнитные поля в одной точке, создаваемые разными диполями, можно считать сонаправленными.

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 7. Магнитные наночастицы

В тексте условия была допущена опечатка. Проверка проводилась с учетом этого обстоятельства.

1. Наночастицы создают вокруг себя магнитное поле. В результате суммарное поле изменяется и нарушаются условия для магнитного резонанса. В итоге на изображениях появляются темные поля. Такой контраст называют негативным.
2. Наночастицы в данном диапазоне наименее заметны для иммунной системы и значительное время циркулируют в кровотоке. Меньшие наночастицы отфильтровываются почками, большие – печенью.
3. Начнем с простого случая точки А.

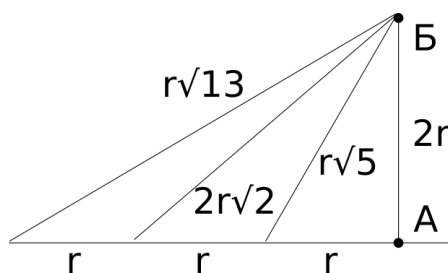
В этом случае, угол θ равен $\pi/2$, следовательно, $\cos \theta = 0$. Получаем для наночастицы первого типа:

$$H_1 = \frac{2m}{\mu_0(2r)^3} = \frac{1}{4} \frac{m}{\mu_0 r^3} \quad (1)$$

Для наночастицы второго типа:

$$H_2 = \frac{m}{\mu_0 r^3} + \frac{m}{\mu_0(3r)^3} = \frac{28}{27} \frac{m}{\mu_0 r^3} \quad (2)$$

Отсюда ответ: поле для второй частицы больше в $112/27 = 4.15$ раза.



Случай точки Б.

Рассмотрим прямоугольный треугольник с вершинами А,Б и центр наночастицы 1. По теореме Пифагора, квадрат гипотенузы будет равен $4+4 = 8 r^2$. Следовательно, $\cos^2 \theta = 1/2$ (вспомним теорему о равенстве накрест-лежащих углов).

Отсюда:

$$H_1 = \frac{2m}{\mu_0 r^3 \sqrt{8}} \sqrt{1 + 3 \cdot (1/4)} = \frac{m}{\mu_0 r^3} \frac{\sqrt{7}}{32\sqrt{2}} = 0.0585 \frac{m}{\mu_0 r^3} \quad (3)$$

Для второй наночастицы квадраты гипотенузы будут равны $1+4 = 5 r^2$ и $4+9= 13 r^2$, соответственно. Таким образом, получим:

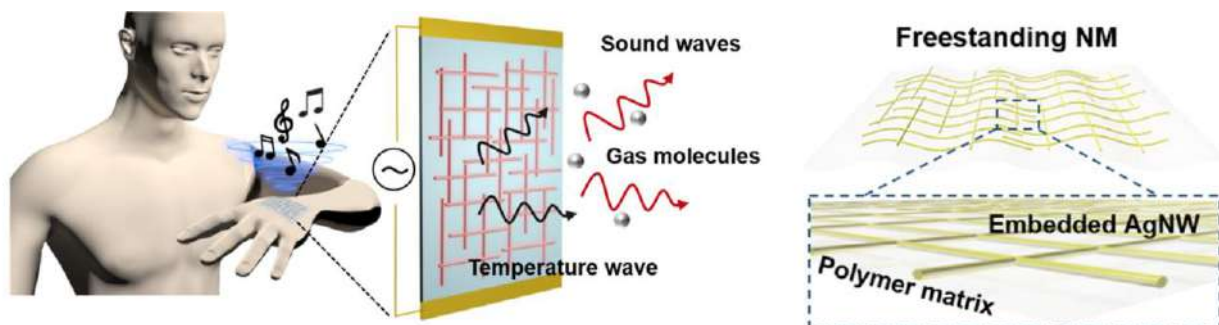
$$\begin{aligned}
 H_2 &= \frac{m}{\mu_0(r\sqrt{5})^3} \sqrt{1 + 3 \cdot (4/5)} + \frac{m}{\mu_0(r\sqrt{13})^3} \sqrt{1 + 3 \cdot (4/13)} \\
 &= \frac{m}{\mu_0 r^3} \left(\frac{\sqrt{17}}{25} + \frac{5}{169} \right) = 0.195 \frac{m}{\mu_0 r^3}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Ответ: 3.33



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 8. Нанодинамик



Корейские ученые разработали акустическую мембрану, представляющую из себя сетку пересекающихся серебряных нанонитей диаметром 10 нм в полимерной матрице. При подключении аудиосигнала мембрана воспроизводит музыку, даже будучи наклеенной на человеческое тело. К краям мембраны на расстоянии $L = 1$ см подключен источник переменного напряжения $U = 1$ В.

1. На сколько увеличится температура нанонитей при воспроизведении звука с частотой $\nu = 10$ кГц? **(8 баллов)**
2. На какую величину возрастает радиус нанонити при воспроизведении? **(2 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 8. Нанодинамик

Рассчитаем мощность, W , выделяемую в нанонити с поперечным сечением S . Согласно закону Ома:

$$W = \frac{U^2}{R}, \quad (1)$$

где R – сопротивление нанонити, которое можно выразить через удельное сопротивление серебра ρ_E :

$$R = \frac{\rho_E L}{S}. \quad (2)$$

Протекание электрического тока будет приводить к нагреву, тепловому расширению. Относительное уширение нанонити будет равно:

$$\epsilon = \frac{\Delta r}{r} \quad (3)$$

ϵ связано повышением температуры нанонити ΔT через коэффициент линейного расширения, α :

$$\alpha = \frac{\epsilon}{\Delta T} \quad (4)$$

Напишем уравнение теплового баланса для нанонити:

$$Q = W\Delta t = Cm\Delta T = C\rho_M SL\Delta T, \quad (5)$$

где m – масса нанонити, C – теплоемкость серебра, а ρ_M – его плотность, Δt – время нагрева. Последнее будем считать равным периоду акустических колебаний, т.е. величине, обратной к частоте. Отсюда получим выражение для температуры:

$$\Delta T = \frac{W\Delta t}{C\rho_M SL} = \frac{U^2}{C\rho_M L^2 \rho_E \nu}. \quad (6)$$

Возьмем следующие табличные значения для серебра:

$$\alpha = 20 \cdot 10^{-6} \text{с}^{-1} \quad (7)$$

$$\rho_E = 1.6 \Omega \text{м} \quad (8)$$

$$C = 2.35 \text{Дж/кг} \cdot \text{м}^3 \quad (9)$$

$$\rho_M = 10^4 \text{кг/м}^3 \quad (10)$$

Подставляем данные значения в формулу:

$$\Delta T = \frac{1}{2.35 \cdot 10^4 \cdot 10^{-4} \cdot 1.6 \cdot 10^4} = 26 \text{мкК} \quad (11)$$

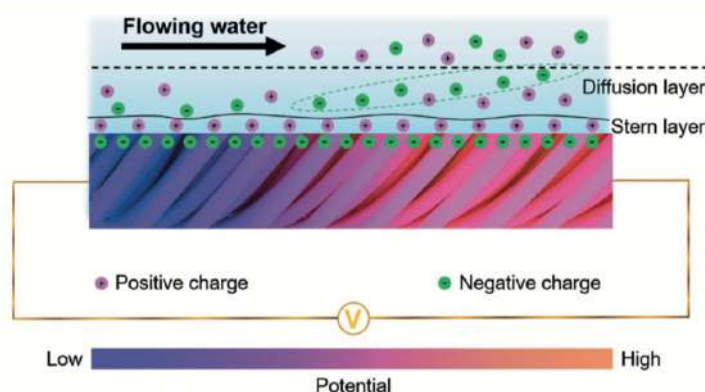
Увеличение радиуса нанонити будет равно:

$$\Delta r = r\alpha\Delta T = 10^{-8} \cdot 2 \cdot 10^{-5} \cdot 2.6 \cdot 10^{-5} = 5 \cdot 10^{-18} \text{м} \quad (12)$$



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 9. Кровяной наногенератор



Необычный наногенератор, способный получать энергию из кровотока, предложили китайские ученые. Генератор представляет из себя одномерную структуру из многостенных углеродных нанотрубок. Из-за наличия заряда в жидкости на поверхности структуры образуется двойной электрический слой из неподвижных катионов натрия и анионов хлора с радиусом $r = 0.2$ нм, которые могут перемещаться в тонком диффузионном слое вдоль поверхности. В момент сердечного сокращения скорость кровотока на поверхности структуры, v , достигает 1 мкм/с. Найдите разность потенциалов, U , на границах структуры из нанотрубок длиной $L = 1$ мм, если известно, что во время сердечных сокращений ионы хлора около центра структуры неподвижны. Вязкость крови, h , составляет 5 мПа·с. **(10 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 9. Кровяной наногенератор

Воспользуемся формулой Стокса для движения шара в вязкой среде:

$$F_v = 6\pi R\eta v. \quad (1)$$

Здесь F – сила вязкого трения, R – радиус шара (его также называют радиусом Стокса), v – скорость потока.

Сила вязкого трения уравнивается кулоновской силой:

$$F_E = U q/L \quad (2)$$

Таким образом, приравнявая силы, получаем:

$$U = \frac{6\pi R\eta vL}{q} = \frac{18.8 \cdot 2 \cdot 10^{-10} \cdot 5 \cdot 10^{-3} 10^{-6} \cdot 10^{-3}}{1.6 \cdot 10^{-19}} = 117 \text{ мВ} \quad (3)$$



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 10. Просвечивающий электронный микроскоп

Известно, что для изучения наночастиц используют электронные микроскопы, а не оптические. Принципиальное отличие заключается в том, что анализируемые объекты облучают не сфокусированным пучком света, а высокоэнергетическими электронами, движущимися под действием ускоряющего напряжения (разности потенциалов), величину которого можно изменять в зависимости от решаемой задачи. Однако, при прохождении через вещество электроны встречают на своём пути различные препятствия в виде ядер, занимающих определённые позиции, и электронов, распределённых между ними. Первым механизмом рассеяния можно пренебречь вследствие довольно малых размеров ядер, поэтому определяющее влияние оказывает электронная плотность. Например, глубину проникновения ускоренных электронов в золото можно оценить по эмпирической формуле

$$h = \frac{E^{1,67}}{2n},$$

где h – глубина проникновения (см), E – энергия электронов (кэВ), n – модуль объёмной плотности заряда электронов (Кл/см³).

Для справки:

Плотность золота равна 19,3 г/см³. Параметр решётки составляет 4,078 Å.

1. Оцените наименьшее ускоряющее напряжение, при котором электроны смогут насквозь пройти золотую плёнку толщиной 50 мкм. **(4 балла)**
2. Определите длину волны де Бройля электронов, обладающих такой энергией. **(4 балла)**
3. Можно ли с помощью электронов, обладающих такой энергией, получить информацию о кристаллической структуре золота? Ответ обоснуйте. **(2 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 10. Просвечивающий электронный микроскоп

1. Определим число атомов золота в единице объёма:

$$a = \frac{N_A}{V_A} = \frac{N_A \cdot \rho}{M},$$

где a – число атомов золота в единице объёма ($1/\text{см}^3$), N_A – число Авогадро, ρ – плотность золота ($\text{г}/\text{см}^3$), M – атомная масса золота ($\text{г}/\text{моль}$).

Так как один атом золота содержит $Z = 79$ электронов, то их число в единице объёма равно

$$b = Z \cdot a = \frac{Z \cdot N_A \cdot \rho}{M}.$$

Тогда модуль объёмной плотности заряда электронов равен

$$n = \frac{Z \cdot N_A \cdot \rho}{M} \cdot e,$$

где e – элементарный заряд ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл).

Теперь можно оценить минимальную энергию электронов, которые смогли бы насквозь пройти золотую плёнку толщиной h :

$$h = \frac{M \cdot E^{1,67}}{2 \cdot Z \cdot e \cdot N_A \cdot \rho}$$

$$E = {}^{1,67}\sqrt{\frac{2 \cdot Z \cdot e \cdot N_A \cdot \rho \cdot h}{M}}$$

Для золотой плёнки толщиной 50 мкм (то есть $5 \cdot 10^{-3}$ см) эта энергия равна

$$E = {}^{1,67}\sqrt{\frac{2 \cdot 79 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 19,3 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{197}} = 208 \text{ кэВ}$$

Используя определение электронвольта, получим ускоряющее напряжение 208 кВ.

2. С одной стороны, импульс электрона задаётся формулой

$$p = \frac{h}{\lambda},$$

где h – постоянная Планка, λ – длина волны. С другой, его можно рассчитать через энергию с учётом релятивистской поправки, так как 208 кэВ – довольно большая энергия:

$$p = \sqrt{\left(\frac{E}{c}\right)^2 + 2mE},$$

где E – энергия электрона, m – его масса, c – скорость света. Кроме того, кинетическая энергия электрона, ускоренного разностью потенциалов, равна $E = eU$, где e – элементарный заряд, U – ускоряющее напряжение. Объединяя данные выражения, получим формулу для вычисления длины волны:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{eU}{c}\right)^2 + 2meU}}$$

$$\lambda = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{\sqrt{\left(\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 208000 \text{ В}}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}\right)^2 + 2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 208000 \text{ В}}} = 2,45 \cdot 10^{-12} \text{ м} = 0,00245 \text{ нм}$$

3. Так как длина волны электронов много меньше параметра решётки, при взаимодействии таких электронов с исследуемым образцом будет происходить дифракция. Поэтому с помощью просвечивающего электронного микроскопа возможно получение информации о расположении атомов, кристаллографической ориентации плёнки, наличии протяжённых дефектов в структуре.



Биология для школьников

Биология

Категория участников: школьники 7-11 классов

Блок теоретических заданий по **биологии для школьников 7-11 классов** включает задачи разной сложности. Для повышения вероятности прохождения на очный тур Вам желательно решить задачи не только по биологии, но и по физике, математике, химии, чтобы набрать больше баллов. Дополнительные баллы будут начислены за прохождение теста "[Викторина](#)". Все прошедшие на очный тур обязательно решают задачи по всем четырем предметам.

Задания

1. Наноантибиотик

Прошло уже 90 лет с открытия Александром Флемингом первого антибиотика – пенициллина. Сложно сосчитать, сколько раз антибиотики спасали человечество от всевозможных заболеваний. Но первое применение пенициллина положило начало гонке вооружений...

2. Молекулярный мотор

В лаборатории, занимающейся изучением биологических молекулярных моторов, была расшифрована линейная последовательность кодонов ДНК, служащей матрицей для синтеза части последовательности небольшого участка цепи белка...

3. Настройка фотосинтеза

Зеленый цвет растениям придает хлорофилл — пигмент, содержащийся в собирающих свет наноантеннах (рис. 1). На пути солнечного света к собирающим его растениям часто могут оказываться различные частицы и неоднородности среды...

4. Вкусный вопрос

Приятно положить на язык что-нибудь вкусненькое! Вкус пищи мы ощущаем благодаря

вкусовым рецепторам, расположенным на языке, но и обоняние тоже дает свой вклад в те ощущения, которые мы получаем от пищи...

5. Что Вы знаете о крови?

Кровь – одна из важнейших тканей в организме, выполняющая ряд функций и состоящая из жидкой среды – плазмы – и клеток – форменных элементов крови (эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов). Что вы знаете о крови? Ниже Вам будет задано несколько вопросов о крови...

6. Наследники богатыря

В стародавние времена жил на свете один богатырь, который, как и положено богатырю, обладал огромной силой и скоростью, а в бою мог на равных биться с отрядом из нескольких десятков воинов. У богатыря была семья...

7. Экзобиология

Экзобиологи отправились в экспедицию на планету X, необычную своей разнообразной растительностью и с силой тяжести такой, как на Марсе. Предварительный анализ состава растительных клеток показал, что они содержат большое количество жиров и белков...

8. Гематоэнцефалический барьер и нанороботы

Для того, чтобы вещества проникли в мозг, им необходимо преодолеть гематоэнцефалический барьер (ГЭБ). Гематоэнцефалический барьер – это имеющийся у всех позвоночных полупроницаемый фильтр между кровеносной системой и центральной нервной системой...

9. Необычные “кукухо”

Профессор Алехандро Плата остановился в городке Сан-Рафаель лас Флорес, в Гватемале. Делать здесь было особенно нечего – не на серебряный же рудник Эскобаль смотреть, в самом деле. Однажды вечером, гуляя по холмистым окрестностям, профессор был поражен ярким светом...

10. Антитела природные и искусственные

Появление вторичного, или приобретенного иммунитета у высших позвоночных животных привело к резкому повышению устойчивости к различным инфекциям, выживанию после

контакта с болезнетворными вирусами и бактериями...



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 1. Наноантибиотик



Прошло уже 90 лет с открытия Александром Флемингом первого антибиотика – пенициллина. Сложно сосчитать, сколько раз антибиотики спасали человечество от всевозможных заболеваний. Но первое применение пенициллина положило начало гонке вооружений между бактериями и человеческим разумом. Бактерии начали быстро эволюционировать, придумывая все более изощренные способы борьбы с антибиотиками, а человечество – все более совершенные антибиотики. На сегодняшний день проблема антибиотикорезистентности, то есть устойчивости многих опасных штаммов бактерий к существующим антибиотикам, нависла над нами, как дамоклов меч.

1. Чем отличаются грамположительные и грамотрицательные бактерии? Какие из них чаще оказываются патогенными? **(0.5 балла)**
2. Что обычно представляет собой антибиотик? Приведите примеры групп антибиотиков **(0.5 балла)**
3. Подумайте, какие механизмы могут использовать бактерии для борьбы с антибиотиками? **(до 0.5 балла за механизм, максимум 1)**
4. Придумайте, как мы можем усовершенствовать антибиотики, чтобы бороться с антибиотикорезистентностью. **(до 1 балла за идею, максимум 3)**
5. В качестве агента по борьбе с бактериями можно применять наночастицы серебра. Оцените, насколько возможно возникновение резистентности к наночастицам? **(1 балл)**

Всего – 6 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 1. Наноантибиотик

1. Грамотрицательные бактерии не окрашиваются кристаллическим фиолетовым при окрашивании по Граму, а грамположительные бактерии – окрашиваются и не отмываются. Большинство Грам (-) бактерий имеют вторую прочную мембрану, препятствующую проникновению краски внутрь, а Грам (+) бактерий имеют только однослойную клеточную мембрану. Большинство патогенов является Грам (+), например, стрептококки и стафилококки.
2. Антибиотики — это молекулы, подавляющие рост бактерий. Наиболее распространены бета-лактамы (пенициллиновая группа) антибиотики, макролиды и тетрациклины.
3. Примеры: (1) укрепление внешней мембраны, (2) выработка ферментов, расщепляющих или инактивирующих антибиотик, (3) синтез каналов или транспортеров, выводящих антибиотик наружу, (4) быстрая репарация повреждений, вызванных антибиотиком, (5) создание альтернативных биохимических путей при блокировании одного из них антибиотиком, (6) мутация рецепторов связывания с антибиотиком и др.
4. Примеры: (1) защита действующего вещества капсулами, (2) модификация химической формулы, (3) комбинация существующих антибиотиков с блокаторами ферментов и каналов, ответственных за резистентность, или молекулами, образующими пору в мембране бактерий и др. Принимается любая идея, имеющая биологический смысл.
5. Пока наночастицы выглядят довольно перспективным средством борьбы с бактериями, но все же несовершенным. Наночастицы серебра могут воздействовать на бактерии двумя способами: (1) механически, (2) с помощью ионов серебра. От механических повреждений (1) можно защититься, выработав прочную клеточную стенку, но большинство патогенов Грам (+) ее не имеют. Считается, что от ионов серебра (2) защититься довольно сложно. Но теоретически бактерии могут «придумать» молекулы, которые бы связывали ионы серебра. К тому же, существуют бактерии, которые уже могут восстанавливать ионы серебра Ag^+ до серебра Ag^0 , формируя наночастицы.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 2. Молекулярный мотор

В лаборатории, занимающейся изучением биологических молекулярных моторов, была расшифрована линейная последовательность кодонов ДНК, служащей матрицей для синтеза части последовательности небольшого участка цепи белка:

AAA-ACA-AGA-GAA-GTT- ACA -TAC-GGA-ACA

1. Напишите последовательность кодонов иРНК. **(1 балл)** Какие аминокислоты в белковой молекуле кодируются такой последовательностью нуклеотидов? **(1 балл)**
2. Исходя из свойств закодированных аминокислот, предположите, какое место они могут занимать в белковой глобуле в водном растворе, объясните Ваши предположения. Какие связи они могут друг с другом образовывать? **(1 балл)**
3. Что мешает использовать для создания биологических наномоторов аминокислоты, которые синтезируют химическим путем? **(1 балл)**
4. Один из природных наномоторов служит для синтеза АТФ в митохондриях и этот процесс связан с переносом электронов по электронтранспортной, или дыхательной, цепи (ЭТЦ) и протонодвижущей силой.
 - 4.1. Как называется этот молекулярный мотор? **(1 балл)**
 - 4.2. Зная, как работает этот молекулярный мотор в митохондриях, напишите, где значение рН больше: в матриксе митохондрий или в пространстве между внутренней и внешней митохондриальными мембранами? **(1 балл)**
5. Приведите еще примеры существующих в природе белковых молекул, которые могут служить молекулярными моторами. **(1 балл)**

Всего – 7 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 2. Молекулярный мотор

1. Последовательность кодонов иРНК:
UUU- UGU -UCU-CUU-CAA- UGU-AUG-CCU-UGU Фенилаланин- Цистеин -Серин-Лейцин-
Глутамин- Цистеин-Метионин-Пролин-Цистеин

2. Фенилаланин, лейцин, метионин и пролин – неполярные аминокислоты, они гидрофобны и скорей всего находятся внутри белковой глобулы.

Серин, глутамин и цистеин – гидрофильны – поэтому, вероятнее всего, они будут находиться на поверхности белка.

Плюс между аминокислотами в цепи помимо пептидных возможно образование водородных связей, а между цистеинами – образование S-S связей.

3. При химическом синтезе получают смесь L- и D- оптических изомеров аминокислот, которые трудно разделить.

4.

4.1. Это АТФ-синтаза.

4.2. Если брать в качестве примера работу АТФ-синтазы, то концентрация протонов в матриксе меньше, чем в межмембранном пространстве, значит, в матриксе среда более щелочная.

5. Кинезины, миозины, динеины, РНК и ДНК полимеразы.

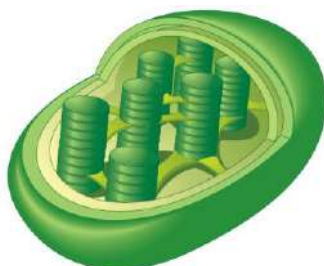


Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

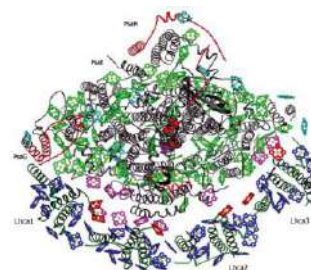
Задача 3. Настройка фотосинтеза



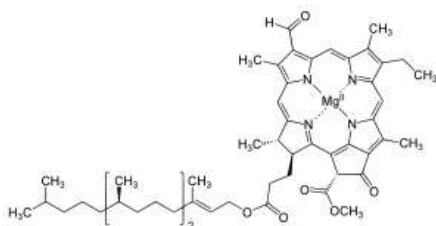
а



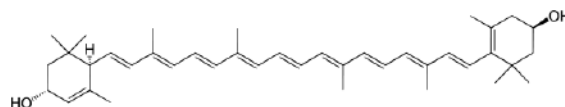
б



в



г



д

Рис. 1. а) Зеленый лист. б) Хлоропласт. в) Модель одной из «антенн», используемой хлоропластами для улавливания света, содержит несколько сотен молекул хлорофилла. г) Строение молекулы хлорофилла. д) Строение молекулы одного из дополнительных пигментов, содержащихся в «антенне».

Зеленый цвет растениям придает хлорофилл — пигмент, содержащийся в собирающих свет наноантеннах (рис. 1). На пути солнечного света к собирающим его растениям часто могут оказываться различные частицы и неоднородности среды с размерами порядка десятков – сотен нанометров, которые вполне могли участвовать в эволюции процесса фотосинтеза.

1. Какие основные цвета могут возникать при взаимодействии белого солнечного света с такими наночастицами? Приведите примеры соответствующих природных явлений. **(1 балл)**
2. Какие цвета из белого солнечного света избирательно поглощаются молекулами хлорофилла? **(1 балл)**

Предположим, что взаимодействие света с частицами могло играть решающую роль в эволюции фотосинтеза.

3. Как в таком случае можно было бы объяснить особенности спектра поглощения хлорофилла? Каким главным стратегиям поглощения света они могут соответствовать? **(2 балла)** Приведите примеры условий, в которых каждая из них может оказаться важной в жизни растений. Помогают или мешают при этом наночастицы, попадающиеся на пути света? **(2.5 балла)**

Вместе с хлорофиллом в «антеннах» также используются дополнительные пигменты (обычно их существенно меньше, поэтому их оранжево-желтую окраску мы можем увидеть только осенью в пожелтевших листьях, когда хлорофилл разрушается).

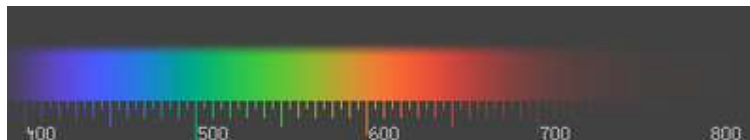
4. Поясните, какова роль этих молекул в процессе фотосинтеза. Как с их помощью растение может более эффективно использовать весь объем листа для фотосинтеза? **(2 балла)**
5. Как вы думаете, у растений или у водорослей эти пигменты играют большую роль в процессе усвоения солнечной энергии? Ответ поясните наглядными примерами. **(1.5 балла)**

Всего – 10 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 3. Настройка фотосинтеза

1. Видимый диапазон длин волн.

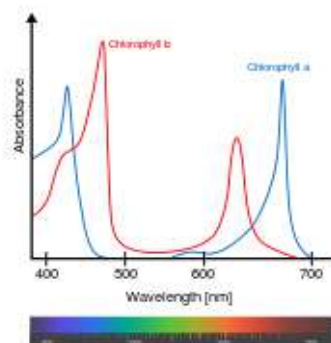
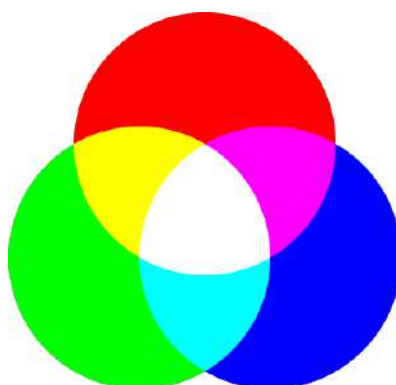


Если размеры частиц или неоднородностей среды заметно меньше длин волн света, то возникает Релеевское рассеяние. Сильнее всего при этом рассеивается **синяя** часть спектра, а проходящий свет при этом приобретает **красный** оттенок.

Рассеянный синий свет обуславливает цвета дымки и дыма, а также синий цвет неба (рассеяние происходит как на мелких частицах, так и на неоднородностях плотности атмосферы). Избыток красного в прошедшем свете обуславливает красный закат (особенно ярко окрашенный, когда в атмосфере много мелкой пыли).

Стоит отметить, что наночастицы не участвуют в образовании радуги: размеры капель воды, на которых преломляется свет, находятся в микрометровом диапазоне.

2. Белый свет получается при смешивании красного, зеленого и синего света. Соответственно, если из белого солнечного света «забрать» **красный** и **синий**, то останется **зеленый**:



3. Если предположить, что хлорофилл «настроен» на поглощение **синего** и **красного** солнечного света благодаря Релеевскому рассеянию на частицах, то, следовательно, основные стратегии:

- а) Поглощение **рассеянного** средой (небом) **синего** света. Стратегия может использоваться, если прямой солнечный свет не попадает на растение (например, оно растет в тени). При этом наночастицы будут **помогать** получить растениям больше солнечного света, который не может попасть к ним прямым путем.
 - б) Поглощение **прошедшего** сквозь среду **красного** света, который лучше «пробивается» через мутную среду. При этом, очевидно, частицы **мешают** получать энергию солнца. Эта стратегия может оказаться важной для выживания, если среда вдруг надолго станет мутной (с большим количеством частиц). Чтобы в атмосфере оказалось много измельченного вещества (частиц), необходимы катастрофические процессы, при которых выделяется много энергии. Это могут быть такие глобальные катаклизмы, как извержения вулканов, падение метеоритов (эффект «ядерной зимы»), а также пылевые бури и большие пожары. При этом количество света резко уменьшается, и к растениям будет «пробиваться» преимущественно красный свет.
4. Пигменты защищают клетки от избытка излучения (способны останавливать фотосинтез, а также улавливать образующиеся в ходе него свободные радикалы).

Интересно, что пигменты также помогают растениям поглощать, в том числе, **зеленый** свет и, передавая его энергию молекулам хлорофилла, использовать его в процессе фотосинтеза. При этом **красный** и **синий** свет могут поглощаться преимущественно в верхних частях листа, в то время как **зеленый** – поглощаться в глубине листа, куда **красный** и **синий** свет уже почти не доходят. Таким образом, «зеленое окно» в спектре поглощения хлорофилла также служит для более равномерного распределения энергии и скорости фотосинтеза внутри листа.

5. Более разнообразная окраска водорослей, обычно с преобладанием желто-зеленых цветов, часто отражающаяся в их названиях (красные и бурые водоросли), свидетельствует о наличии у них больших количеств пигментов по сравнению с растениями.

Поскольку вода – более плотная, чем воздух среда, то частицы в ней оседают гораздо медленнее, чем в атмосфере. Поэтому освещенность быстро падает с ростом глубины, что заставляет водоросли более эффективно поглощать любые дошедшие кванты света.

Также, красный и синий цвета активно поглощаются фотосинтезирующими организмами в толще воды, что вынуждает живущих на глубине обитателей активно использовать «зеленое окно», подобно тому, как это происходит в толще листа растений.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 4. Вкусный вопрос



Приятно положить на язык что-нибудь вкусненькое! Вкус пищи мы ощущаем благодаря вкусовым рецепторам, расположенным на языке, но и обоняние тоже дает свой вклад в те ощущения, которые мы получаем от пищи. Рецепторные клетки, распознающие вкус, расположены в специальных образованиях на языке, которые называются вкусовыми сосочками. При взаимодействии с химическими веществами, содержащимися в пище, рецепторные клетки возбуждаются и передают сигнал в головной мозг, и мы чувствуем вкус.

1. Сухая пища дает более слабое ощущение вкуса, ее вкус раскрывается полностью только после растворения в слюне. Как Вы думаете, почему? **(1 балл)**
2. На поверхности вкусовых рецепторных клеток имеется большое количество микроворсинок, а обонятельные рецепторные клетки покрыты слизью и имеют на своей поверхности реснички. Как Вы думаете, зачем это нужно? **(2 балла)**
3. Почему, если выпить слишком горячий чай, то на некоторое время пропадает способность различать вкус, а затем она снова восстанавливается? **(1 балл)**
4. Кроме рецепторов к веществам, определяющих четыре известных вкуса, недавно были обнаружены рецепторы к еще двум типам веществ и, соответственно, было выделено еще два вкуса. Выберите из списка, какие это вкусы. **(2 балла)**

апельсиновый	горелый	грибной
жирный	мясной	острый
мятный	несъедобный	яблочный

5. Такие известные вещества, как ментол и капсаицин, взаимодействуют не со вкусовыми рецепторами, а с терморецепторами, расположенными не только на языке, но и по всему телу (рецепторы TRPM8 для ментола и TRPV1 для капсаицина). При добавлении ментола и капсаицина в пищу мы чувствуем определенные ощущения. Опишите их для каждого из этих веществ. **(1 балл)** Этанол влияет на чувствительность рецепторов к ментолу и капсаицину: в случае с рецептором капсаицина имеет место повышение чувствительности, а в случае с рецептором ментола алкоголь, наоборот, снижает его чувствительность. Объясните, почему и как это связано с механизмом работы терморецепторов. **(6 баллов)**

Всего – 13 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 4. Вкусный вопрос

1. Для распознавания вкуса молекулы вещества должны провзаимодействовать с рецепторами на рецепторных клетках. Они могут достигнуть этих рецепторов только путем диффузии в растворе.
2. Микроворсинки увеличивают площадь поверхности клетки, благодаря чему увеличивается количество молекул-рецепторов, с которыми взаимодействуют компоненты пищи, вызывающие вкусовые ощущения.

Слизь нужна для того, чтобы летучие молекулы пахучих веществ перешли в раствор. Реснички, увеличивая поверхность клеток, помогают улавливать летучие вещества из слизи.

3. Рецепторные клетки отмирают при воздействии высокой температуры, однако затем они снова появляются, развиваясь из базальных клеток вкусовых луковец.
4. Жирный, мясной.
5. Ощущения: ментол – мятный, холодный, капсаицин – жгучий, горячий.

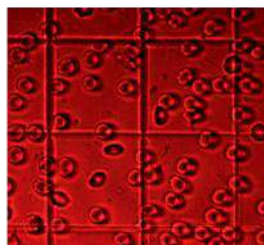
Рецептор ментола – холодовой рецептор, изменяет свою конформацию на проводящую ионы при сжатии липидов мембраны при снижении температуры. Этанол, наоборот, разупорядочивает липиды мембраны, «расширяет» мембрану и таким образом противодействует эффекту ментола.

Рецептор капсаицина – рецептор повышения температуры, переходит в активную форму при «расширении» мембраны, разупорядочении ее липидов (что происходит при повышении температуры). Этанол также разупорядочивает липиды мембраны, благодаря чему эффект капсаицина усиливается.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 5. Что Вы знаете о крови?

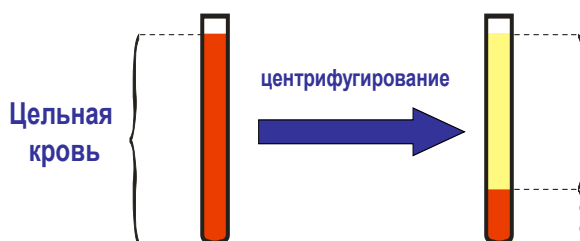


Кровь – одна из важнейших тканей в организме, выполняющая ряд функций и состоящая из жидкой среды – плазмы – и клеток – форменных элементов крови (эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов). Что вы знаете о крови? Ниже Вам будет задано несколько вопросов о крови, попробуйте на них ответить.

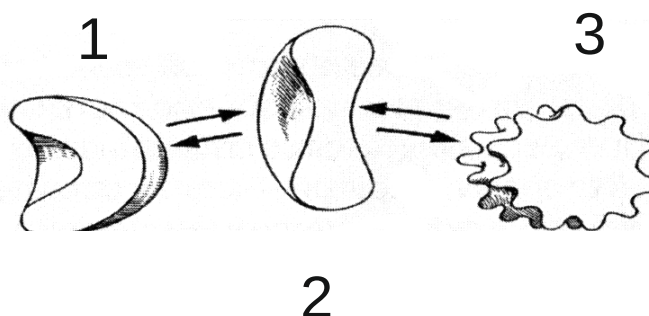
1. К какому виду ткани относится кровь: **(1 балл)**

- а) эпителиальной
- б) соединительной
- в) нервной
- г) мышечной

2. Часто в медицине вместо одного из компонентов крови – плазмы – используют сыворотку крови. Чем они отличаются, как и для чего используют сыворотку крови? **(2 балла)**

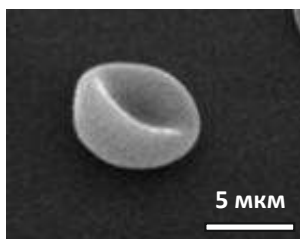


3. Известно, что эритроциты способны обратимо изменять свою морфологию (например, при изменении ионной силы или pH). Ниже на рисунке приведены три основных формы эритроцитов. Назовите их. **(2 балла)**

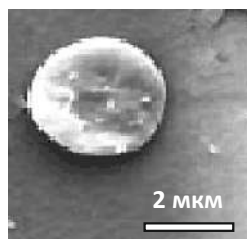


4. Ниже приведено несколько фотографий форменных элементов крови. Сопоставьте название клетки его изображению. **(3 балла)**

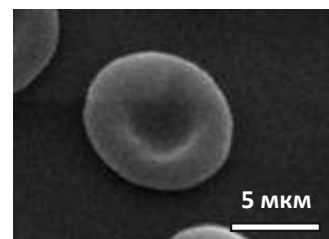
тромбоцит (активированный)
тромбоцит (неактивированный)
лимфоцит
эритроцит (дискоцит)
эритроцит (стоматоцит)
эритроцит (эхиноцит)



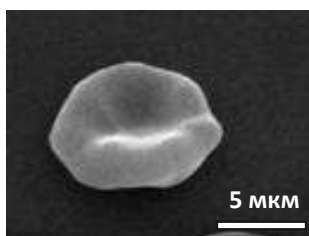
а



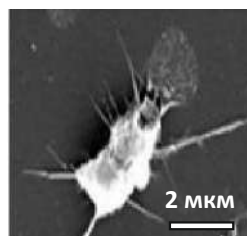
б



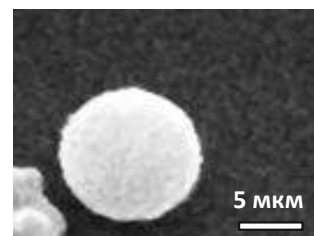
в



г



д



е

5. Кратко ответьте, какие компоненты крови способны выполнять транспортную функцию? **(1 балл)**

Для того, чтобы наночастицы попали в органы-мишени, их, как правило, вводят внутривенно. К сожалению, ионный состав плазмы приводит к тому, что металлические наночастицы агрегируют между собой и подвергаются воздействию иммунной системы, после чего в большинстве случаев оказываются в печени, а затем постепенно выводятся из организма.

6. Предложите способ введения металлических наночастиц (будем считать их экспериментальным аналогом наноробота) в кровь, позволяющий избежать их агрегации и удаления иммунной системой. (Предлагая механизм, постарайтесь опираться на данные о строении и функционировании компонентов крови.) **(максимум 5 баллов)**

Всего – 14 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 5. Что Вы знаете о крови?

1.
 - б) соединительной
2. Сыворотка крови — это плазма крови, лишённая фибриногена. В сыворотке сохранена большая часть антител, а за счёт отсутствия фибриногена резко увеличивается стабильность, что делает ее более удобной для использования.

Сыворотку используют для диагностики, а также при биохимическом анализе крови. Кроме того, существуют иммунные сыворотки, содержащие антитела к определенным антигенам. Их используют для создания иммунитета к различным заболеваниям или ядам, а также при диагностике или научных исследованиях (например, сыворотки меченые различными флуоресцентными красителями и радионуклидами).

3. 1 – стоматоцит
2 – дискоцит
3 – эхиноцит
4.
 - а) эритроцит (стоматоцит)
 - б) тромбоцит (неактивированный)
 - в) эритроцит (дискоцит)
 - г) эритроцит (эхиноцит)
 - д) тромбоцит (активированный)
 - е) лимфоцит
5. Одна из основных функций крови – транспортная. К ее выполнению в той или иной степени способно большинство ее компонентов, однако можно выделить наиболее приспособленные для этого. Это – **эритроциты**, способные переносить на поверхности различные вещества, а также транспортировать различные газы. Кроме того, транспортную функцию выполняют белки плазмы, такие как **липопротеины**, **альбумины** и некоторые **глобулины**.
6. Можно условно разделить нашу задачу на две части: 1) введение наночастиц; и 2) защита от действия иммунной системы.

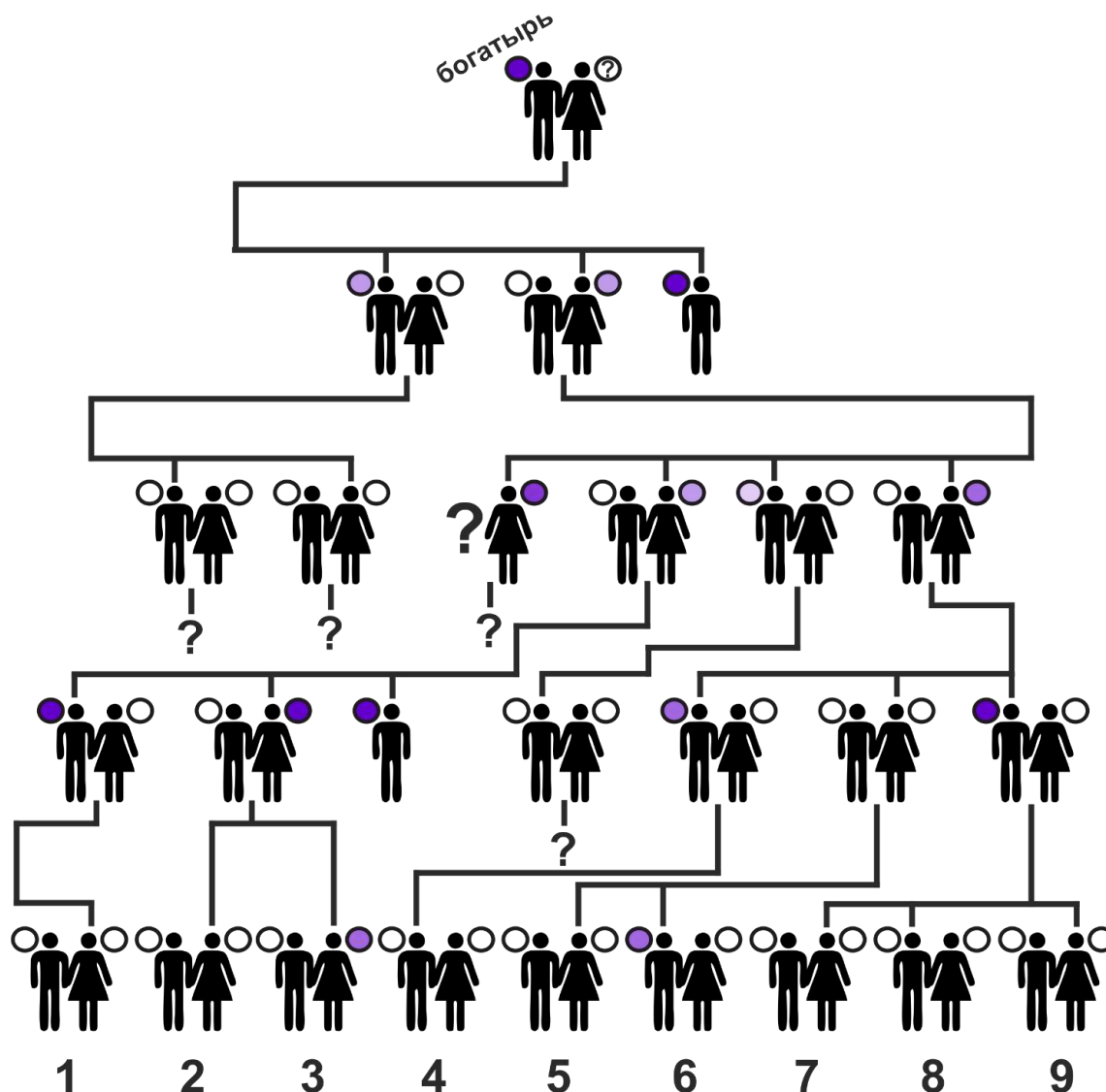
Общие замечания. Ответом на заданный вопрос можно считать модульную конструкцию, в состав которой входит металлическая наночастица. Наночастица модифицируется так, чтобы к ней можно прикрепить модуль, отвечающий за распознавание модуля иммунной системой, затем прикрепляется транспортный модуль (который может включать вышеописанные компоненты крови), также могут присутствовать другие модули, например, отвечающие за попадание непосредственно в орган-мишень, если есть такая необходимость.

Введение наночастиц. Если нельзя ввести наночастицы напрямую в кровь, то можно выделить компоненты крови и попытаться ввести туда наночастицы, а затем ввести

такие компоненты в кровь. Самыми перспективными в этом отношении являются компоненты, наиболее приспособленные для транспорта веществ – эритроциты и белки плазмы (липопротеины, альбумины и некоторые виды глобулинов). Эритроциты и белки можно выделить из крови пациента, а можно использовать донорские, затем поместить их в среду другого ионного состава, в которой эритроциты и белки не разрушаются, а металлические наночастицы остаются наночастицами, а затем инкубировать их с необходимыми наночастицами. Также, особенно в случае с белками, возможна дополнительная модификация наночастиц различными белковыми и небелковыми компонентами для облегчения соединения (здесь возможны различные варианты связей).

Защита от действия различных факторов иммунной системы. В настоящее время подобная процедура уже отработана, если не с наночастицами, то с различными веществами и лекарствами. Как правило, производится модификация наночастиц различными пептидами или другими веществами, позволяющими иммунной системе считать данный объект частью организма.

В целом, ответ на вопрос может включать другие гипотезы, но идеи о модификации наночастиц, а также о присоединении таких частиц к выделенным компонентам крови должны присутствовать.



В стародавние времена жил на свете один богатырь, который, как и положено богатырю, обладал огромной силой и скоростью, а в бою мог на равных биться с отрядом из нескольких десятков воинов. У богатыря была семья и многие в ней, как мужчины, так и женщины, также обладали сверхспособностями, а некоторые (но не все) из потомков даже сравнивались своими качествами с легендарным предком.

Представьте себе, что вы исследователь, который в старых архивах нашел часть генеалогического древа, принадлежащего нескольким потомкам легендарного героя. На основании этих данных была построена схема, которую Вы видите на рисунке. На рисунке приведена часть генеалогического древа богатыря. Фигурка обозначает пол человека (фигурка в платье – женщина). Интенсивность цвета кружков рядом с фигурками означает наличие сверхспособностей, чем цвет насыщеннее, тем быстрее и сильнее человек (самый насыщенно фиолетовый кружок у богатыря и некоторых его потомков). Белый цвет кружка означает, что физические возможности потомка богатыря не превышают возможностей среднестатистического человека.

На основании доступных Вам данных предположите:

1. По какому механизму наследования передавалась богатырская сила? **(3 балла)**
2. У каких семей из нижнего ряда данной схемы могут родиться дети с повышенными физическими возможностями (укажите номера)? **(4 балла)**
3. Что вы можете сказать о родителях богатыря и его жене? **(3 балла)**

Ответы засчитываются только при наличии объяснения (хотя бы краткого).

Всего – 10 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 6. Наследники богатыря

Если внимательно посмотреть на генеалогическое древо, то можно заметить, что сверхспособности передаются только по материнской линии, как дочерям, так и сыновьям, причем величина (проявление) сверхспособностей варьирует и не зависит от пола или поколения потомка. Более всего таким условиям соответствует митохондриальное наследование.

В этом случае сверхсила и суперскорость могут передаваться только от тех родителей, у которых носителями сверхспособностей была мать или бабушка по материнской линии (или еще более давние предки женского рода по материнской линии), поскольку интенсивность сверхспособностей может варьировать от поколения к поколению и не проявиться в каком-либо из поколений. Этим условиям удовлетворяют пары 2, 3 и 5.

В случае митохондриального наследования также можно предположить, что мать, бабушка по материнской линии или еще ранние предки женского рода обладали сверхспособностями. Хотя вполне вероятно, что это была мутация именно у нашего богатыря. Кроме того, жена богатыря или ее предки-женщины также должны были обладать сверхспособностями, иначе они не передались бы по наследству (мы ничего не знаем о предках нашего богатыря и его жены).

Также вполне возможно, что это не митохондриальное наследование, а передача по наследству сложного признака, кодируемого несколькими генами, например, аналогично кодированию цвета глаз. В этом случае достаточно сложно оценить потомков и предков богатыря и его жены. Однако, этому предположению несколько противоречит условие передачи сверхспособностей по женской линии, мы должны предполагать сцепленное с полом наследование, в которой хотя бы один из участвующих в кодировании сверхспособностей ген должен находиться в X хромосоме, что несколько противоречит проявлению сверхспособностей у обнаруженных потомков богатыря.

Кроме того, возможны различные варианты полимерии (возможно сцепленной с полом (!)), однако в нашем случае, при наличии только части родословной (здесь присутствует очень маленькая и не вполне репрезентативная выборка), довольно сложно подтвердить ее наличие, а варианты «против» найти гораздо легче (например, неканоническое расщепление). В то время как гипотеза о митохондриальном наследовании не противоречит всем условиям задачи.

Однако, если Вам удастся создать логичную и непротиворечащую условиям схему передачи сверхспособностей у потомков другим, не митохондриальным, путем, ответ будет безусловно засчитан (ключевые слова здесь «логичную и не противоречащую условиям задачи»).



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 7. Экзобиология

Экзобиологи отправились в экспедицию на планету X, необычную своей разнообразной растительностью и с силой тяжести такой, как на Марсе. Предварительный анализ состава растительных клеток показал, что они содержат большое количество жиров и белков и, в связи с этим, потенциально могут обладать повышенной питательной ценностью для животных по сравнению с растительностью Земли. Однако, электронная микроскопия показала, что растения в клетках накапливают наночастицы меди, образуя их из солей меди, получаемых из почвы.

В экспедиции на планете X перед биологами стояло несколько задач по изучению влияния растительности планеты на разные ткани животных. В качестве привезенных лабораторных животных биологи использовали кроликов.

1. В каких тканях кроликов могут накапливаться наночастицы меди, поглощенные вместе с растениями? **(1 балл)** Какие методы биологи могли бы использовать, чтобы это исследовать? **(1 балл)**
2. При помощи каких методов биологи могли бы исследовать липидный состав мембраны живых клеток печени и скелетных мышц кролика? **(1 балл)**
3. Перед биологами стала задача выделить органоиды скелетных мышц кроликов, которых кормили местной травой. На планете Земля биологи выделяли митохондрии на центрифуге с радиусом 15 см. По протоколу выделение митохондрий на Земле проходило сначала при скорости 1000 оборотов в минуту, а потом при 12000 оборотов в минуту.
 - 3.1. Как вы думаете, какое количество оборотов в минуту на обоих этапах центрифугирования надо было бы использовать, чтобы выделить митохондрии из клеток кролика на планете X? **(3 балла)** Зачем надо использовать два этапа центрифугирования для выделения митохондрий? **(1 балл)** При какой температуре это должно происходить? **(1 балл)**
 - 3.2. Как называется такой способ выделения клеточных органелл? **(1 балл)**
 - 3.3. Как надо было бы изменить протокол центрифугирования, если бы биологам понадобилось выделить цитоплазматические везикулы, с характерным размером в несколько раз меньшим, чем у митохондрий; ядра клеток? **(2 балла)**
4. Как Вы думаете, в каких органоидах скелетных мышц и/или печени могло бы проходить накопление наночастиц и как это можно было бы диагностировать? **(2 балла)**

Всего – 13 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 7. Экзобиология

1. Исследования на токсичность наночастиц меди показали, что они накапливаются в основном в тканях печени, почек и селезенки. Для оценки токсических эффектов наночастиц меди в первую очередь проводят биохимические анализы крови, так как наночастицы меди оказывают сильные токсические эффекты и повышают такие показатели, как азот мочевины, уровень креатинина, общих желчных кислот и щелочной фосфатазы, что свидетельствует о почечной и печеночной дисфункции. Методы оптической микроскопии позволяют увидеть, что изменяется цвет почечной ткани на бронзовый и цвет клеток селезенки. Методом электронной микроскопии можно обнаружить накопление наночастиц меди в лизосомах.
2. Это ряд современных методов, таких как спектроскопия скоррелированной флуоресценции (FCS), флуоресцентная микроскопия одиночных молекул, микроскопия подавления индуцированного излучения, методы отслеживания одиночных частиц (SPT) и картирования тепловых движений (TNI), флуоресцентно-резонансный перенос энергии (FRET).
3.
 - 3.1. Для начала нам надо будет посчитать исходя из заданного - круговую скорость и центробежное ускорение для первого откручивания.

$$V = 2\pi rn = (2 \cdot 3.14 \cdot 0.15 \cdot 1000) / 60 = 15.7 \text{ м/с}$$

$$A = V^2 / r = (15.7)^2 / 0.15 = 1643 \text{ м/с}^2$$

Относительная центробежная сила на Земле была бы равна

$$A / g = 1643 / 9.81 = 167.5.$$

Так как на планете X сила тяжести, как на Марсе, а она отличается от земной в 2.644 раза, то нужно на центрифуге создать относительную центробежную силу во столько же раз больше. $167.5 \cdot 2.644 = 442.9 \text{ g}$, так как при меньшей силе ядра и остатки мембран хуже будут осаждены.

Повторим вычисления для второго откручивания.

$$V = 2\pi rn = (2 \cdot 3.14 \cdot 0.15 \cdot 12000) / 60 = 188.4 \text{ м/с}$$

$$A = V^2 / r = (188.4)^2 / 0.15 = 236630 \text{ м/с}^2$$

Относительная центробежная сила на Земле была бы равна

$$A / g = 236630 / 9.81 = 24121.3.$$

Так как на планете X сила тяжести, как на Марсе, а она отличается от земной в 2.644 раза, то нужно на центрифуге создать относительную центробежную силу во столько же раз больше, т.е. 63764 g .

Сначала осаждают ядра и остатки плазматической мембраны, а при последующем центрифугировании уже сами митохондрии. Центрифуга должна быть с охлаждением. Температура, при которой осаждают митохондрии, 4 градуса Цельсия, чтобы не повредить митохондрии при действии клеточных ферментов, которые не активны при такой температуре.

- 3.2. Такой метод выделения называется дифференциальным центрифугированием.
- 3.3. Для выделения цитоплазматических везикул, с характерным размером в несколько раз меньшим, чем у митохондрий, надо было бы увеличить относительную центробежную силу (количество оборотов в минуту), а для того, чтобы осадить ядра клеток, наоборот, ее уменьшить.
4. Накопление наночастиц, скорее всего, будет проходить в лизосомах и пероксисомах скелетных мышц и/или печени. Диагностировать это можно методами электронной микроскопии.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 8. Гематоэнцефалический барьер и нанороботы

Для того, чтобы вещества проникли в мозг, им необходимо преодолеть гематоэнцефалический барьер (ГЭБ). Гематоэнцефалический барьер – это имеющийся у всех позвоночных полупроницаемый фильтр между кровеносной системой и центральной нервной системой, основная функция которого – защита нервной ткани от находящихся в крови клеточных и неклеточных факторов, в том числе от антител и лейкоцитов (способных воспринять нервную ткань как чужеродную), различных токсинов, вирусов, бактерий и проч. Через гематоэнцефалический барьер в мозг поступают питательные и физиологически активные вещества. Транспорт веществ через ГЭБ осуществляется посредством пассивной (облегченной) диффузии как через клеточные мембраны, так и через плотные межклеточные контакты эндотелиальных клеток гематоэнцефалического барьера (липофильные вещества низкого молекулярного веса), либо используя системы специальных транспортных частиц (аминокислоты, глюкоза, пептиды и др.). Это способствует защите нервной системы от вредных воздействий, однако, при этом затрудняет лечение многих заболеваний, так как ГЭБ не пропускает целый ряд лекарственных препаратов (к которым мы будем относить и нанороботов).

Ответьте на несколько вопросов, посвященных гематоэнцефалическому барьеру:

1. Основу гематоэнцефалического барьера составляют эндотелиальные клетки. Существуют ли промежутки между клетками и каков размер межклеточных щелей между ними? **(2 балла)**
2. Под специальными транспортными системами понимают:
 - а) системы активного транспорта;
 - б) системы облегченной диффузии;
 - в) специализированные каналы;
 - г) все вышеперечисленное;
 - д) все вышеперечисленное плюс везикулярный транспорт.

Правильный ответ – **1 балл**.

3. В настоящее время нанороботы – это предмет многочисленных спекуляций. Остается непонятным, каким должен быть их размер, материал, система управления и т.д. Тем не менее, уже понятны основные принципы построения нанороботов и основные задачи, которые необходимо решить, чтобы нанороботы успешно работали. Одной из таких проблем является доставка наноробота к мишени, в нашем случае – к нервным клеткам центральной нервной системы. Предположим, что размеры нанороботов сравнимы или немного крупнее размера крупных полипептидов и они не агрегируют в крови. Предложите нетравматический способ введения наночастиц в мозг из просвета кровеносного сосуда через гематоэнцефалический барьер (ответ будет засчитан, если в предложенном механизме будут учтены данные о строении и функционировании гематоэнцефалического барьера). **(максимум 5 баллов)**

Всего – 8 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 8. Гематоэнцефалический барьер и нанороботы

1. Эндотелиальные клетки сосудов центральной нервной системы не имеют промежутков и межклеточных щелей, они располагаются сплошным слоем, а между клетками находятся т.н. плотные контакты.
2.
 - д) все вышеперечисленное плюс везикулярный транспорт.
3. Существуют разные способы (модели) прохождения гематоэнцефалического барьера. Здесь мы предлагаем рассмотреть наиболее традиционный и наименее травматичный и не рассматриваем варианты, например, с использованием инъекций в заданную область, микрокатетеров и т.д.

Как уже упоминалось в другой задаче, логично рассматривать наноробота в качестве модульной структуры, в которой есть модуль, ответственный за прохождение гематоэнцефалического барьера, модуль, выполняющий основную функцию, модуль, ответственный за распознавание иммунной системой и т.д. Данная схема также применима и к введению лекарств. Наиболее перспективно в этом случае будет выглядеть использование специальных транспортных систем в гематоэнцефалическом барьере, предназначенных для транспорта необходимых мозгу веществ. Поскольку, по условию, наши нанороботы довольно большие, то, скорее всего, в качестве модуля, ответственного за прохождение барьера, нужно использовать структуры, которые будут комплементарны рецепторам, участвующим в транспорте веществ посредством трансцитоза (например, структуру, аналогичную трансферрину для взаимодействия с трансферриновым рецептором). Также перспективным кажется вводить наночастицы в липопротеины низкой плотности с их последующей доставкой в мозг.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 9. Необычные “кукухо”

Профессор Алехандро Плата остановился в городке Сан-Рафаель лас Флорес, в Гватемале. Делать здесь было особенно нечего – не на серебряный же рудник Эскобаль смотреть, в самом деле. Однажды вечером, гуляя по холмистым окрестностям, профессор был поражен ярким светом, который можно было видеть в зарослях местного кустарника. Как он и ожидал, это оказались светящиеся жуки “кукухо” (*Pyrophorus noctilucus*), но до чего же они были яркими! Гораздо ярче, чем те, что он видел прежде, хотя и обычные “кукухо” – самые яркие из светящихся насекомых.

Заинтересовавшись необычными жуками, профессор собрал несколько образцов и увез их с собой. Жуки неплохо прижились у него в лаборатории, однако, светились уже не так ярко. Анализ показал, что в светящихся органах этих жуков жили бактерии, на электронных фотографиях которых можно было видеть маленькие электронноплотные включения, диаметром 13–15 нм.

Съездив в ту же местность еще раз, профессор Плата привез также образцы почвы и растений оттуда и поместил их в террариум с жуками. К своему удивлению, он обнаружил, что яркость свечения жуков вновь начала возрастать! Анализ почвы и растительных остатков показал относительно высокое содержание ионов серебра.

1. Какие еще светящиеся виды членистоногих вы знаете, и на каких жизненных стадиях наблюдается свечение? **(1 балл)**
2. Опишите молекулярный механизм свечения светящихся насекомых? **(1 балл)**
3. Как насекомые используют свое свечение? **(1 балл)**
4. Предположите возможный механизм сверхяркого свечения жуков из рассказа, свое предположение обоснуйте. **(4 балла)**
5. Почему симбиоз с бактериями оказался выгодным жукам из рассказа? **(4 балла)**

Всего – 11 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 9. Необычные “кукухо”

1. Насекомые – светляки (семейство жуков); кроме взрослых животных светятся также личинки и яйца, иногда и куколки; также Фриксотрикс (жук-семафор), некоторые грибные комарики (двукрылые). Некоторые многоножки и сороконожки. Кроме этого, ряд морских ракообразных.
2. Как правило, свет возникает в ходе окисления белка люциферина в присутствии фермента люциферазы.
3. Часть насекомых использует свечение для коммуникации, прежде всего при поиске и привлечении партнера. Часть – хищники – для подманивания жертвы.
4. Можно предположить, что в lanterns (органы свечения) этих жуков поселились бактерии, вырабатывающие наночастицы серебра, на которых происходил плазмонный резонанс и усиление свечения. Близость серебряного рудника Эскобаль указывает на то, что почва рядом может быть “загрязнена” серебром, свечение пропадало при питании жуков обычным кормом и восстановилось, когда увеличилось содержание серебра.
5. Жуки смогли светиться ярче, т.е. более эффективно привлекать партнеров при размножении. Личинки (хищники) смогли более эффективно приманивать добычу.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 10. Антитела природные и искусственные

Появление вторичного, или приобретенного иммунитета у высших позвоночных животных привело к резкому повышению устойчивости к различным инфекциям, выживанию после контакта с болезнетворными вирусами и бактериями, а также более эффективному выявлению в собственном организме атипичных клеток, способных перейти в раковые.

1. Перечислите клетки, обеспечивающие приобретенный иммунитет. **(0.5 балла)**

Образование антител является особенностью одного из типов клеток приобретенного иммунитета и важнейшим этапом борьбы с инфекциями и раковыми клетками. Особое строение антител гарантирует, что среди всех их вариантов найдется подходящее антитело к каждому антигену.

2. Какие клетки и в результате какого процесса синтезируют антитела? **(0.5 балла)**
Опишите строение антител и назначение их каждого функционального участка. **(0.5 балла)**

Антитела можно охарактеризовать с точки зрения их специфичности. Большая часть антител является моноспецифическими, но крайне редко встречаются и природные биспецифические антитела. Кроме того, в настоящее время проводятся активные разработки новых лекарственных препаратов, основанных на искусственных биспецифических антителах.

3. Какой участок антитела определяет его специфичность? **(0.5 балла)** В чем преимущество биспецифических антител по сравнению с моноспецифическими? **(1 балл)** Какие функции могут выполнять биспецифические антитела, и какое у них может быть строение? **(2 балла)** Предложите устройство лекарственного препарата, основанного на биспецифических антителах. **(3 балла)**

Всего – 8 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 10. Антитела природные и искусственные

1. Клетками приобретенного иммунитета являются лимфоциты – В и Т-клетки.
2. Антитела производятся В-лимфоцитами. Природные антитела имеют Y-образную форму и состоят из консервативного и вариабельных участков, Fc и Fab. Консервативный домен и большая часть вариабельных участков имеют одинаковое строение для всех антител, синтезированных в организме. Небольшая часть вариабельного домена имеет уникальную структуру и отвечает за высокоспецифическое взаимодействие с антигеном. Функция консервативного домена состоит в привлечении к антителу NK-клеток (естественных киллеров), макрофагов и Т-клеток, обеспечивая антитело-опосредованное элиминирование клеток, на поверхности которых связались антитела (это могут быть раковые клетки или клетки, пораженные вирусами или бактериями). Антитела могут также связываться со свободными чужеродными белковыми молекулами (например, токсинами, образовавшимися при бактериальной инфекции) и ускорять их выведение из межклеточной среды.
3. Специфичность антител определяется вариабельным участком. У биспецифических антител есть два разных вариабельных участка, что позволяет антителу взаимодействовать с двумя различными антигенами. При этом искусственные биспецифические антитела могут иметь консервативный Fc домен и два разных Fab домена или могут состоять только из вариабельных доменов с гибкой сшивкой.

Возможное строение лекарственного противоракового препарата: Fc домен и два Fab участка. Консервативный домен привлекает и связывает NK-клетки или макрофаги, первый вариабельный участок отвечает за связывание со специфическим антигеном на поверхности раковой клетки, а второй Fab участок связывает антиген на поверхности Т-клетки. Таким образом, достигается одновременное привлечение к раковой клетке двух типов иммунных клеток, что улучшает "исход" борьбы иммунитета с раковыми клетками. Ещё возможный вариант – создание комплексного лекарственного препарата для лечения нейрональных патологий. Первый Fab домен отвечает за взаимодействие со специфическим рецептором на поверхности клеток гематоэнцефалического барьера и проникновение в ткани мозга (например, с трансферриновым рецептором), а второй Fab домен отвечает за связывание с мишенью на поверхности нейронов или глиальных клеток.



Математика для школьников

Математика

Категория участников: школьники 7-11 классов

Блок теоретических заданий по **математике для школьников 7-11 классов** включает задачи разной сложности. Для повышения вероятности прохождения на очный тур Вам желательно решить задачи не только по математике, но и по физике, биологии, химии, чтобы набрать больше баллов. Дополнительные баллы будут начислены за прохождение теста "[Викторина](#)". Все прошедшие на очный тур обязательно решают задачи по всем четырем предметам.

Задания

1. Геометрия радиолярий

Радиолярии – это простейшие одноклеточные организмы, входящие в состав планктона. Они имеют ажурный внутренний скелет (рис. 1), который в ряде случаев состоит из наночастиц диоксида кремния размером 50 – 150 нм...

2. Мутации: и целого мира мало

Молекула фермента **X** представляет собой некоторую известную последовательность длиной в 37 аминокислотных остатков (АО). Предположим, что существуют такие мутации, которые приводят к замене произвольного АО в **X** на другой случайный АО...

3. Аэрогель

Аэрогелями называют класс аморфных высокопористых материалов, имеющих объемную макроструктуру с характерным размером наноструктурных элементов 4 – 10 нм и представляющих собой гель, в котором жидкая фаза полностью замещена газообразной...

4. Ребус

Три школьника получили одинаковые наборы шариков и задание: сложить из них без остатка по две двух- или трехмерные модели нанокластеров так, чтобы число шариков,

приходящихся на ребро одного из них, было кратно трем. Все школьники справились с заданием...

5. Поиск наномотивов в ДНК E. Coli

Единичные нити ДНК с определенным расположением гуанина **G**, способны самопроизвольно сворачиваться в четырехцепочечные спирали – **G-квадруплексы** (рис. 1а), которые обладают повышенной устойчивостью. При этом четыре нуклеотида **G** из разных цепей...

6. Нетипичный симметричный фуллерен

Рассмотрим развертку некоторого типа симметричных фуллеренов, все пятиугольники в котором разбиты на группы по три, имеющие одну общую вершину. При этом края развертки перпендикулярны связям С-С (рис. 1). Рассчитайте величину **N** для фуллерена...

7. Симметрия и изомеры

Форму какого многогранника имеет фуллерен C_{60} (бакибол)? Сколько у этого многогранника ребер, сколько и каких граней? Про молекулу говорят, что она имеет поворотную ось симметрии **n**-го порядка ($n > 1$), если при повороте на угол, кратный $360^\circ/n$, молекула совпадает сама с собой...

8. Вот, новый поворот

Несколько лет назад в семействе углеродных материалов появилась новинка – двухслойный графен, свойства которого, прежде всего, электронные, отличны как от графена, так и от многослойного графита. Значительная часть этих свойств определяется взаимным расположением атомов С...

9. Медно-фосфорные каркасы

Комбинирование пятиугольных фосфорных фрагментов P_5 с атомами меди Cu (рис. 1а) позволяет получить два типа медно-фосфорных каркасов P_nCu_m – **A** и **B**. Для каждого из каркасов: а) установите соотношение атомов **n:m**; б) сколько атомов меди и фосфора содержат циклы...

10. Устойчивость магических кластеров

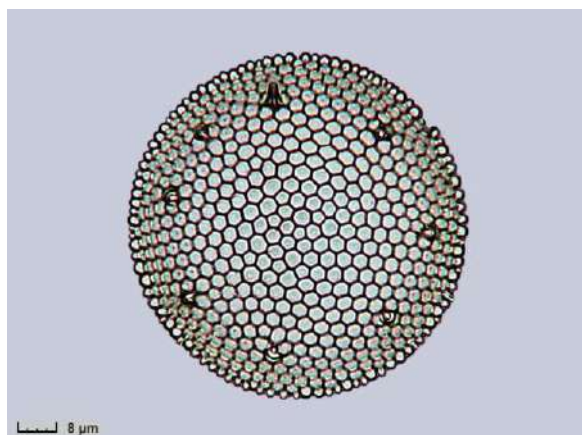
Синтез золотых наночастиц в некоторых условиях приводит к получению смеси

нанокластеров, в которой есть наночастицы как в форме кубооктаэдров, так и скошенных икосаэдров (рис. 1 а, б). При равенстве длин ребер эти нанокластеры содержат одинаковое число атомов...

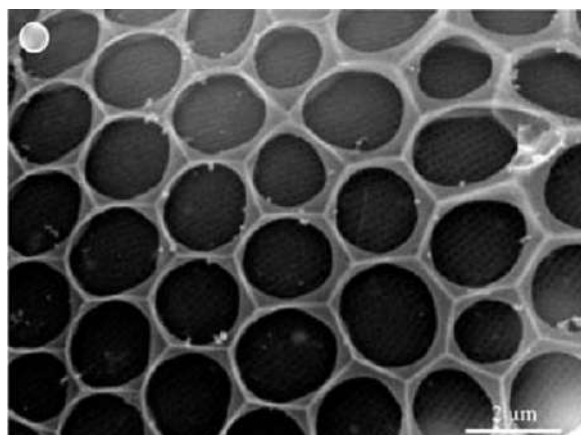


Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 1. Геометрия радиолярий



а



б

Рис. 1. Примеры радиолярий рода *Stephanopyxis*. а) Внешний вид. б) Изображение скелета, полученное при помощи сканирующей электронной микроскопии.

Радиолярии – это простейшие одноклеточные организмы, входящие в состав планктона. Они имеют ажурный внутренний скелет (рис. 1), который в ряде случаев состоит из наночастиц диоксида кремния размером 50 – 150 нм.

1. В структуре выпуклого многогранника, отвечающего внутреннему скелету некоторого экземпляра радиолярии *Stephanopyxis*, существуют только пяти-, шести- и семиугольники, а в каждой вершине сходятся ровно по три грани. Оцените общее число граней для этого скелета, если его форма близка к сферической, диаметр составляет $D = 43,13$ мкм, а длина любого ребра – $d = 1,5$ мкм. **(2.5 балла)**
2. Воспользовавшись теоремой Эйлера¹, рассчитайте число пяти-, шести- и семиугольных граней во внутреннем скелете радиолярии рода *Stephanopyxis*, если доля семиугольников для него составляет $\delta = 15\%$ от общего числа граней. **(3.5 балла)**

¹ Теорема Эйлера для выпуклого многогранника: $V - E + F = 2$, где V , E , F – это, соответственно, число вершин, ребер и граней.

Всего – 6 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 1. Геометрия радиолярий

1. Площадь поверхности сферы составляет $S = \pi D^2 = 5844 \text{ мкм}^2$.

В то же время, площадь многогранника равна сумме площадей составляющих его многоугольников, помноженных на общее число многоугольников каждого вида:

$$S = F_5 \cdot S_5 + F_6 \cdot S_6 + F_7 \cdot S_7.$$

Площадь любого равностороннего многоугольника можно приблизить суммой площадей равносторонних треугольников $S_3 = 0,5d^2 \sin 60^\circ = 0,974 \text{ мкм}^2$:

$$\begin{aligned} S &= 5F_5 \cdot S_3 + 6F_6 \cdot S_3 + 7F_7 \cdot S_3 = S_3(5(12 + F_7) + 6F_6 + 7F_7) = 6S_3(10 + 2F_7 + F_6) \\ S &= 6S_3(F_5 + F_6 + F_7 - 2) = 6S_3(F - 2) = 6S_3(F - 2) \end{aligned}$$

Что можно приблизить как $S = 6S_3(F - 2) \approx 6S_3F$.

Тогда общее число граней $F = S/(6S_3) = 5844/(6 \cdot 0,974) = 1000$.

2. Запишем теорему Эйлера для скелетного многогранника:

$$V = 5F_5/3 + 6F_6/3 + 7F_7/3 \text{ (каждый } n\text{-угольник дает } n \text{ вершин, но каждая вершина принадлежит трем многоугольникам),}$$

$$E = 5F_5/2 + 6F_6/2 + 7F_7/2 \text{ (каждый } n\text{-угольник дает } n \text{ ребер, но каждое ребро принадлежит двум многоугольникам),}$$

$$\begin{aligned} F &= F_5 + F_6 + F_7. \\ 5F_5/3 + 6F_6/3 + 7F_7/3 - (5F_5/2 + 6F_6/2 + 7F_7/2) + F_5 + F_6 + F_7 &= 2 \\ F_5 - F_7 &= 12 \end{aligned}$$

Рассчитаем число граней разных типов:

$$\begin{aligned} F_7 &= \delta F = 15/100 \cdot 1000 = 150. \\ F_5 &= 12 + F_7 = 162 \\ F_6 &= F - F_7 - F_5 = 1000 - 150 - 162 = 688. \end{aligned}$$



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 2. Мутации: и целого мира мало

Молекула фермента **X** представляет собой некоторую известную последовательность длиной в 37 аминокислотных остатков (АО)¹. Предположим, что существуют такие мутации, которые приводят к замене произвольного АО в **X** на другой случайный АО.

1. Сколько разных по структуре молекул может быть получено в результате единичной мутации в **X**? **(1 балл)**
2. Сколько всего разных по структуре молекул можно получить в результате неограниченного числа последовательных мутаций в **X**? **(3 балла)**
3. Рассчитайте диаметр сферы, внутри которой можно разместить все молекулы из п.2, если на один АО в среднем приходится объем, равный $0,14 \text{ нм}^3$. **(2 балла)**

¹ Последовательность АО в полипептиде имеет направление (начало и конец). В рамках задачи считать, что в состав таких молекул могут входить только стандартные 20 АО.

Всего – 6 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 2. Мутации: и целого мира мало

1. Мутация на одной из 37 позиций может дать один из 19 вариантов молекул, следовательно, всего возможно $19 \cdot 37 = 703$ варианта.
2. Теоретическим пределом числа вариантов мутаций служит общее число вариантов последовательности длиной 37 АО за вычетом исходного варианта:

$$20^{37} - 1 \approx 1,37 \cdot 10^{48}.$$

3. Объем такого числа молекул равен $V = 37 \cdot 1,37 \cdot 10^{48} \cdot 0,14 \cdot 10^{-27} = 7,12 \cdot 10^{21} \text{ м}^3$.

Тогда диаметр составляет $D = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 7,12 \cdot 10^{21}}{3,14}} = 2,39 \cdot 10^7 \text{ м} = 2,39 \cdot 10^4 \text{ км}$, что больше диаметра Земли.



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 3. Аэрогель



Аэрогелями называют класс аморфных высокопористых материалов, имеющих объемную макроструктуру с характерным размером наноструктурных элементов 4 – 10 нм и представляющих собой гель, в котором жидкая фаза полностью замещена газообразной.

1. Рассчитайте истинную плотность¹ твердой фазы ρ_x и объемную долю ω (%) воздуха в структуре аэрогеля **(2.5 балла)**, если известно, что:
 - аэрогель имеет удельную² площадь поверхности, равную $S_{уд} = 343 \text{ м}^2/\text{г}$;
 - структура твердой фазы представляет собой совокупность бесконечно длинных цилиндров радиуса $r = 2,2 \text{ нм}$;
 - кажущаяся³ плотность аэрогеля ρ_{ag} превышает плотность воздуха в $\Phi = 66$ раз.

Какой из перечисленных ниже материалов был использован для создания аэрогеля? **(0.5 балла)**

углеродное волокно	диоксид титана	диоксид кремния	оксид алюминия	воздух
1,5 г/см ³	4,23 г/см ³	2,65 г/см ³	3,95 г/см ³	1,2 мг/см ³

2. Оцените среднее расстояние между отдельными цилиндрами твердой фазы. **(2 балла)**

¹ Истинная плотность – это масса единичного объема сплошного материала без пор, полостей и включений.

² Удельная величина – это величина, отнесенная к единице массы образца.

³ Кажущаяся (средняя) плотность – это масса единичного объема материала с учетом пор, полостей и включений.

Всего – 5 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 3. Аэрогель

1.

1) По определению, удельная площадь поверхности равна

$$S_{уд} = \frac{S_x}{m} = \frac{S_x}{\rho_x V_x},$$

где S_x – площадь поверхности твердой фазы, $m = m_{ag} = m_x$ – масса аэрогеля (т.к. ρ_{ag} превышает ρ_x в 66 раз, то массой воздуха в объеме аэрогеля можно пренебречь), а V_x – объем твердой фазы.

Для бесконечно длинного цилиндра ($h \gg r$) получаем

$$S_{уд} = \frac{2\pi r^2 + 2\pi rh}{\pi r^2 h \rho_x} \approx \frac{2}{r \rho_x},$$

тогда плотность твердой фазы составляет

$$\rho_x = 2/(r S_{уд}) = 2/(2,2 \cdot 10^{-7} \cdot 343 \cdot 10^4) = \underline{2,65} \text{ г/см}^3.$$

2) Плотность $\rho_x = 2,65 \text{ г/см}^3$ соответствует диоксиду кремния.

3) Объемная доля воздуха составляет

$$\omega = \frac{V_{\text{в}}}{V_{ag}} \cdot 100\% = \frac{V_{ag} - V_x}{V_{ag}} \cdot 100\% = \frac{m/\rho_{ag} - m/\rho_x}{m/\rho_{ag}} \cdot 100\% = \frac{\rho_x - \rho_{\text{в}}}{\rho_x} \cdot 100\%,$$

$$\omega = \frac{2,65 - 0,0012}{2,65} \cdot 100\% \approx \underline{97\%}$$

2. На куб со стороной A нм в среднем приходится $\pi r^2 A$ нм² твердой фазы.

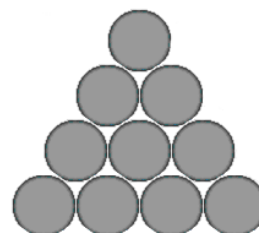
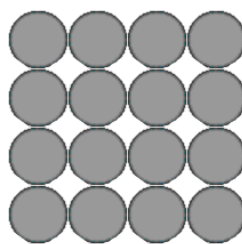
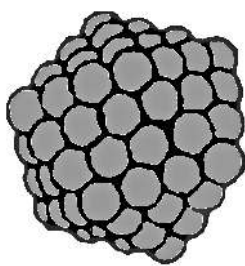
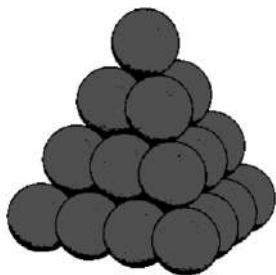
Это составляет $(1 - \omega/100)$ от его объема: $\pi r^2 A = (1 - \omega/100) A^3$.

Тогда $A = \sqrt{\pi r^2 / (1 - 0,01\omega)} = \sqrt{3,14 \cdot 2,2^2 / (1 - 0,01 \cdot 97)} \approx 22,6 \text{ нм}$ и среднее расстояние между цилиндрами $d = A - 2r = 22,6 - 2 \cdot 2,2 = \underline{18,2} \text{ нм}$.



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 4. Ребус



a
 $Td_n = (n^3 + 3n^2 + 2n)/6$

б
 $I_n = (10n^3 - 15n^2 + 11n - 3)/3$

в
 $S_n = n^2$

г
 $T_n = n(n + 1)/2$

Рис. Примеры моделей: а) тетраэдрического Td_4 , б) икосаэдрического I_4 , в) квадратного S_4 , г) треугольного T_4 нанокластеров, на ребро каждой из которых приходится $n = 4$ шарика.

Для каждой из моделей приведена общая формула зависимости числа шариков в нанокластере от n .

Три школьника получили одинаковые наборы шариков и задание: сложить из них без остатка по две двух- или трехмерные модели нанокластеров так, чтобы число шариков, приходящихся на ребро одного из них, было кратно трем. Все школьники справились с заданием, результат их работы представлен в таблице.

Школьник	Модель 1	Тип	n_1	Модель 2	Тип	n_2
1. Петя	Td_{3k}	тетраэдр	$3k$	I_{k+1}	икосаэдр	$k + 1$
2. Вася	S_{3k}	квадрат	$3k$	S_{6k-1}	квадрат	$6k - 1$
3. Коля	T_{3k}	треугольник	$3k$	T_x	треугольник	x

1. Каково общее число шариков, выданных школьникам? **(2 балла)**
2. Сколько шариков приходится на ребро большего треугольника? **(2 балла)**
3. Сколько шариков в каждой из моделей, построенных школьниками? **(2 балла)**

Всего – 6 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 4. Ребус

1. Запишем уравнение относительно k :

$$\begin{aligned} T_{d_{3k}} + I_{k+1} &= S_{3k} + S_{6k-1} \\ ((3k)^3 + 3(3k)^2 + 2(3k))/6 + (10(k+1)^3 - 15(k+1)^2 + 11(k+1) - 3)/3 &= (3k)^2 + (6k-1)^2 \\ 47k^3 - 213k^2 + 100k &= 0 \end{aligned}$$

Поскольку $k \neq 0$, то $47k^2 - 213k + 100 = 0$ и $D = 26569$, $k = 4$.

Тогда число шариков в наборе $(3 \cdot 4)^2 + (6 \cdot 4 - 1)^2 = 673$.

Поскольку все три набора одинаковы, то всего шариков $673 \cdot 3 = \underline{2019}$.

2. $T_x = 673 - T_{12} = 673 - 78 = 595$.

В то же время $T_x = x(x+1)/2$

$$\begin{aligned} x^2 + x - 1190 &= 0 \\ D &= 4761, x = 34. \end{aligned}$$

Так как $34 > 12$, ответом на вопрос будет: 34.

3. $T_{d_{12}} = \underline{364}$, $I_5 = \underline{309}$, $S_{12} = \underline{144}$, $S_{23} = \underline{529}$, $T_{12} = \underline{78}$, $T_{34} = \underline{595}$.



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 5. Поиск наномотивов в ДНК *E. Coli*

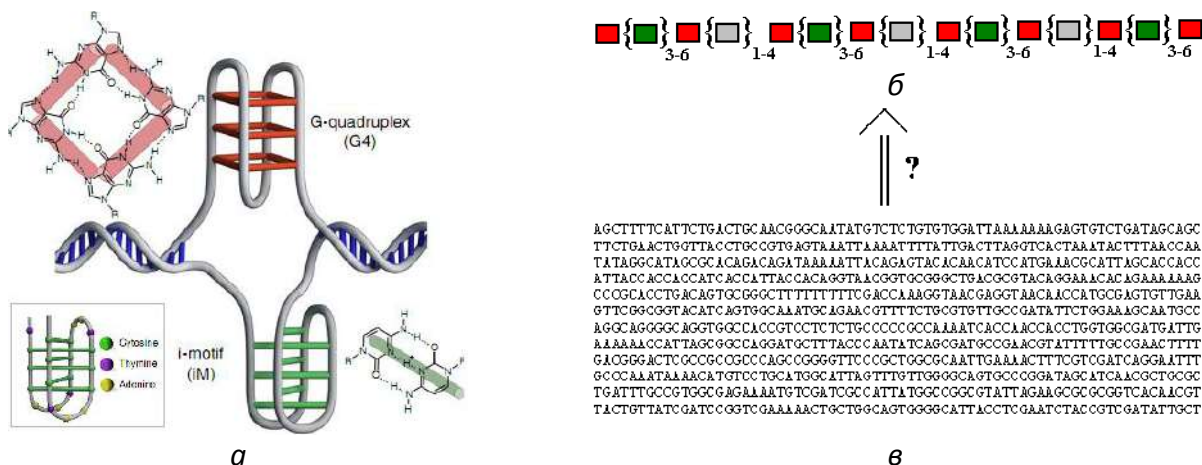


Рис. 1. а) Наномотивы – неканонические фрагменты структуры ДНК (пояснения см. в тексте задачи). б) Общий шаблон последовательности, отвечающей наномотивам в тексте генома. Здесь: зеленый квадрат отвечает букве **G** для **G**-квадруплексов и **C** для **i**-мотивов, красный квадрат – любой букве кроме **G** и **C**, соответственно, серый – любой из четырех букв. в) Начало файла² генома штамма K-12 *E. Coli*, открытого в текстовом редакторе.

Единичные нити ДНК¹ с определенным расположением гуанина **G**, способны самопроизвольно сворачиваться в четырехцепочечные спирали – **G-квадруплексы** (рис. 1а), которые обладают повышенной устойчивостью. При этом четыре нуклеотида **G** из разных цепей образуют плоскую структуру, называемую **G-квартетом**. В свою очередь, комплементарные¹ им цепочки, богатые цитозином **C**, также могут образовывать трехмерные ДНК-структуры – **i-мотивы** (*i-motif*), в которых нуклеотиды **C** соединены попарно, как показано на рисунке 1а. В начале 2018 года ученым удалось не только впервые зафиксировать **i-мотивы in vivo**, но и исследовать их функции в ядре человеческой клетки. Оказалось, что оба типа структурных наномотивов выполняют регуляторную функцию (входят в состав теломеров и промоторов) и широко представлены во всех известных геномах.

Напишите программу (на любом языке программирования), которая позволит найти, сколько всего **G-квадруплексов** и **i-мотивов**, соответствующих шаблону (рис. 1б), находится в тексте генома² *E. Coli* (рис. 1в). В ответе приведите исходный код программы, а также сами нуклеотидные последовательности и позиции их начала (номер по порядку в геноме) для каждого найденного наномотива.

Подсказка: в программе для упрощения процедуры поиска наномотивов можно использовать регулярные выражения.

¹ Наследственная информация в молекуле ДНК хранится в виде текста, записанного всего четырьмя буквами – **A, G, T, C**. Каждой букве из одной ДНК цепочки соответствует строго определенная (комплементарная: **A** напротив **T**, **C** напротив **G**, а также наоборот) буква второй цепочки. Поэтому для описания генома достаточно записать буквами только одну из

них, что и сделано в скачиваемом вами файле, поэтому число пар оснований равно числу символов нуклеотидов в этом файле.

² Бактерия *E. Coli* (кишечная палочка) является одним из удобных модельных организмов в биологии, а геном ее лабораторного штамма K-12 был расшифрован одним из первых. Для выполнения этого задания сохраните по указанной ссылке с сайта олимпиады <http://enanos.nanometer.ru/uploads/archive/ecoli.zip> архив файла (~1.3 Мб) генома штамма K-12 *E. Coli*, который состоит из одной непрерывной строки, содержащей только буквы **A, G, T, C**.

Всего – 8 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 5. Поиск наномотивов в ДНК *E. Coli*

Алгоритм поиска: проходим по всему файлу скользящим окном, в котором содержится 44 нуклеотида, внутри которого ищем **G-квадруплексы** и **i-мотивы** по указанному шаблону.

Текст программы (на *PascalABC Net*):

```
var
  f: Text;
  str, regC, regG: String;
  char: Char;
  len, n, nPos: Longint;

begin
  len := 44; {размер "скользящего окна", максимальная длина последовательности рис. 1б условия}

  {шаблон поиска для i-мотива*}
  regC := '^[^C]C{3,7}[^C].{1,4}[^C]C{3,7}[^C].{1,4}[^C]C{3,7}[^C].{1,4}[^C]C{3,7}[^C]';
  {шаблон поиска для G-квадруплекса}
  regG := '^[^G]G{3,7}[^G].{1,4}[^G]G{3,7}[^G].{1,4}[^G]G{3,7}[^G].{1,4}[^G]G{3,7}[^G]';

  {посимвольное чтение файла}
  Assign(f, 'ecoli.txt');
  Reset(f);
  while (not Eof(f)) do {пока не достигнут конец файла}
  begin
    Read(f, char);
    n := n + 1; {счетчик прочитанных нуклеотидов}
    str := str + char; {добавляем прочитанный нуклеотид в строку}
    if n >= len then
    begin
      nPos := n - len; {позиция первого символа последовательности str}
      if (length(str.MatchValue(regC, RegexOptions.None)) > 0) then
        writeln('C: ', nPos, ' ', str.MatchValue(regC, RegexOptions.None));
      if (length(str.MatchValue(regG, RegexOptions.None)) > 0) then
        writeln('G: ', nPos, ' ', str.MatchValue(regG, RegexOptions.None));
      str := copy(str, 2, length(str)); {отбрасываем первый символ str, чтобы начало строки на следующем шаге приходилось на следующий нуклеотид}
    end;
  end;
end.
```

* Пояснение к шаблону поиска на примере i-мотивов:

- ^ в начале строки шаблона означает, что начало шаблона должно совпадать с началом строки, по которой будет вестись поиск;
- [^C] – любой символ кроме «C»;
- C{3,7} – от 3 до 7 символов «C» подряд;
- .{1,4} – от 1 до 4 любых символов.

Всего найдено 11 **G-квадруплексов** и 12 **i-мотивов**:

G: 53224	AGGGGAGTTGGGGGAATAAGGGCGGAGGGT
C: 164596	ACCCTCACCTAACCCTCTCCCT
G: 171663	TGGGCGCGGGTCTGGGGCTGGTGGGC
G: 388675	TGGGGAGAGGGTTAGGGTGAGGGGGC
C: 425039	GCCCGAATCCCTGATTGCCCACTATCCCA

G: 497854 CGGGGAGAGGGTTAGGGTGAGGGGA
 G: 624590 TGGGGAGAGGGTTAGGGTGAGGGGA
 C: 632040 GCCCAGGGTTCCTCTCACCCCTAACCT
 C: 632049 TCCCTCTCACCCCTAACCTCTCCCCG
 C: 1351202 TCCCCTCACCCCTAACCTCTCCCCA
 C: 3046050 TCCCCTCACCCCTAACCTCTCCCCA
 C: 3239660 TCCCCTCACCCCTAACCTCTCCCCA
 C: 3390492 TCCCCTCACCCCTAACCTCACCCCA
 C: 3504855 TCCCCTCACCCCTAACCTCTCCCCA
 G: 3592474 TGGGTGAGGGAAAATGGGAGATGGGGC
 G: 3608695 TGGGGAGAGGGTTAGGGTGAGGGGA
 C: 3695942 TCCCCACGCCTCCCCGCACCCCTGCTATCCCA
 C: 3781025 GCCCCCTCACCCCTAACCTCTCCCT
 G: 3908506 TGGGGAGAGGGTTAGGGTGAGGGGA
 G: 4070463 TGGGGAGAGGGTTAGGGAGAGGGGA
 G: 4231285 CGGGAAAAGGGTTAGGGTGAGGGGA
 G: 4314296 TGGGGAGAGGGTTAGGGTGAGGGGGC
 C: 4549846 TCCCCTCACCCCTAACCTCTCCCCG

Любопытно, что среди найденных наномотивов много одинаковых или близких последовательностей, что может свидетельствовать об их важной роли в жизнедеятельности клетки.



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 6. Нетипичный симметричный фуллерен

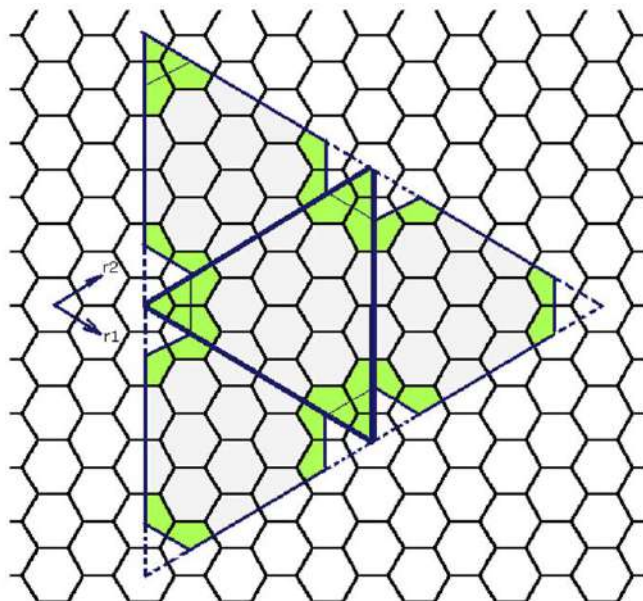


Рис. 1. Пример развертки одного из типов симметричных неикосаэдрических фуллеренов C_N на графеновой плоскости (здесь N – число атомов в молекуле). Пятиугольники на развертке залиты зеленым цветом. На рис. также приведены единичные вектора r_1 и r_2 , задающие косоугольную систему координат.

Рассмотрим развертку некоторого типа симметричных фуллеренов, все пятиугольники в котором разбиты на группы по три, имеющие одну общую вершину. При этом края развертки перпендикулярны связям С–С (рис. 1).

1. Рассчитайте величину N для фуллерена, представленного на рисунке 1. **(1.5 балла)**
2. Симметрией какого многогранника обладает такой тип фуллеренов? **(1.5 балла)**
3. Какое минимальное число целочисленных параметров задает развертку фуллерена такого типа в косоугольной системе координат? **(2 балла)**
4. В общем виде выведите зависимость числа атомов N фуллерене рассматриваемого типа от параметров, задающих его развертку. Опишите первые три члена полученного ряда. **(5 баллов)**

Всего – 10 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 6. Нетипичный симметричный фуллерен

1. Число атомов углерода в фуллерене (рис. 1 условия) составляет $N = 4$ (входят в «малые» треугольники, образованные группами из трех пятиугольников) + $4 \cdot 22$ (входят в усеченные треугольники, полученные отсечением «малых» треугольников от «больших») = 92.
2. Тетраэдрическая симметрия (четыре группы по три пятиугольника располагаются в вершинах тетраэдра, по два пятиугольника приходится на каждое ребро тетраэдра).
3. Чтобы задать развертку такого фуллерена в косоугольных координатах, необходимо определить координаты одной из сторон «большого» треугольника.

Для фуллерена, представленного на рис. 1. условия, координаты стороны «большого» треугольника равны $(5, 0)$. Следовательно, чтобы задать такой тип симметричных фуллеренов, необходим всего один параметр, и общий вид координат можно записать как $(n, 0)$.

4. «Большой» треугольник со стороной $(n, 0)$ имеет площадь $S_R = 0,5(Ra\sqrt{3})^2 \sin 60^\circ$, где $R = \sqrt{n^2} = n$ – длина стороны такого треугольника в косоугольной системе координат, a – длина С-С связи.

В свою очередь, один атом углерода в графене приходится на площадь, равную

$$S_C = 0,5(a\sqrt{3})^2 \sin 60^\circ.$$

Развертка тетраэдра, задаваемая координатами $(n, 0)$, избыточна, поскольку в этом случае каждый из общих для тройки пятиугольников атомов мы задаем трижды. Следовательно, при расчете общего числа атомов в фуллерене необходимо исключить 8 из 12 таких атомов:

$$N = \frac{4S_R}{S_C} - 8 = 4R^2 - 8 = 4n^2 - 8.$$

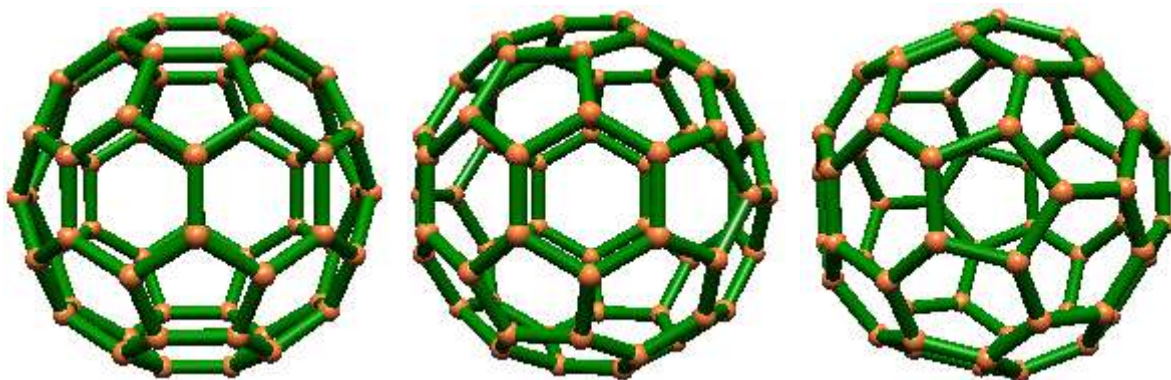
Проверка: $N_{(5,0)} = 4 \cdot 25 - 8 = \underline{92}$.

Минимальным при рассматриваемом способе задания будет фуллерен $(3, 0)$ с общим числом атомов $N_{(3,0)} = 28$ (т.к. фуллерены с $N_{(1,0)} = -4$ и $N_{(2,0)} = 8$ не существуют). Его можно получить, если в додекаэдр C_{20} симметрично добавить 4 шестиугольника. Еще два члена ряда – это $N_{(4,0)} = 56$ и $N_{(5,0)} = 92$.



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 7. Симметрия и изомеры



1. Форму какого многогранника имеет фуллерен C_{60} (бакибол)? Сколько у этого многогранника ребер, сколько и каких граней? **(1 балл)**

Про молекулу говорят, что она имеет поворотную ось симметрии n -го порядка ($n > 1$), если при повороте на угол, кратный $360^\circ/n$, молекула совпадает сама с собой.

2. Определите, какие поворотные оси и в каком количестве содержит молекула бакибола. Поясните, как они расположены в ней относительно вершин, ребер и граней многогранника. **(3 балла)**

Симметрия молекулы помогает определить количество возможных геометрических изомеров (таких молекул одинакового состава, которые не переводятся друг в друга никакими поворотами в пространстве).

3. Найдите количество изомеров частицы, образующейся при хлорировании бакибола C_{60} если в ней:
 - а) атом хлора расположен над одной из вершин бакибола; **(0.5 балла)**
 - б) два атома хлора расположены над атомами углерода, принадлежащими одному из ребер бакибола; **(1 балл)**
 - в) два атома хлора расположены над атомами углерода, принадлежащими одной из граней бакибола. Рассмотрите все возможные расположения атомов хлора на одной грани, и поясните, какие из них являются изомерными, а какие переходят (объясните, как) друг в друга при различных поворотах вокруг осей симметрии. **(3.5 балла)**

Ответы поясните или проиллюстрируйте рисунками. При решении можно использовать футбольный мяч как модель бакибола.

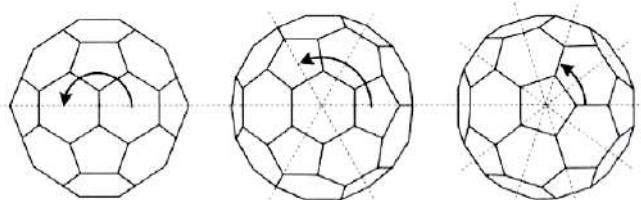
Всего – 9 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 7. Симметрия и изомеры

1. Бакибол C_{60} : усеченный икосаэдр, 90 ребер, 32 грани (12 пятиугольников, 20 шестиугольников).
2. Бакибол содержит поворотные оси 2-го, 3-го и 5-го порядков.

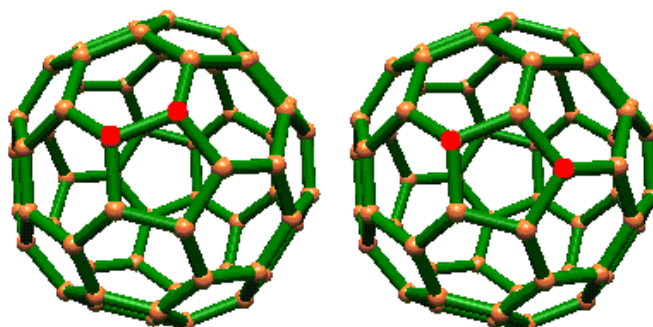


Ось второго порядка лежит на ребре, соединяющем вершины двух пятиугольников, таких ребер будет $12 \cdot 5 / 2 = 30$; ось проходит одновременно через два противоположных ребра, следовательно, осей второго порядка будет $30 / 2 = 15$.

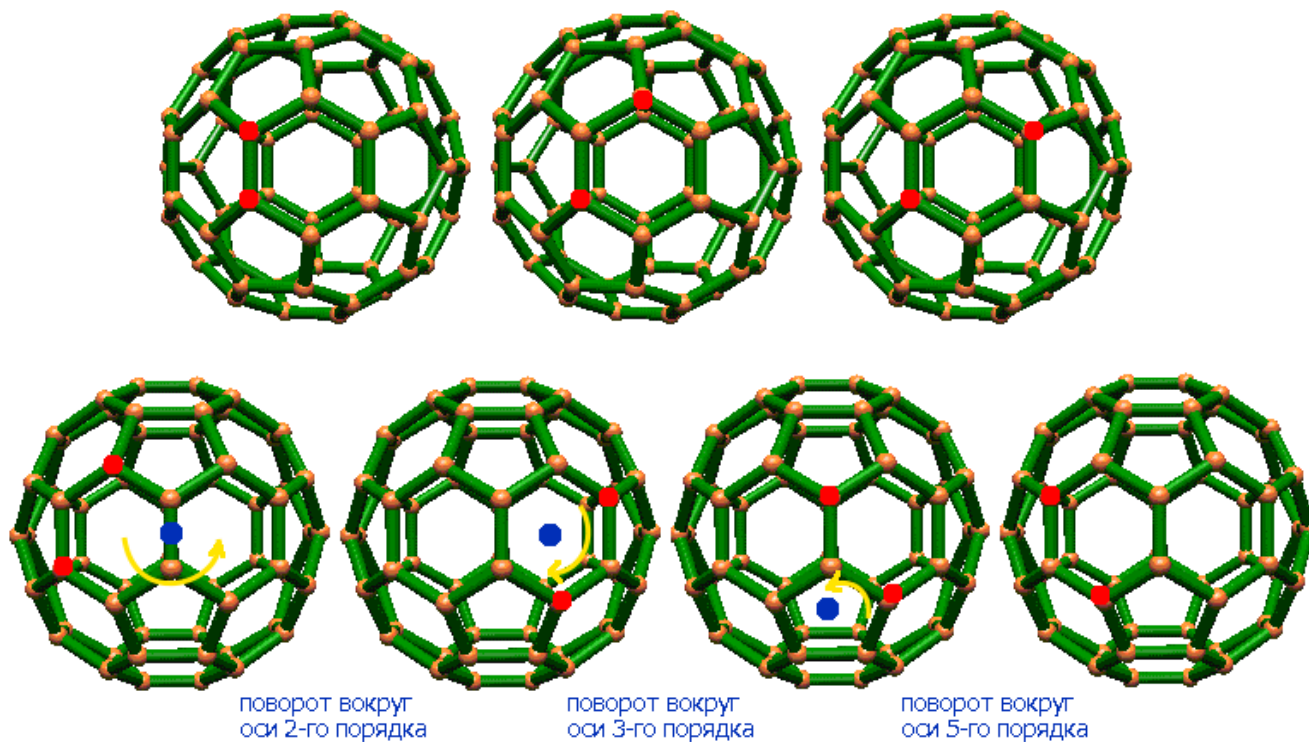
Оси 3-го порядка проходят через центры противоположных шестиугольников, поэтому таких осей будет $20 / 2 = 10$.

Оси 5-го порядка проходят через центры противоположных пятиугольников, поэтому их будет $12 / 5 = 6$.

3.
 - а) Все атомы углерода в бакиболе, как несложно убедиться, эквивалентны (переводятся друг в друга при вращении вокруг поворотных осей симметрии), поэтому, существует только один изомер, в котором атом хлора находится над атомом углерода бакибола.
 - б) Аналогично, все ребра пятиугольников эквивалентны. Однако у шестиугольников есть два типа ребер – принадлежащих пятиугольнику, и принадлежащий другому шестиугольнику. Поэтому для такой частицы будет два изомера – по одному для каждого типа ребер.
 - в) Для пятиугольной грани возможны всего два удовлетворяющих условию расположения «меченых» хлором атомов: 1) на одном ребре (как пункт б) и 2) через 1 атом, все остальные переводятся в эти два типа поворотом вокруг оси 5-го порядка:



Для шестиугольной грани возможны три удовлетворяющих условию расположения «меченых» хлором атомов: 1) на одном ребре (как пункт б), 2) через атом и 3) через два атома (напротив друг друга). Остальные расположения атомов переводятся либо в первый или третий тип поворотом вокруг оси 3-го порядка, либо во второй тип – комбинацией поворотов вокруг осей 2-го, 3-го и 5-го порядка.





Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 8. Вот, новый поворот

Несколько лет назад в семействе углеродных материалов появилась новинка – двухслойный графен¹, свойства которого, прежде всего, электронные, отличны как от графена, так и от многослойного графита. Значительная часть этих свойств определяется взаимным расположением атомов углерода двух слоев друг относительно друга. Самым интересным является так называемый повернутый графен, в котором слои повернуты друг относительно друга на некоторый произвольный угол ($0^\circ < \theta < 30^\circ$). В этом случае наблюдаются периодические структуры с шагом, превышающим период графенового листа (рис. 1), так называемый муаровый узор (периодический узор, возникающий как результат интерференции при наложении двух периодических сетчатых рисунков).

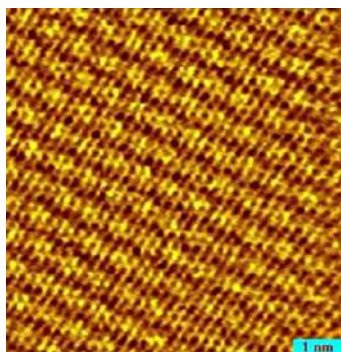
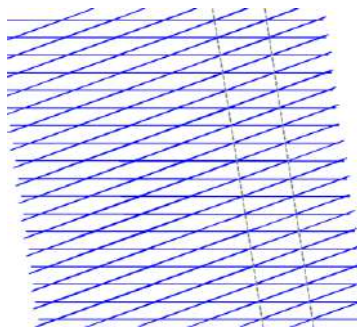
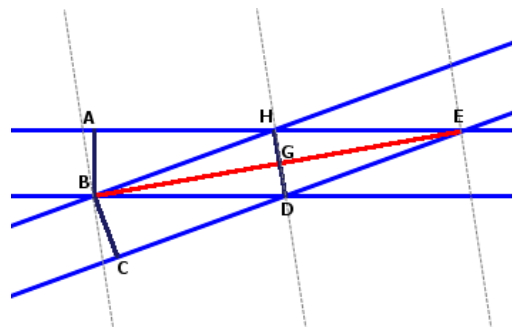


Рис. 1



а



б

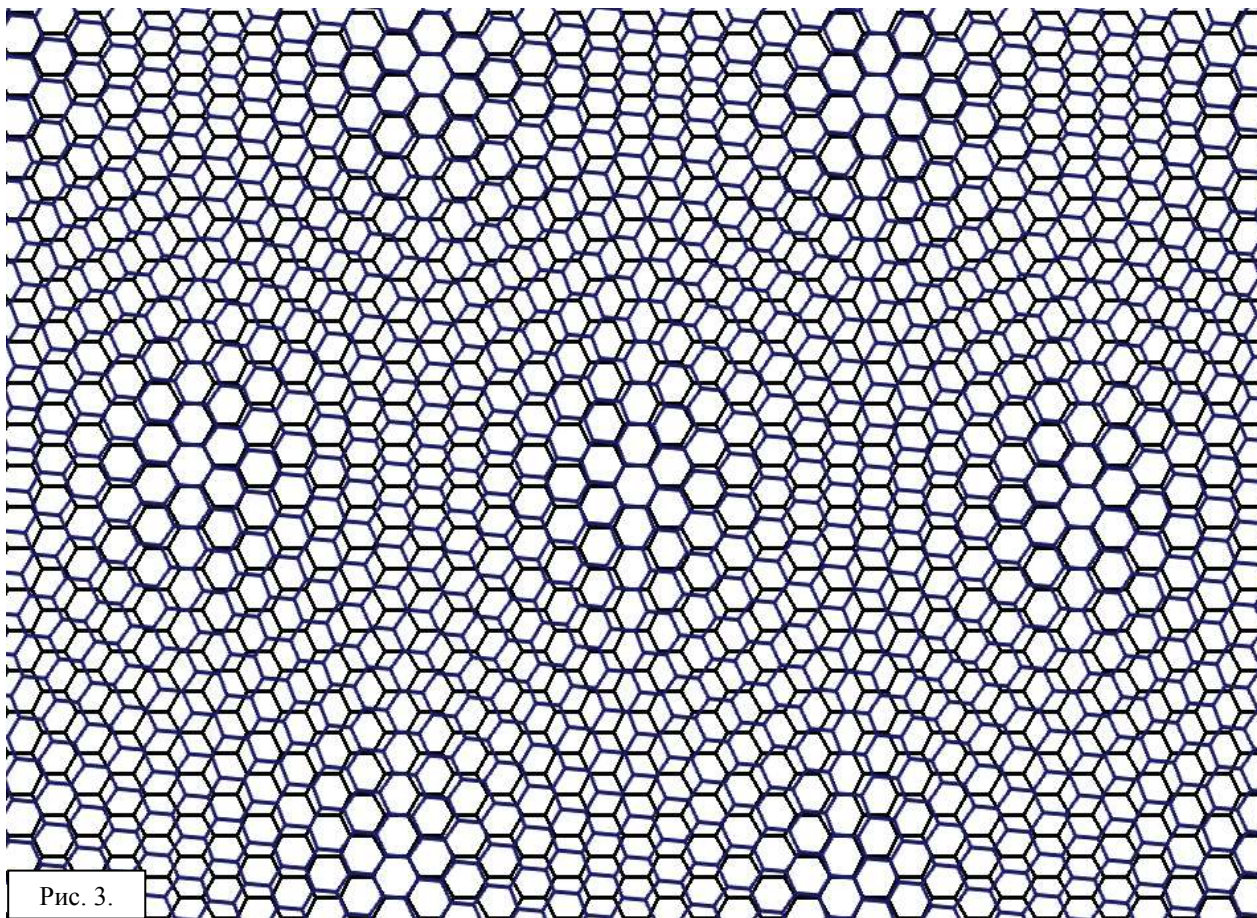
Рис. 2. Простейший муаровый узор (а) возникает при пересечении двух систем равноудаленных параллельных линий (б, пары линий AE , BD и BH , CE), повернутых друг относительно друга на некоторый угол $\theta = \angle HBD$. Если посмотреть на такой узор (а) издали, то можно увидеть чередование более темных и более светлых полос (отмечены пунктиром). Минимальное расстояние между светлыми полосами (шаг повтора муарового узора) составляет $BG = L$.

1. Выведите общий вид зависимости $L(\theta)$ для простейшего муарового узора (рис. 2), если расстояние между параллельными линиями составляет $AB = BC = d$. (3 балла)

Рассмотрим пример (рис. 3) наложения двух графеновых сеток¹, одна из которых повернута относительно другой так, что ось вращения лежит по центру одного из шестиугольников.

2. Отметьте на рисунке 3 предполагаемую ось вращения, а также точки, в которых муаровый узор идентичен первой отметке. Проведя необходимые геометрические построения, определите индексы хиральности $(n, m)^2$ для кратчайшего отрезка, соединяющего пару отмеченных точек относительно первой (черной) и второй (синей) сетки шестиугольников. (2 балла)

3. Основываясь на полученных величинах (n , m), рассчитайте угол θ между осями координат двух графеновых сеток и длину отмеченного отрезка L (в нм). **(4.5 балла)**
Атомы углерода считать точечными, длину связи C–C равной $a = 0,14$ нм.



4. Исходя из найденных величин (L , θ для рис. 3), по формуле, выведенной в п. 1, рассчитайте величину d для графена. Какому из параметров шестиугольной графеновой сетки (сторона шестиугольника, его малая или большая диагональ) соответствует полученное значение? **(1.5 балла)**

В условиях эксперимента определить индексы хиральности, как правило, невозможно. В то же время, современные спектроскопические методы позволяют достаточно точно измерить шаг повтора муарового узора L . Муаровый узор для повернутого двухслойного графена можно наблюдать, например, при помощи сканирующего туннельного микроскопа (СТМ).

5. Оцените величины угла θ для четырех образцов, представленных на рис. 4. **(6 баллов)**

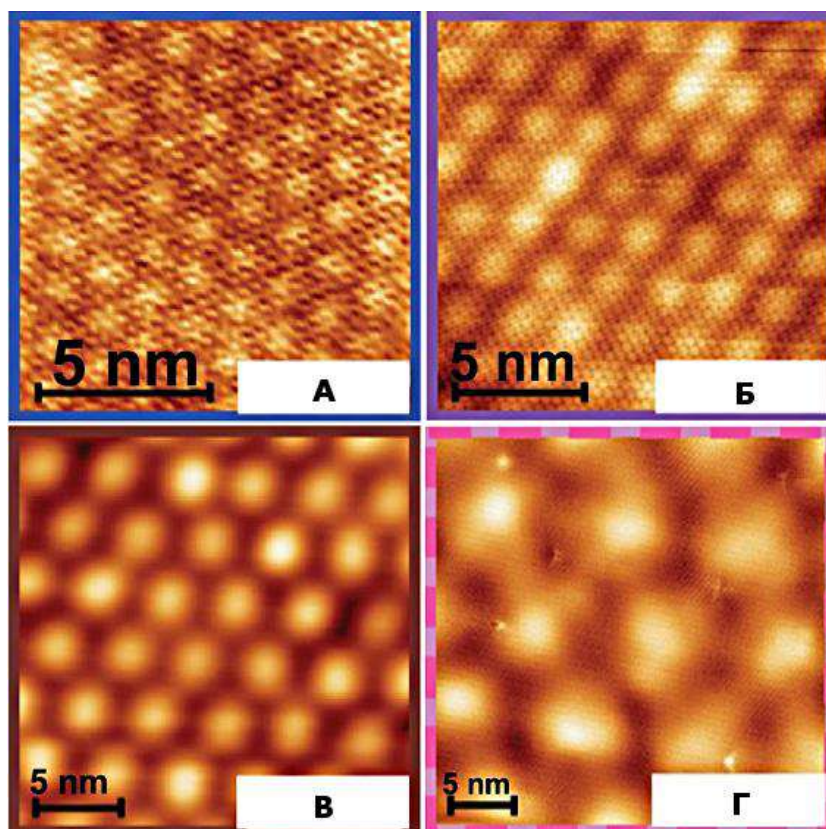


Рис. 4. СТМ-изображения четырех образцов двухслойного повернутого графена.

¹ Графен – слой атомов углерода толщиной в один атом, соединенных в гексагональную двумерную решетку (рис. 5). Можно представить как одну плоскость графита, отделенную от объемного кристалла.

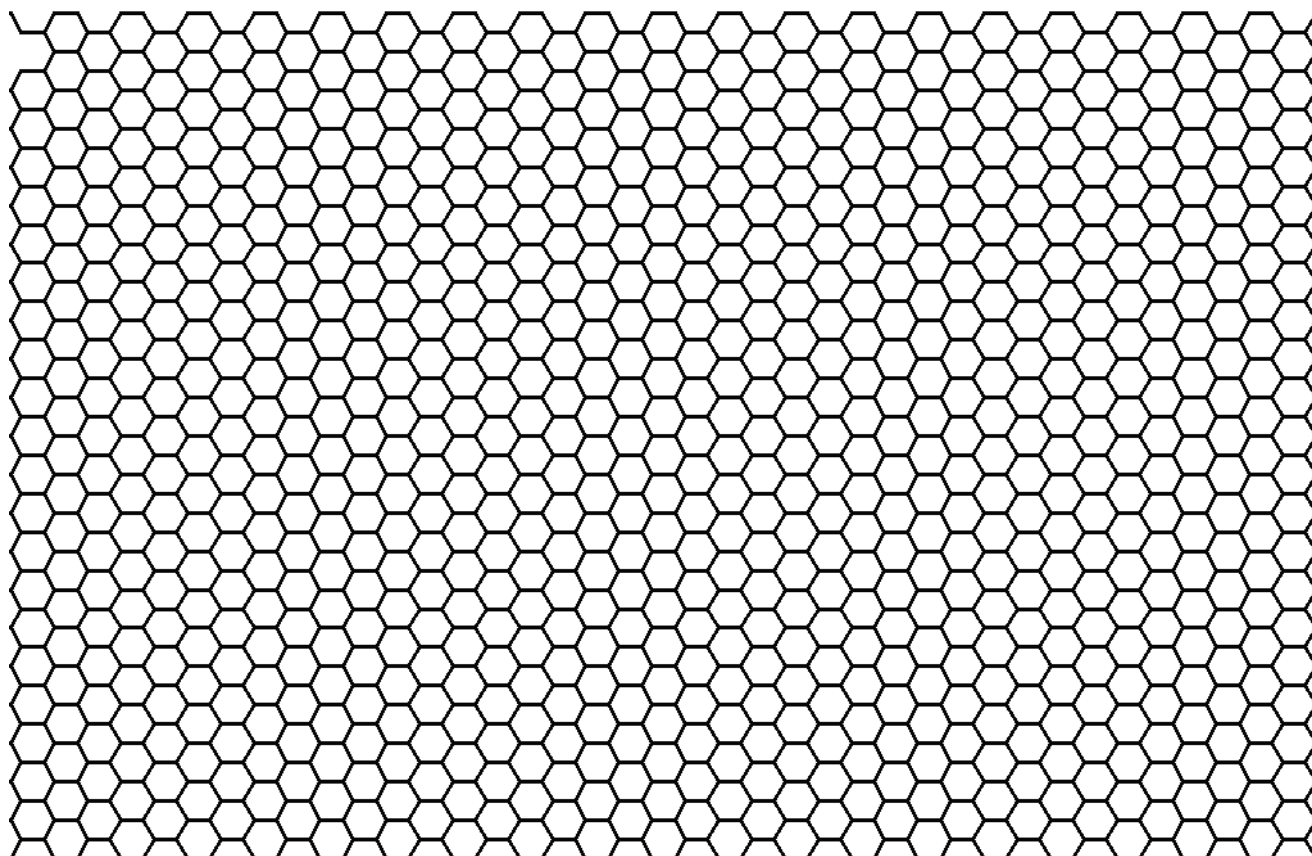


Рис. 5. Вспомогательный материал. Схема сетки шестиугольников листа графена.

² Рис. 6.

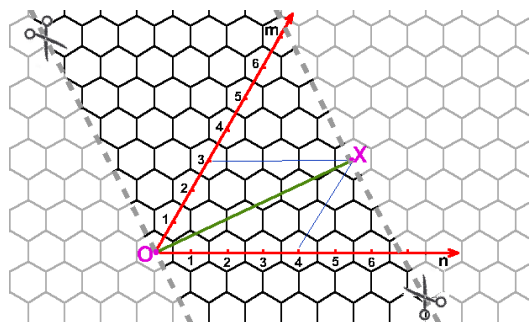


Рис. 6. Пример развертки УНТ (4,3).

Любую пару шестиугольников на графеновом листе можно описать парой натуральных чисел (n, m) , являющихся координатами центра одного из них относительно центра другого в косоугольной системе координат. Такая пара чисел носит название *индексов хиральности* и может, например, задавать ширину развертки углеродной нанотрубки.

Всего – 17 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 8. Вот, новый поворот

1. В прямоугольном треугольнике $\triangle HBG$ (рис. 2 условия) катет $BG = BH \cdot \cos(\angle HBD/2) = BH \cdot \cos(\theta/2)$. В свою очередь, в прямоугольном треугольнике $\triangle ABH$ гипотенуза $BH = AB / \cos(\angle ABH) = AB / \cos(90^\circ - \angle HBD) = AB / \sin(\angle HBD) = d / \sin(\theta)$.

Тогда $L = BG = d \cos(\theta/2) / \sin(\theta) = d / (2 \sin(\theta/2))$.

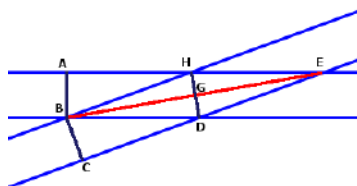


Рис. 2 условия.

2. Искомые точки являются центрами шестиугольников (отмечены ярко-синим, рис. 1). Соединим попарно некоторые из отмеченных точек.

Индексы хиральности для одного из отрезков, определенные относительно первого (черная сетка шестиугольников, оранжевые оси координат) и второго (синяя сетка шестиугольников, салатные оси координат) слоев отличаются с точностью до перестановки: (7,6) и (6,7).

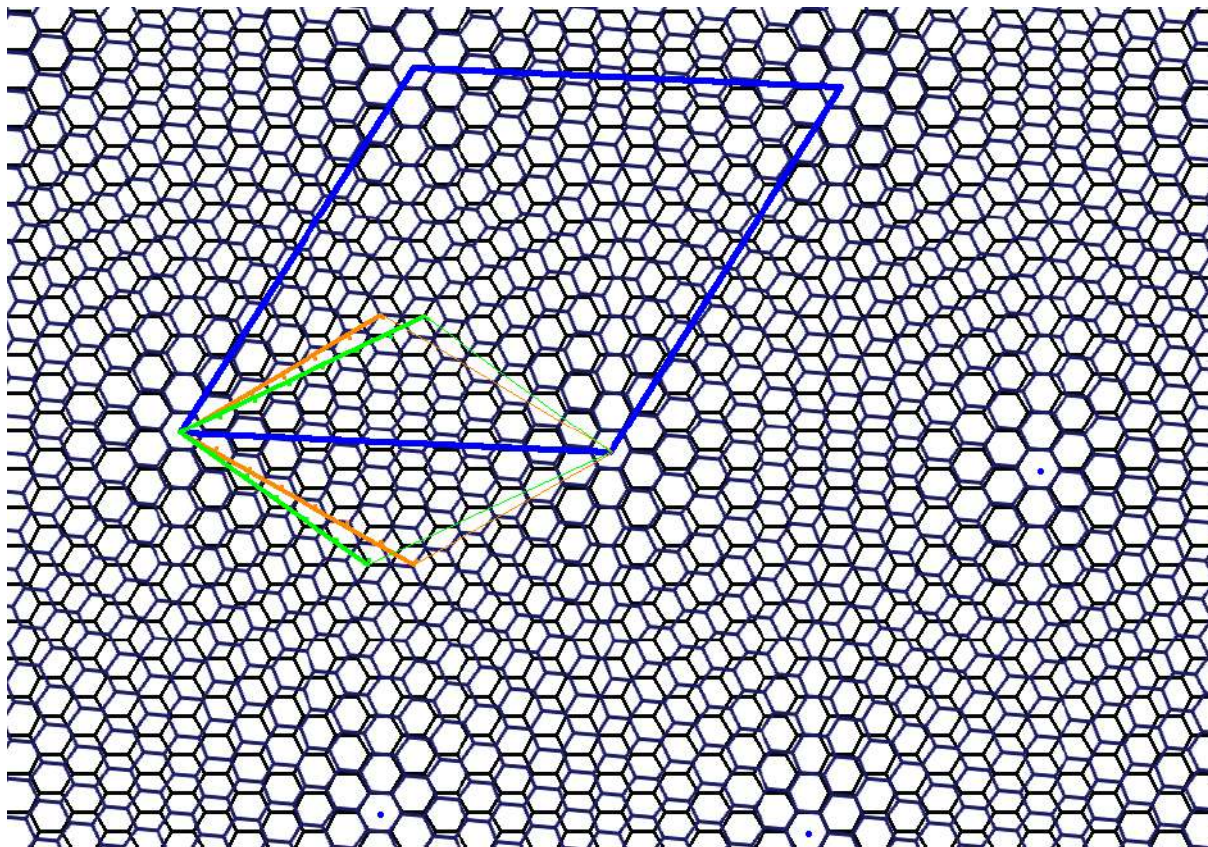


Рис. 1.

3. Найдем искомую длину, воспользовавшись теоремой косинусов для $\triangle ABC$:

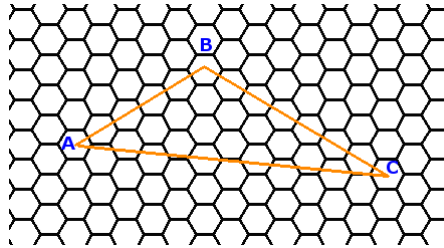


Рис. 2

$$L = AC = \sqrt{(na\sqrt{3})^2 + (ma\sqrt{3})^2 - 2ma\sqrt{3}na\sqrt{3}\cos 120^\circ} = a\sqrt{3}\sqrt{n^2 + m^2 - 2nm(-0,5)}$$

(так как $AB = ma\sqrt{3}$, $BC = na\sqrt{3}$, $\angle ABC = 120^\circ$).

$L = a\sqrt{3}\sqrt{n^2 + nm + m^2} = a\sqrt{3}N$ – то есть, как и следует из рисунка 1, длина не зависит от выбора системы координат, поскольку индексы совпадают с точностью до перестановки.

$$L = 0,14\sqrt{3}\sqrt{6^2 + 6 \cdot 7 + 7^2} = 2,73 \text{ нм.}$$

Заметим, что искомый угол (рис. 1, угол между оранжевой и светло-зеленой осями координат) равен разности углов при индексе 6 и при индексе 7:

$$\theta = \angle BAC - \angle BCA = \alpha - \beta.$$

Запишем теорему косинусов для обоих углов:

$$(a\sqrt{3}m)^2 = (a\sqrt{3}n)^2 + (a\sqrt{3}N)^2 - 2Na\sqrt{3}na\sqrt{3}\cos \alpha$$

$$\text{или } \cos \alpha = \frac{N^2 + n^2 - m^2}{2Nn} = \frac{2n + m}{2\sqrt{n^2 + nm + m^2}}$$

$$(a\sqrt{3}n)^2 = (a\sqrt{3}m)^2 + (a\sqrt{3}N)^2 - 2Na\sqrt{3}ma\sqrt{3}\cos \beta$$

$$\text{или } \cos \beta = \frac{N^2 + m^2 - n^2}{2Nm} = \frac{2m + n}{2\sqrt{n^2 + nm + m^2}}$$

Тогда

$$\theta = \arccos\left(\frac{2n + m}{2\sqrt{n^2 + nm + m^2}}\right) - \arccos\left(\frac{2m + n}{2\sqrt{n^2 + nm + m^2}}\right)$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{2 \cdot 7 + 6}{2\sqrt{7^2 + 7 \cdot 6 + 6^2}}\right) - \arccos\left(\frac{2 \cdot 6 + 7}{2\sqrt{7^2 + 7 \cdot 6 + 6^2}}\right) \approx 5,1^\circ.$$

4. Ранее мы установили, что $L = d/(2\sin(\theta/2))$.

Тогда $d = 2D\sin(\theta/2) = 2 \cdot 2,73\sin(2,55^\circ) = 0,24$ нм, что соответствует кратчайшему расстоянию между центрами соседних шестиугольников (рис. 3), то есть, длине малой диагонали шестиугольника: $0,24 = 0,14\sqrt{3} = a\sqrt{3} = d$.

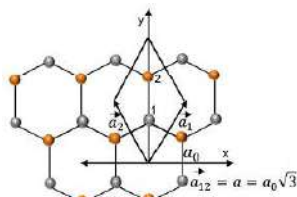
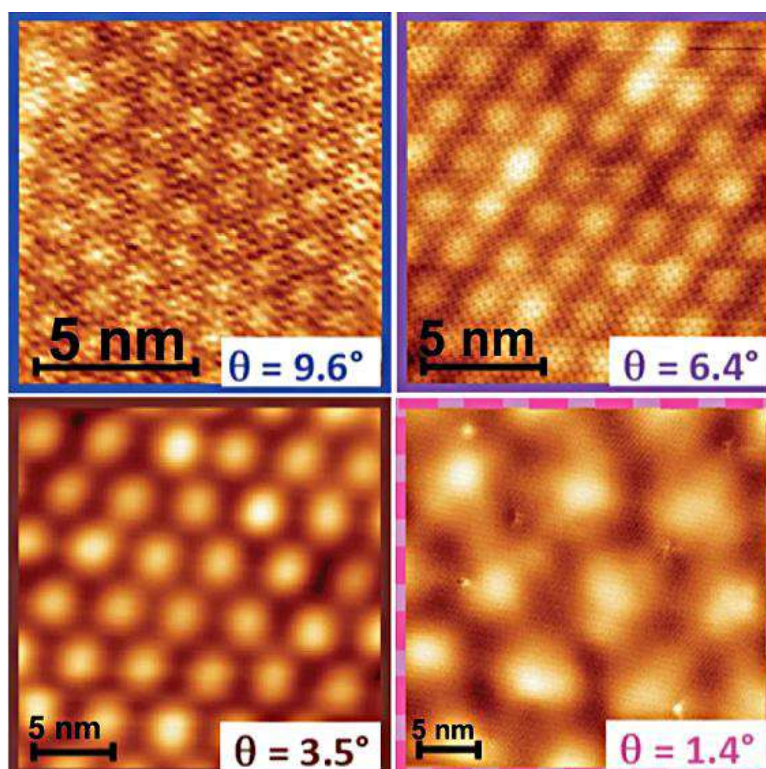


Рис. 3.

5. Для уменьшения погрешности вычислений проведем по три измерения L_N для каждого из образцов (в пикселях (пкс), при помощи графического редактора). Каждое измерение – между центрами светлых областей, разделенных N шагами.

	бар 5 нм, пкс	L_N , пкс	N	L, пкс	L ср, пкс	L, нм	θ , рад	θ , градусы	
А	122	211	6	35,17	35,12	1,44	0,168	9,63	9,6
		277	8	34,63					
		249	7	35,57					
Б	93	236	6	39,33	39,71	2,13	0,114	6,53	6,4
		200	5	40					
		199	5	39,8					
В	63	240	5	48	47,95	3,81	0,0636	3,64	3,5
		238	5	47,6					
		193	4	48,25					
Г	48	164	2	82	83,17	8,66	0,0280	1,60	1,4
		167	2	83,5					
		168	2	84					





Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 9. Медно-фосфорные каркасы

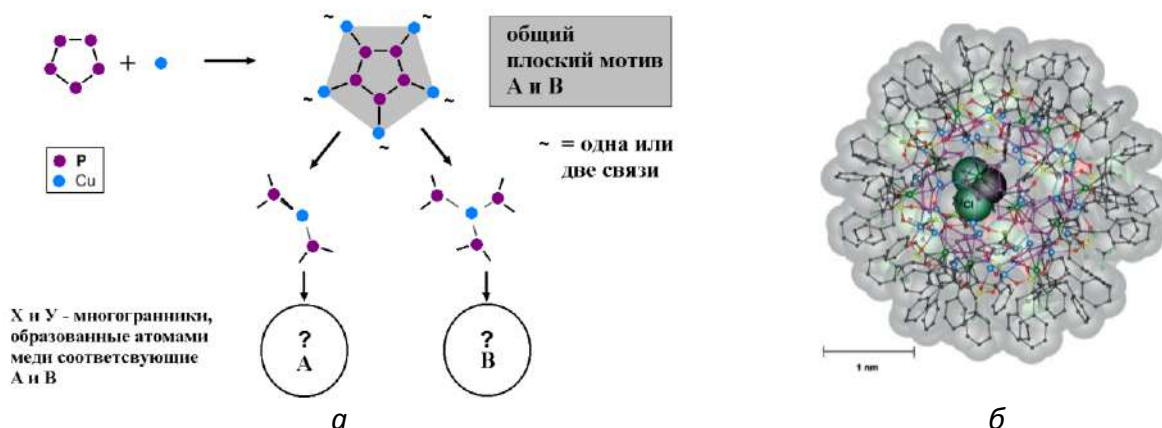


Рис. 1. а) Схема образования связей между фосфорными пятиугольниками P_5 и атомами меди Cu в каркасах **A** и **B**: каждый атом фосфора связан с 2 атомами фосфора и одним атомом меди, каждый атом меди связан с двумя (**A**) или тремя (**B**) атомами фосфора. б) Пример модели реальной супрамолекулы, основанной на таком (п. а) медно-фосфорном каркасе. В ее внутренней полости находится молекула-гость. Такие каркасные молекулы могут использоваться для хранения и доставки лекарств.

Комбинирование пятиугольных фосфорных фрагментов P_5 с атомами меди Cu (рис. 1а) позволяет получить два типа медно-фосфорных каркасов P_nCu_m – **A** и **B**.

1. Для каждого из каркасов (**7 баллов**):

- установите соотношение атомов $n:m$;
- сколько атомов меди и фосфора содержат медно-фосфорные циклы (самые короткие замкнутые цепочки связей, содержащие медь и фосфор)?
- найдите n и m , основываясь на указанных способах объединения общего плоского мотива в составе структур каркасов и используя теорему¹ Эйлера для выпуклых многогранников;
- сколько медно-фосфорных циклов содержится в каркасе?
- в вершинах каких многогранников лежат центры пятиугольников P_5 ?

Каркасам **A** и **B** можно сопоставить многогранники **X** и **Y**, вершинами которых являются только атомы меди таких супрамолекул.

2. Установите структуры **X** и **Y** (**2 балла**):

- сколько и каких граней они содержат?
- как называются эти многогранники?

3. Для многогранника **X** можно выделить плоскости, проходящие через его центр, которые содержат более двух его вершин (**2 балла**):

- сколько вершин лежит в каждой такой плоскости?
- какую плоскую геометрическую фигуру при этом образуют эти вершины?
- сколько таких фигур можно выделить в **X**?

4. Рассчитайте размеры многогранников **X** и **Y** как диаметры описанных вокруг них сфер, если радиус атома меди составляет 0,124 нм, радиус атома фосфора 0,109 нм. **(3 балла)** Для **Y** можно воспользоваться справочной формулой.
5. При сборке каркаса **A** также был получен каркас **A'**, отличающийся от **A** тем, что часть вершин многогранника **X** вакантны – в них отсутствуют атомы меди **(3 балла)**:
- а) опишите все возможные при этом варианты расположения вакансий, если известно, что каркас **A'** обладает осью симметрии пятого порядка, а его состав совпадает с составом **B**;
 - б) какие из этих структур могут соответствовать реальной молекуле? Поясните.

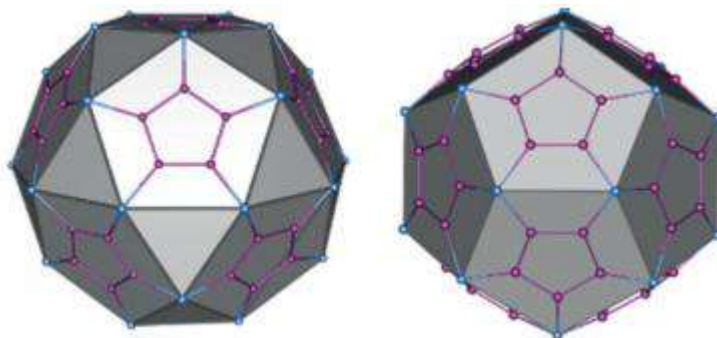
¹ Теорема Эйлера для выпуклого многогранника: $V - E + F = 2$, где **V**, **E**, **F** – это, соответственно, число вершин, ребер и граней.

Всего – 17 баллов

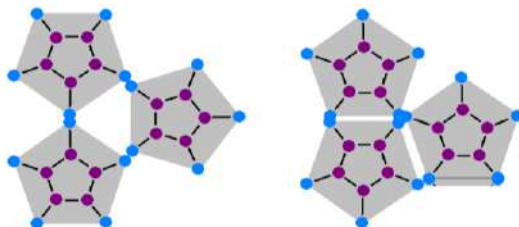


Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 9. Медно-фосфорные каркасы



1. Рассмотрим возможные способы объединения общих пятиугольных плоских мотивов:



А: атомы меди связаны с двумя атомами фосфора, то есть каждая пара плоских пятиугольных мотивов имеет общий атом меди.

В: атомы меди связаны с тремя атомами фосфора, то есть каждая тройка плоских пятиугольных мотивов имеет общий атом меди.

Обозначим общее количество пятиугольных мотивов как F_5 .

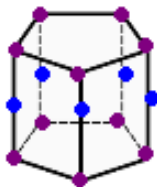
а) Соотношение атомов $n:m$:

А: на каждый фрагмент приходится 5 атомов фосфора и $5/2$ атома меди (каждый атом фосфора связан с одним атомом меди, каждый атом меди связан с двумя атомами фосфора), что означает $n:m = (F_5 \cdot 5) : (F_5 \cdot 5/2) = 2:1$.

В: на каждый фрагмент приходится 5 атомов фосфора и $5/3$ атома меди (каждый атом фосфора связан с одним атомом меди, каждый атом меди связан с тремя атомами фосфора), что означает $n:m = (F_5 \cdot 5) : (F_5 \cdot 5/3) = 3:1$.

б) В структуре медно-фосфорного каркаса, кроме P_5 , также должны быть многоугольники, в вершинах которых расположен не только фосфор, но и медь. Поскольку каждый атом меди может быть связан только с атомом фосфора, а атом фосфора может иметь только одну связь с атомом меди, то атомов фосфора в таком многоугольнике в 2 раза больше, чем меди: $P_{2z}Cu_z$.

в) Запишем теорему Эйлера для многогранника, в который объединяются плоские пятиугольные мотивы:



A: $z = 2$ (мотивы граничат по ребрам; возможно только в одном случае – если все пять вершин у пары мотивов общие, но подобный каркас возможен либо если атомы меди не лежат ни в одной плоскости фосфорных пятиугольников, либо лежат сразу в обоих, что противоречит условию – выпуклый многогранник, составленный из плоских мотивов определенного состава), цикл P_4Cu_2 (всего шесть атомов).

$V = F_5 \cdot 5/2$, $E = 5$, $F = F_5 \Rightarrow F_5 \cdot 5/2 - 5 + F_5 = 2$, $F_5 = 2$. $n = 10$, $m = 5$.

$z = 3$ (пятиугольные мотивы граничат по одной вершине, формируют плоскую треугольную грань), цикл P_6Cu_3 (всего девять атомов).

$V = F_5 \cdot 5/2$, $E = 5F_5$ (нет ребер, которые не принадлежали бы пятиугольным мотивам),

$F = F_5 + F_3 \Rightarrow F_5 \cdot 5/2 - 5F_5 + F_5 + F_3 = 2 \Rightarrow F_3 = 2 + 1,5F_5$. В то же время, $F_3 = E/3$.

То есть, $F_5 \cdot 5/3 = 2 + 1,5F_5$, $F_5 = 12$ и $F_3 = 20$.

Тогда $n = F_5 \cdot 5 = 12 \cdot 5 = 60$, $m = F_5 \cdot 5/2 = 12 \cdot 5/2 = 30$ или $P_{60}Cu_{30}$.

$z = 4$: $V = F_5 \cdot 5/2$, $E = 5F_5$, $F = F_5 + F_4 \Rightarrow F_5 \cdot 5/2 - 5F_5 + F_5 + F_4 = 2 \Rightarrow F_4 = 2 + 1,5F_5$. В то же время, $F_4 = E/4$. $F_5 \cdot 5/4 = 2 + 1,5F_5$ и $F_5 = -8$, что лишено смысла, следовательно, фигура с $z \geq 4$ не существует.

B: $z = 2$ (единственно возможный вариант, мотивы граничат по ребрам, если бы граничили по вершинам, то получился бы не многогранник, а разветвленная структура – дендример; следовательно, в медно-фосфорных циклах ровно 2 атома меди), цикл P_4Cu_2 (всего шесть атомов).

$V = F_5 \cdot 5/3$, $E = F_5 \cdot 5/2$ (мотивы граничат по ребрам), $F = F_5$.

$F_5 \cdot 5/3 - F_5 \cdot 5/2 + F_5 = 2$, $F_5 = 12$. Тогда $n = F_5 \cdot 5 = 12 \cdot 5 = 60$, $m = F_5 \cdot 5/3 = 12 \cdot 5/3 = 20$ или $P_{60}Cu_{20}$.

г) **A:** 20 циклов (по числу F_3).

B: 30 циклов (по числу ребер многогранника, составленного из плоских мотивов).

д) Центры пятиугольных фосфорных циклов в обоих случаях формируют икосаэдр.

2.

а) **X:** 30 вершин, 12 пятиугольных граней (P_5 , окруженный пятью атомами меди) и 20 треугольных граней, $20 \cdot 3 = 60$ ребер (линии, соединяющие попарно атомы меди в девятичленном цикле).

Y: 20 вершин, 12 пятиугольных граней (P_5 , окруженный пятью атомами меди), 30 ребер (большие диагонали шестичленных циклов, соединяют атомы меди).

б) **X:** икосододекаэдр.

Y: додекаэдр.

3.

- а) 10 атомов меди;
- б) они образуют правильный десятиугольник;
- в) поскольку в одной фигуре «задействуются» 10 из 60 ребер, то существует 6 независимых десятиугольников на поверхности X.

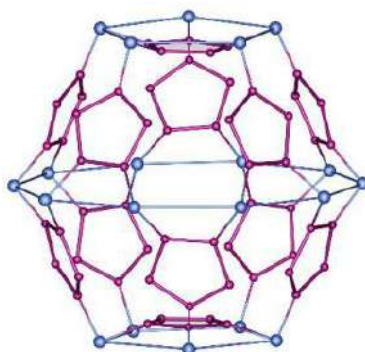
4. **X:** Диаметр описанной вокруг икосододекаэдра сферы равен диаметру окружности, описанной вокруг правильного десятиугольника $D = L(1 + \sqrt{5}) + r_{Cu}$, где L – ребро икосододекаэдра, равное стороне плоского пятиугольного мотива.

Y: Диаметр описанной вокруг додекаэдра сферы равен $D = 0,5L(1 + \sqrt{5})\sqrt{3} + r_{Cu}$, где L – ребро додекаэдра, равное стороне плоского пятиугольного мотива. Рассмотрим равнобедренную трапецию CuPPCu (см. плоский пятиугольный мотив), в которой $d_{PP} = 2r_P = 0,218$ нм, $d_{CuP} = r_{Cu} + r_P = 0,233$ нм, $L = d_{CuCu} = d_{PP} + 2d_{CuP}\sin(\angle PCuCu)$. $\angle PCuCu = 180 \cdot 3/5/2 = 54^\circ$ (половина угла в правильном пятиугольнике). Тогда $L = 0,218 + 2 \cdot 0,233\sin(54^\circ) = 0,595$ нм.

X: $D = 0,595(1 + \sqrt{5}) + 0,124 = 2,05$ нм,

Y: $D = 0,5 \cdot 0,595(1 + \sqrt{5})\sqrt{3} + 0,124 = 1,79$ нм.

5. Отсутствовать должны группы атомов, которые переводятся друг в друга поворотом вокруг оси симметрии. Это могут быть атомы меди в торцевых пятиугольных мотивах (по 5 в каждом), атомы меди между торцевым мотивом и экватором (по 5 сверху и снизу), или 10 экваториальных атомов меди. Среди этих 3 вариантов только во втором молекула останется связанной с помощью образующихся на рис. 1а связей, два других варианта приводят к отделению торцевых мотивов или к разделению молекулы на 2 части, соответственно. На рисунке приведено экспериментально определенное реальное расположение атомов в каркасе **A'** реальной молекулы.





Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 10. Устойчивость магических кластеров

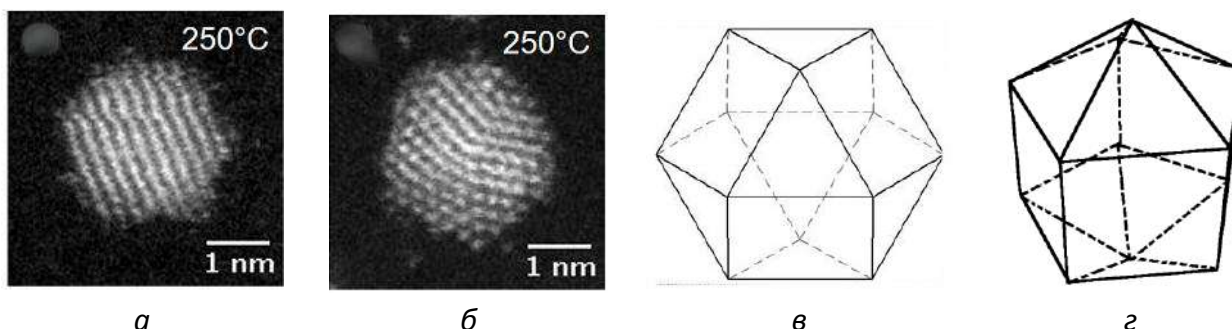


Рис. 1. Изображения золотых кластеров, полученные при помощи сканирующего туннельного микроскопа высокого разрешения: а) кубооктаэдр, б) скошенный икосаэдр. Схематичное изображение многогранников: в) кубооктаэдр, г) скошенный икосаэдр.

Синтез золотых наночастиц в некоторых условиях приводит к получению смеси нанокластеров, в которой есть наночастицы как в форме кубооктаэдров, так и скошенных икосаэдров (рис. 1 а, б). При равенстве длин ребер эти нанокластеры содержат одинаковое число атомов ($N = (10n^3 - 15n^2 + 11n - 3)/3$, где n – число атомов, приходящееся на ребро), то есть, являются изомерами.

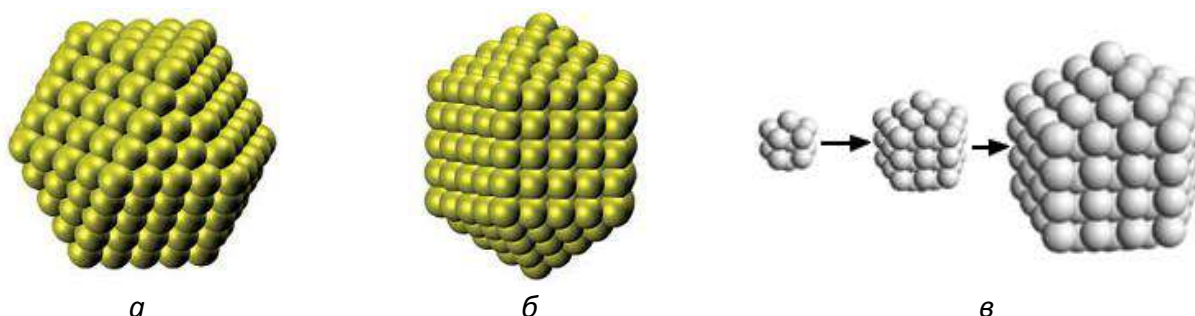


Рис. 2. Трехмерные модели нанокластеров в форме а) кубооктаэдра, б) скошенного икосаэдра. в) Модели нанокластера в форме скошенного икосаэдра для $n = 2, 3, 4$.

1. Для нанокластеров обеих форм с $n = 6$ найдите:
 - а) общее число атомов в нанокластере N и число атомов на его поверхности M ; **(1 балл)**
 - б) число ближайших соседей у атомов, находящихся в объеме нанокластера; **(1 балл)**
 - в) сколько типов атомов, отличающихся друг от друга окружением, присутствует на поверхности нанокластера. Опишите их расположение; **(4 балла)**
 - г) сколько «соседей» у атомов каждого из типов. **(5 баллов)**
2. Устойчивость нанокластеров тем выше, чем ближе суммарное количество «соседей» всех атомов к максимально возможному окружению (такому, как в объеме нанокластера). Основываясь на результате, полученном в п. 1, определите, какая из двух форм является более устойчивой. **(2 балла)**

3. Для обеих форм нанокластеров рассчитайте и сравните площадь поверхности многогранников, вершины которых лежат в центрах атомов, расположенных в вершинах нанокластеров. Радиус атома золота принять равным $a = 0,144$ нм.
(3 балла)

Указание. Воспользуйтесь решением задачи «Кубоктаэдр»:

<http://enanos.nanometer.ru/uploads/archive/2017-tasks.pdf> (с.223, 230-231).

Всего – 16 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 10. Устойчивость магических кластеров

1.

а) $N = 561$, $M = 252$.

б) 12.

в, г) Кубооктаэдр: 4 типа

- 12 вершин: 4 соседа;
- ребра, без учета вершин: 5 соседей в слое + 2 соседа из нижележащего слоя;
- треугольная грань (вне ребер): 6 соседей в слое + 3 соседа из нижележащего слоя;
- квадратная грань (вне ребер): 4 соседа в слое + 4 соседа из нижележащего слоя.

Скошенный икосаэдр: 7 типов

- 2 вершины, в которых сходятся 5 ребер: 5 соседей в слое + 1 сосед из нижележащего слоя;
- остальные 10 вершин: 4 соседа в слое + 1 сосед из нижележащего слоя;
- 10 ребер, разделяющих два треугольника: 6 соседей в слое + 2 соседа из нижележащего слоя;
- 10 ребер, разделяющих треугольник и квадрат: 5 соседей в слое + 2 соседа из нижележащего слоя;
- 5 ребер, разделяющих два квадрата: 4 соседа в слое + 2 соседа из нижележащего слоя;
- треугольная грань (вне ребер): 6 соседей в слое + 3 соседа из нижележащего слоя;
- квадратная грань (вне ребер): 4 соседа в слое + 4 соседа из нижележащего слоя.

Кубооктаэдр:

- 1) 12 (вершины кубооктаэдра),
- 2) $24 \cdot (6 - 2) = 96$ (ребра кубооктаэдра без учета вершин),
- 3) $8 \cdot 6 = 48$ (8 треугольных граней со стороной 3),
- 4) $6 \cdot 16 = 96$ (6 квадратных граней со стороной 4).

Скошенный икосаэдр:

- 1) 12 (вершины скошенного икосаэдра),
- 2) $25 \cdot (6 - 2) = 100$ (ребра скошенного икосаэдра без учета вершин),
- 3) $10 \cdot 6 = 60$ (10 треугольных граней со стороной 3),
- 4) $5 \cdot 16 = 80$ (5 квадратных граней со стороной 4).

2. Максимальное число «соседей» составляет $561 \cdot 12 = 6732$. Поскольку число атомов, находящихся в объеме нанокластера, и, следовательно, имеющих максимально возможное окружение, для двух типов нанокластеров одинаково, то можно рассматривать только атомы поверхностного слоя, максимально возможное число «соседей» для которых равно: $252 \cdot 12 = 3024$.

Рассчитаем реальное число соседей для каждой из форм:

Кубооктаэдр:

$$12 \cdot 4 + 96 \cdot 7 + 48 \cdot 9 + 96 \cdot 8 = 1920.$$

Скошенный икосаэдр:

$$2 \cdot 6 + 10 \cdot 5 + 40 \cdot 8 + 40 \cdot 7 + 20 \cdot 6 + 60 \cdot 9 + 80 \cdot 8 = 1962.$$

1962 ближе к 3024, чем 1920.

Таким образом, более стабильной будет форма скошенного икосаэдра.

3. Длина ребра многогранника равна $L = 2a(n - 1) = 0,144 \cdot 10 = 1,44$ нм.

$$S_1 \approx 8 \cdot 0,5 \cdot 1,44^2 \sqrt{3} / 2 + 6 \cdot 1,44^2 = 19,62 \text{ нм}^2.$$

$$S_2 \approx 10 \cdot 0,5 \cdot 1,44^2 \sqrt{3} / 2 + 5 \cdot 1,44^2 = 19,34 \text{ нм}^2.$$



Икс-файлы

Тестовый конкурс

Категория участников: школьники

В 90х годах и вплоть до 2018 года во всем мире шел культовый сериал "Секретные материалы" (["The X-Files"](#)), в котором спецагенты раскрывали странные и необычные дела. Мы предлагаем побыть и Вам в шкуре спецагента. Для этого мы даем вам 5 зашифрованных архивных файлов: ["зеленый"](#), ["голубой"](#), ["оранжевый"](#), ["красный"](#), ["малиновый"](#). Каждый секретный файл содержит секретную ссылку на миникурс, который нужно прослушать и получить сертификат (это займет немного времени). Когда Вы получите, как минимум, 3 сертификата eНано по миникурсам, Вы можете выиграть весь конкурс "Икс-файлы", и Оргкомитет наградит Вас на торжественной церемонии совместным дипломом МГУ и ФИОП, а также подпиской / архивом лучшего российского научно-популярного журнала ["Наука и жизнь"](#)! Удачи в Ваших поисках в паутине знаний. Истина где-то рядом...

И **главное** (это очень важно, надеемся, вы дочитали условие конкурса до этого ключевого места): вам потребуется **трехзначный код - пароль для раскрытия каждого "цветного" архивного файла**. Код к каждому файлу – это последовательность номеров правильных ответов нашего теста (от верхнего вопроса к нижнему), обозначенных своим цветом. Когда вы правильно ответите на вопросы, у вас будут коды, вы раскроете файлы, получите ссылки, пройдете миникурсы и победите в квесте "Икс-файлы!"

Совет: перед тем, как нажимать кнопку "ответить", сохраните все в черновике и проверьте, подходят ли коды!

ЗАГРУЗКА РЕШЕНИЙ - В РАЗДЕЛЕ [ТЕСТЫ](#) (ДО 31 ЯНВАРЯ 2019 ГОДА).

Вопрос №1



[Код к зеленому икс-файлу] Все в мире, в том числе и твердые тела, демонстрирующие практически важные свойства, состоит из атомов. Вокруг каждого из атомов есть соседи,

сидящие на своих местах, это называется ближним порядком. Дальний порядок возникает, если атомы становятся упорядоченными и могут быть периодически повторены в трехмерном пространстве, образуя кристаллическую решетку. У какого материала ниже в структуре должен наблюдаться дальний порядок?

- 1 Икосаэдрический наноалмаз
- 2 Квантовая точка селенида кадмия
- 3 Оксид графена
- 4 Углеродная нанотрубка
- 5 Аморфный кремний
- 6 Эмульсия липосом

Вопрос №2



[Код к зеленому икс-файлу] Какое из веществ ниже не может быть получено при охлаждении расплава кристаллических веществ?

- 1 Твердые растворы
- 2 Монокристаллы
- 3 Поликристаллические пленки
- 4 Сверхкритические флюиды
- 5 Объемное стекло
- 6 Аморфные покрытия

Вопрос №3



[Код к зеленому икс-файлу] Какое из веществ ниже наиболее прозрачно в видимой области спектра?

- 1 Графит
- 2 Многослойные углеродные нанотрубки
- 3 Луковичный дисульфид молибдена
- 4 Сталь
- 5 Серебро
- 6 Мусковит

Вопрос №4



[Код к голубому икс-файлу] В минералогии и материаловедении часто используют шкалу твердости Мооса, в которой алмаз – самое твердое вещество, потому что оставляет царапины на всех своих конкурентах-минералах. Какое из веществ ниже будет самым твердым по шкале Мооса (будет царапать все остальные)?

- 1 Стекло
- 2 Гвоздь
- 3 Мамины сережки из циркона
- 4 Пенопласт
- 5 Сера
- 6 Графит

Вопрос №5



[Код к голубому икс-файлу] Зачем в препаратах, рекламируемых в СМИ, типа "Кальций-Д3 Никомед" для укрепления костной ткани вводят витамин Д?

- 1 Витамин способствует повышению биологически доступной доли кальция
- 2 Витамин блокирует токсичный кальций в организме
- 3 Витамин выводит кальций из организма
- 4 Витамин резко повышает иммунитет
- 5 Витамин способствует развитию благоприятной микрофлоры и улучшению пищеварения
- 6 Витамин повышает содержание фосфорной кислоты в сыворотке крови

Вопрос №6



[Код к голубому икс-файлу] Когда в рекламе говорят, что зубная паста содержит "жидкий фтор", то имеется в виду, что она:

- 1 Действительно содержит жидкий фтор
- 2 Содержит растворенный в воде газообразный фтор
- 3 Не содержит никакого фтора, это рекламный ход
- 4 Содержит суспензию фторидов
- 5 Содержит полигалоидные соединения фтора и йода
- 6 Содержит фосфорорганические соединения кальция

Вопрос №7



[Код к оранжевому икс-файлу] Альтернативная энергетика, по устоявшимся представлениям, объединяет в себе электрохимические, фотоэлектрические, ядерно-физические способы генерации и преобразования энергии, ветроэнергетику и прочие отрасли, отличающиеся от традиционного сжигания угля и газа. В области солнечной энергетики сейчас является популярной разработка новых материалов на основе йодоплюмбатов свинца со структурой перовскита, эффективно поглощающих энергию солнца и преобразующих ее напрямую в электрическую. Как Вы думаете, какое преимущество на стадии производства могут иметь эти новые материалы?

- 1 Они не содержат редкого и дорогого кремния
- 2 Они менее токсичны, чем кремниевые солнечные элементы
- 3 Кристаллы таких перовскитов имеют низкую температуру плавления, что позволяет использовать традиционный метод Чохральского для выращивания больших кристаллов перовскитов с меньшими энергозатратами
- 4 Покртия из таких перовскитов могут быть получены при низких температурах из раствора
- 5 В процессе производства можно использовать природные залежи перовскита
- 6 Производство удешевляет тот факт, что большие запасы солнечного перовскита остались в РФ со времен распада СССР

Вопрос №8



[Код к оранжевому икс-файлу] Инновационной разработкой является создание литий-воздушных аккумуляторов, сочетающих черты нормального перезаряжаемого аккумулятора и топливного элемента, который способен напрямую преобразовать энергию химической реакции горения лития в электрический ток. Почему бы не использовать в таких устройствах алюминий?

- 1 Алюминий дороже и менее распространен, чем литий
- 2 Алюминий образует трехзарядный катион, который с трудом будет диффундировать через любые известные мембраны, поэтому такой аккумулятор не удастся эффективно перезарядить
- 3 Алюминий покрыт оксидной пленкой и гореть не будет
- 4 При горении алюминий на воздухе образует паразитный карбид
- 5 Алюминий образует непрочный оксид
- 6 Алюминий крайне токсичен и вызывает болезнь Альцгеймера
- 7 Алюминий содержит примесь радиоактивных изотопов и поэтому запрещен МАГАТЭ к использованию в массовых энергетических установках
- 8 Алюминий химически очень активен и поэтому разъедает аккумулятор изнутри

Вопрос №9



[Код к оранжевому икс-файлу] Атомных электростанций необоснованно боятся экологи во многих странах мира. Какой реально существует риск их функционирования для окружающей среды?

- 1 Они выделяют много парниковых газов
- 2 Они могут взорваться, как атомная бомба
- 3 Очень сложна проблема утилизации и захоронения радиоактивных отходов
- 4 В природе истощаются запасы менделевия – основного компонента ядерного горючего АЭС
- 5 При термоядерном синтезе урана внутри ТВЭЛов АЭС выделяются нейтрино, от которых не защищает оболочка реактора
- 6 Очень опасно загрязнение окружающей среды альфа-частицами, выделяющимися при распаде урана

Вопрос №10



[Код к красному икс-файлу] Дефекты, как считают многие, – это плохо, они могут все ухудшить. Однако для функциональных материалов это не совсем так, в ряде случаев именно оптимальный уровень дефектов определяет основные практически полезные свойства материала. Какие дефекты помогают правильно работать современным устройствам микроэлектроники?

- 1 Трещины
- 2 Легирование и точечные дефекты
- 3 Сегрегация примесей на границах зерен
- 4 Разориентация областей когерентного рассеяния
- 5 Дислокации
- 6 Аморфизация структуры

Вопрос №11



[Код к красному икс-файлу] В настоящий момент магнитная запись информации все еще остается самым популярным методом хранения данных. Какой из перечисленных ниже

материалов пригоден в качестве магнитного носителя?

- 1 Пьезокварц
- 2 Диоксид титана
- 3 Диоксид хрома
- 4 Диоксид гафния
- 5 Оксид алюминия
- 6 Дисульфид вольфрама
- 7 Гексафторид ксенона

Вопрос №12



[Код к красному икс-файлу] Спинтроника считается важным направлением развития электроники в будущем. Какие параметры являются определяющими для спинтроники на фундаментальном уровне?

- 1 Заряд электрона
- 2 Спиновое состояние протона
- 3 Спин электрона
- 4 Рассеяние электронов на колебаниях решетки – фононах
- 5 Поведение плазмонов в наночастицах
- 6 Формирование бозонов в сверхпроводниках

Вопрос №13



[Код к малиновому икс-файлу] Развитие сканирующей зондовой микроскопии вывело нанотехнологии на новый уровень. На каком принципе основан этот метод?

- 1 Рисование электронным пучком
- 2 Использование оптического пинцета
- 3 Электронография
- 4 Сцинтиграфия
- 5 Взаимодействие поверхности с кантилевером
- 6 Спектроскопия комбинационного рассеяния

Вопрос №14



[Код к малиновому икс-файлу] За какой из перечисленных ниже методов анализа так и не дали Нобелевскую премию?

- 1 Рамановская спектроскопия
- 2 Мессбауэровская спектроскопия
- 3 Сканирующая туннельная микроскопия
- 4 Электронная микроскопия
- 5 Линзы Левенгука

Вопрос №15



[Код к малиновому икс-файлу] Какой из перечисленных ниже материалов никогда не использовался в сканирующей зондовой микроскопии?

- 1 Перксенат прометия
- 2 Кремний
- 3 Алмаз
- 4 Углеродные нанотрубки
- 5 Золото
- 6 Титанат - цирконат свинца



Конкурс-квест для школьников (заочный тур) Ответы. Икс-файлы



[Код к «зеленому» икс-файлу]: 246

Вопрос № 1. Правильный ответ: 2 Квантовая точка селенида кадмия.

Икосаэдрический наноалмаз обладает осью пятого порядка, не может быть уложен в объемную решетку и представляет собой фактически сложную кластерную структуру. Из перечисленных материалов только квантовая точка селенида кадмия обладает такой структурой, которая может быть «размножена в пространстве» и даст объемный материал.

Вопрос № 2. Правильный ответ: 4 Сверхкритические флюиды.

Сверхкритические флюиды возникают в особых точках (сочетании внешних условий, давления и температуры), которые сильно отличаются от условий плавления и кристаллизации, поэтому они никак не могут быть получены при охлаждении расплава.

Вопрос № 3. Правильный ответ: 6 Мусковит

Слюда, или мусковит, в стародавние времена использовалась для материала окошек. Остальные материалы отлично поглощают электромагнитное излучение даже в достаточно тонких слоях (то есть являются «темными»).



[Код к голубому икс-файлу]: 314

Вопрос № 4. Правильный ответ: 3 Мамины сережки из циркона.

Из общеизвестных веществ самым твердым кажется сталь гвоздя, однако твердость ортосиликата циркония из «маминых сережек» по шкале Мооса равна 7.5, что позволяет царапать им и сталь, и все остальное из перечисленного. В этом плане это самый твердый материал из представленных.

Вопрос № 5. Правильный ответ: 1 Витамин способствует повышению биологически доступной доли кальция.

Холекальциферол (витамин D₃) – провитамин, который после метаболических превращений в печени преобразуется в вещества, способствующие хорошему «здоровью» костей нашего организма, предотвращающие рахит у детей и необходимые, если витамина D недостаточно вырабатывается естественным путем при облучении кожи ультрафиолетом (солнечным светом).

Вопрос № 6. Правильный ответ: 4 Содержит суспензию фторидов.

Фтор – крайне агрессивный газ, а фосфорорганические соединения могут выступать в роли нервнопаралитических ядов, поэтому, конечно, если паста «содержит фтор», то она содержит суспензию фторидов – солей плавиковой кислоты, которые полезны для формирования зубной эмали.



[Код к оранжевому икс-файлу]: 423

Вопрос № 7. Правильный ответ: 4 Покрытия из таких перовскитов могут быть получены при низких температурах из раствора.

Данный перовскит – не минерал, это искусственное соединение, которое никогда не встречалось в природе, поэтому его залежей невозможно найти в виде полезных ископаемых, его также, разумеется, не было в СССР. Кремний – достаточно недорогой материал массового производства, поэтому основное преимущество данного материала состоит в том, что покрытия из него могут быть получены из растворов при относительно низких температурах.

Вопрос № 8. Правильный ответ: 2 Алюминий образует трехзарядный катион, который с трудом будет диффундировать через любые известные мембраны, поэтому такой аккумулятор не удастся эффективно перезарядить.

Алюминий очень дешев и покрыт прочной пленкой оксида, поэтому продолжительно сосуществует с окружающей атмосферой. Основная проблема в том, что его маленький трехзарядный катион с очень большим трудом протискивается через любой материал и миграция ионов алюминия в мембранах диффузионно очень затруднена.

Вопрос № 9. Правильный ответ: 3 Очень сложна проблема утилизации и захоронения радиоактивных отходов.

АЭС экологически сами по себе не опаснее ТЭС, они не выделяют парниковых газов, уже давно не взрываются, никогда не используют менделевия, который был получен искусственно в ничтожных количествах. Альфа-частицы легко задерживаются даже тонкой металлической фольгой и воздухом, а нейтрино, если даже вдруг где-то и образуются, практически не наносят вреда окружающему веществу, потому что с ним фактически никак не взаимодействуют. А вот утилизация отработанных отходов реально представляет важную проблему.



[Код к красному икс-файлу]: 233

Вопрос № 10. Правильный ответ: 2 Легирование и точечные дефекты.

Наиболее значимым способом контроля многих материалов, в том числе магнитных, полупроводниковых, люминесцентных и т.д., является контроль типа и концентрации точечных дефектов. Часто такой контроль реализуется за счет легирования – целенаправленного введения при заданных условиях получения или постобработки материала определенного типа примесей с заранее определенным уровнем концентрации, которая перераспределяется на атомном уровне и видоизменяет кристаллическую решетку вещества, направленно модифицируя требуемые функциональные характеристики. Легирование, с другой стороны, является одним из широко распространенных приемов химической модификации.

Вопрос № 11. Правильный ответ: 3 Диоксид хрома.

Из перечисленных материалов только диоксид хрома, содержащий переходный металл хром в степени окисления (IV), проявляет требуемые магнитные характеристики. От остальных материалов трудно ожидать проявления ярко выраженных магнитных свойств.

Вопрос № 12. Правильный ответ: 3 Спин электрона.

Спинтроника связана с созданием устройств, которые могут управлять потоком носителей – электронов – за счет изменения их спинового состояния. Спин электрона может определять вероятность его перехода из одной части схемы в другую с учетом того, что самопроизвольное изменение спина запрещено квантовыми законами, а спин – поляризованные носители (электроны с одинаковым спином) не будут испытывать сложностей в таком процессе перемещения.



[Код к малиновому икс-файлу]: 551

Вопрос № 13. Правильный ответ: 5 Взаимодействие поверхности с кантилевером.

Зонд (кантилевер), тем или иным образом взаимодействующий за счет магнитных, электрических, вандерваальсовых сил с поверхностью образца при нахождении на близком расстоянии от нее или касающийся ее физически, лежит в основе метода СЗМ (сканирующей зондовой микроскопии).

Вопрос № 14. Правильный ответ: 5 Линзы Левенгука.

К сожалению, голландец по происхождению, член Лондонского Королевского общества Антони ван Левенгук, несмотря на значимость своего открытия, а он фактически может считаться отцом оптической микроскопии, так и не получил Нобелевской премии. Видимо, еще и потому, что она была основана спустя примерно двести лет после открытия Левенгука.

Вопрос № 15. Правильный ответ: 1 Перксенат прометия.

Перксенат прометия никогда не был синтезирован и совершенно не ясно, зачем такое экзотическое вещество использовать в сканирующей зондовой микроскопии.



Викторина для школьников

Тестовый конкурс

Категория участников: школьники 7 - 11 классов

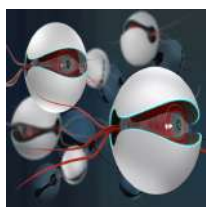
Вопрос №1



Наномедицина – область науки, которую все хотят развивать, но которая оказалась крайне сложной, хотя и интересной. Очень хотели нанороботов, но оказалось, что их сделать искусственно практически невозможно. А что в природе выступает в качестве истинных, но сумасшедших нанороботов, зловредных и опасных, работающих на внутриклеточном уровне?

макрофаги
вирусы
эритроциты
лейкоциты
тромбоциты
желудочные бактерии
аксоны

Вопрос №2



Одна из потенциальных перспективных разработок наномедицины - наноконтейнеры для лекарств, позволяющие снизить требуемую эффективную дозу препарата, а также, в ряде случаев, обеспечить пролонгированное выделение терапевтического вещества в нужном месте и в нужное время. Чего только в этой области ни перепробовали! Но не все оказалось эффективным. Найдите ниже плохой материал для нанокапсулы, полагая, что остальные имеют перед этим неудачником явные преимущества.

наноалмазы
мезопористый диоксид кремния

липосомы
полиэлектролитные пузырьки
краун-эфиры
везикулы
гидроксипатит

Вопрос №3



Для "расстрела" очагов опухолевого поражения в наномедицине предлагают использовать "волшебные пули", которые способны (при определенной внешней помощи) купировать опухоль и уменьшить скорость размножения раковых клеток. Что это за пули?

антибиотики
золотые наностержни
иммуностимуляторы
порфирины и фталоцианины
углеродные нанотрубки
графен
наноалмазы

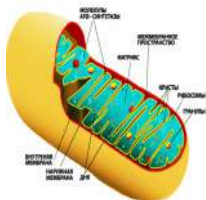
Вопрос №4



При введении в очаг поражения (опухоль) наночастиц смешанных оксидов железа возможно проведение щадящей терапии за счет так называемой гипертермии, когда происходящий разогрев наночастиц приводит к гибели раковых клеток. Как вы думаете, какое именно поле используется в рамках проведения гипертермии?

переменное магнитное поле
постоянное магнитное поле
электрическое поле
лазерное излучение
микроволновое излучение
инфракрасный нагрев
нагрев токами Фуко

Вопрос №5



Митохондрии – наши важнейшие клеточные органеллы, которые генерируют в сложных биохимических процессах универсальное топливо для организма – АТФ. А что в самих митохондриях является самым настоящим нанороботом (наноэлектромеханической системой, НЭМС)?

криста

внутренняя мембрана

цитохромы

убихиноновый комплекс

вся митохондрия целиком

нет в ней никакого НЭМС!

протонный насос

Вопрос №6



Кости скелета, которые внутри нас, – это настоящий нанокомпозитный самовосстанавливающийся материал, человек такого эффективного материала с уникальным комплексом свойств до сих пор и не создал. В его основе, кроме связующих волокон коллагена, лежат неорганические наночастицы чешуйчатой формы. Какой у этих частиц состав?

карбонат кальция

сульфат кальция

фосфат стронция

гидроксиапатит

октакальциевый фосфат

графен

гидроксид кальция

карбонат магния

фосфат натрия

Вопрос №7



Наночастицы кремния – это уникальные нетоксичные для живого организма квантовые точки. При облучении этих наночастиц, введенных в ткань раковой опухоли, лазером

(светом) в окне прозрачности мягких тканей происходит разрушение очага поражения. Каков наиболее вероятный механизм такого терапевтического эффекта?
нагрев наночастиц вплоть до температуры денатурации белка
генерация крайне токсичного синглетного кислорода
химическая реакция кремния с аминокислотами
рассеяние света при облучении и повышение иммунного отклика организма
конверсия лазерного излучения в микроволновое вторичное излучение
реакция "горячих" наночастиц кремния с физиологическими жидкостями и генерация щелочи
формирование активной кремниевой кислоты

Вопрос №8



В современном методе медицинской диагностики, который называется магнитной резонансной томографией, часто используют специальные вещества - контрасты, повышающие эффективность метода. Какое из перечисленных ниже веществ в форме наночастиц может входить в состав подобных контрастов?

оксид иттрия
диоксид кремния
диоксид титана
медь
гексаметафосфат натрия
оксид железа (II, III)
пенициллин
уротропин
бычий сывороточный альбумин
сульфат бария

Вопрос №9



Проблема нанотоксичности обсуждается уже много лет, в Европейском Союзе, Японии, США существуют уже давно стандарты по обороту веществ, которые могут содержать нанообъекты. Какое из веществ и материалов, перечисленных ниже, на ваш взгляд, является в этом плане самым опасным?

нанокремний
белая сажа
квантовые точки селенида кадмия
графит
порошок серы

гидроксилпатит
наночастицы золота

Вопрос №10



Высокодисперсные частицы диоксида титана часто вводят в крема для загара, поскольку диоксид титана – широкозонный полупроводник, поглощающий вредный ультрафиолет. Однако есть у него и недостаток, связанный с тем, что он поглощает ультрафиолет. Что это за возможный недостаток?

быстрое разрушение диоксида титана под действием ультрафиолета
одновременно диоксид титана поглощает инфракрасное излучение и сильно нагревается
диоксид титана сшивает органическую часть крема и образует прочную пленку
диоксид титана забивает фолликулы и проникает через кожу
диоксид титана фотокаталитически генерирует потенциально опасные радикалы
диоксид титана вызывает эффект лотоса, кожа перестает смачиваться и дегидрируется

Вопрос №11



Открытие процессов и материалов микроэлектроники – величайшее достижение человечества. К сожалению, злосчастный закон Мура все продолжает и продолжает выполняться, вызывая опасение за будущее кремниевой электроники. Поэтому ученые интенсивно ищут альтернативы, задумываясь, например, о спиновой электронике (спинтронике), управлении светом (фотонике) и т.д. Для этих новых ветвей науки и техники нужны совершенно новые типы материалов, например, для фотоники нужны материалы, которые представляют собой варианты дифракционных решеток, поэтому являются тем, что часто связывают с понятием "структурный цвет". Какой из минералов, перечисленных ниже, относится потенциально к такому типу материалов?

самородное золото
слюда
цеолит
антрацит
опал
пирит
малахит
яшма
корунд
берилл

Вопрос №12



Как известно, мыльные пузыри имеют обычно очень тонкую стенку, которая, истончаясь еще больше, становится радужной. Какое физическое явление лежит в основе этого оптического явления ("бензиновый цвет")?

- дифракция
- интерференция
- опалесценция
- люминесценция
- Релеевское рассеяние
- эффект Тиндала
- комбинационное рассеяние света
- экстинкция

Вопрос №13



Транзистор – основа современной электроники, смысл его работы заключается в усилении сигнала (модулировании сильного сигнала слабым). Сейчас все более популярными становятся полевые нанотранзисторы. Какой из перечисленных ниже нанообъектов вы бы взяли для "сердцевины" такого транзистора?

- золотую нанопроволоку
- кварцевый нитевидный кристалл
- углеродную нанотрубку
- полимерное волокно
- фуллерен
- вирус табачной мозаики
- ДНК

Вопрос №14



При миниатюризации устройств микроэлектроники в попытках перейти к наноэлектронике в ряде устройств изолирующие прослойки из диоксида кремния заменяют на другой диэлектрик – диоксид гафния, поскольку диоксид кремния

становится "проницаемым" для электронов и устройства работают хуже (тот же миниатюрный транзистор). Какое из явлений (процессов), перечисленных ниже, заставляет это делать?

барботирование
туннелирование
бозе-конденсация
выделение джоулева тепла
легирование
электромагнитная индукция
поляризация

Вопрос №15



В конце декабря, перед очным туром наноолимпиады, обязательно наступит Новый год, и елки вспыхнут красивыми светодиодными гирляндами. Какое из соединений с азотом массово используется для получения таких светоизлучающих устройств?

нитрид серебра
азид ртути
азид натрия
нитрид галлия
амид таллия
фульминат свинца
нитрид титана

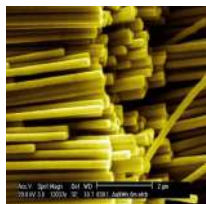
Вопрос №16



Графен – легендарный материал для наноэлектроники с уникальными свойствами, буквально «царь нанотехнологий», однако сейчас все чаще пытаются найти ему более революционные замены. Какой из материалов, перечисленных ниже, наиболее близко подобрался к трону графена и пытается его оттуда потеснить?

Мксены
кубический нитрид бора
графан
ситал
каолин
слюда
графит

Вопрос №17



Одним из экспериментальных примеров проявления квантования в микро и наном мире является уникальная (весьма специфическая) зависимость проводимости золотой проволоки, диаметр которой довели до наноуровня (например, путем вытягивания). Как называется полученная зависимость?

квантовые ступеньки проводимости

плазмонный резонанс

сверхпроводимость

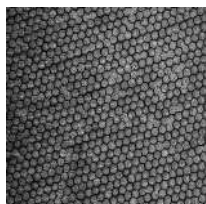
сверхтекучесть

лазерная генерация

лазерная абляция

электроосмос

Вопрос №18



Одной из удивительных и достаточно новых областей знаний на стыке оптики и наноэлектроники является плазмоника – наука о поведении коллективных колебаний электронного газа (точнее, квазичастиц плазмонов). Какой из материалов, перечисленных ниже, имеет хороший шанс возбудить в себе плазмоны?

алмазные усы

серебряные нанозвезды

липосомы

наночастицы анатаза

нанопроволоки диоксида олова

наноленты оксида ванадия

Вопрос №19

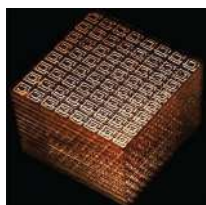


Квантовые точки – один из самых известных объектов нанотехнологий, который, как полагают, может быть использован и практически. В каком устройстве уже сейчас можно найти работающие квантовые точки?

мясорубка

сверла по металлу
телевизоры
супергидрофобная ткань
новые поколения литий-ионных аккумуляторов
сорбенты для очистки воды
антенны сотовых телефонов
глазные хрусталики-импланты

Вопрос №20



Давняя мечта людей получить "шапку-невидимку", возможно, когда-нибудь сбудется с развитием особого класса материалов. Какой из перечисленных ниже типов материалов подходит теоретически для создания шапки-невидимки?

жидкие кристаллы
суперпарамагнетики
сегнетоэлектрики
сверхпроводники
квантовые точки
графен
метаматериалы
наноалмазы

Вопрос №21



Лучший способ поспорить – спорить о том, какое из определений самое правильное, но, тем не менее, определения должны быть хорошими и понятными. Так, когда говорят о наноматериалах, то утверждают, что это такие полезные вещества, у которых наноуровень их структуры (то есть на уровне нанометров) предопределяет важнейшие свойства, которые нужны для их практического использования. Вроде бы, у вещества наноуровень есть всегда. А у какого из ниже перечисленных веществ нет этого уровня при нормальных условиях?

слюна
доломитовый кирпич
пыльца растений
гелий
медная проволока
яичная скорлупа
активированный уголь
крем от загара

легкий сплав корпуса самолета

Вопрос №22



Вещества в нанодисперсном состоянии имеют важнейшую особенность – как правило, они обладают очень большой площадью поверхности (свободной или взаимодействующей тем или иным образом с окружающей средой), потому что при уменьшении размера частицы увеличивается соотношение поверхности и объема. Как вы думаете, какое из перечисленных ниже веществ обладает наибольшей площадью поверхности?

бриллиант

мука

белая сажа

мыльная пена

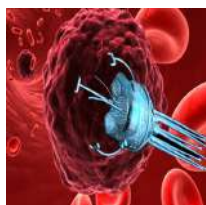
сандаловое дерево

антрацит

лед

стекло

Вопрос №23



Нанороботы – гипотетическое изобретение пытливого ума Э. Дрекслера и его последователей, их любят обсуждать в связи с развитием нанотехнологий, хотя единственные нанороботы – это, возможно, органеллы клеток, скрытые в нас самих. Тем не менее, нанороботы живут в компьютерных играх и, конечно же, в кинематографе, например, в таких блокбастерах, как "Терминатор", "Я робот", "Бросок кобры" и т.д. Попробуйте ответить, какое из популярных свойств нанороботов противоречит научным принципам?

саморазмножение (серая слизь, захватывающая Землю)

проникновение в кровяное русло человека

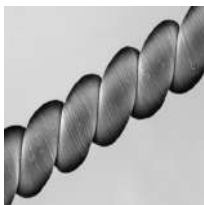
взаимодействие с магнитным полем

отклик на электромагнитный импульс

взаимодействие с ферментами и белками

эндоцитирование через клеточную мембрану

Вопрос №24



Углеродные наноматериалы – одни из самых популярных и самых известных типов наноматериалов с крайне интересными свойствами. Кроме того, для "объемного" углерода известно несколько аллотропных модификаций. А в каком из перечисленных ниже веществ углеродные атомы окружены максимальным количеством ближайших соседей (имеют максимальное координационное число)?

углеродная нанотрубка

графен

фуллерен

полиацетилен

наноалмаз

графит

карбин

Вопрос №25



Несмотря ни на что, нанотехнологии постепенно приходят в нашу жизнь. Как вы думаете, в каком реальном устройстве из перечисленных ниже есть искусственно созданные наноматериалы, которые определяют функциональное назначение устройства?

космический лифт

алмазное сверло

граненый стакан

активный элемент рубинового лазера

провода наушников Айфона

флеш-память для фотоаппарата

наноматериалов нет ни в одном из указанных устройств

Вопрос №26



В нашем отечественном фильме "Черная молния" рассказывалось, как ученые изобрели уникальный нанокатализатор, который позволял черной машине типа "Волга" летать по небу на обычном бензине в течение многих часов. Катализаторы существуют на самом деле - это вещества, которые ускоряют скорость как прямой, так и обратной химической реакции (способствуя более быстрому достижению равновесия). Почему такая машина

принципиально возможна только в художественном фильме, где можно немножко и соврать?

нанокатализатор будет слишком дорогим

нанокатализатор нарушал в фильме закон сохранения вещества и энергии

нанокатализатор не сможет настолько сильно ускорить горение бензина

катализатор быстро израсходуется в химической реакции

нужен переход на более качественный бензин

Волга не выдержит таких летных перегрузок

Вопрос №27



В фильме "Бросок кобры" террористы выстрелили в Эйфелеву башню боеголовкой с коллоидным раствором нанитов (нанороботов), после чего башня быстро рухнула. Какой возможный (разрешенный наукой) процесс могли вызвать (ускорить) нанороботы, который бы привел к разрушению стальной башни?

нанороботы быстро съели железо мощными челюстями

нанороботы превратили металлическую связь в вандерваальсову

произошло окисление железа кислородом воздуха, что и так медленно происходит

произошел термоядерный синтез при комнатной температуре

электромагнитный импульс от нанороботов превратил окружающий воздух в плазму

Вопрос №28



Один из участников наноолимпиады когда-то давно жестоко предложил сделать скотч (липкую ленту) из лапок ящериц геккона. На самом деле, технологи давно научились делать изделия с большой поверхностью и свойствами "лапок ящериц геккона", не убивая ни одной рептилии. В каком изделии могли бы быть в наибольшей степени востребованы такие материалы?

шапка-невидимка из метаматериалов

теплоизоляция для горячей зоны атомных реакторов

фотохромный материал для умных стекол

зонтики

электрод для солнечных батарей

ион-проводящая мембрана для литий-ионных аккумуляторов

Вопрос №29



Солнечная энергетика – одна из самых востребованных сейчас областей применения нанотехнологий. Так, очень много научных групп в мире работает над тем, чтобы постепенно найти замену кремниевым солнечным элементам. В частности, всемирно известный ученый Майкл Гретцель и его коллеги достаточно недавно предложили использовать гибридный органо-неорганический перовскит для создания светопоглощающего слоя нового поколения солнечных батарей, поскольку такой слой может быть получен достаточно просто растворными методами. Какой из химических элементов, перечисленных ниже, не используется в составе этих устройств?

золото

титан

кислород

кремний

технеций

иод

бром

фтор

углерод

азот

Вопрос №30



Смартфоны прочно завладели умами и сердцами людей. Но для ученого это просто сложное устройство, в котором уже сейчас зашито огромное количество самых разных наноматериалов. Одной из больших проблем смартфонов и других устройств отображения информации является дороговизна производства прозрачных электродов – внешней составной части экрана, защищенной дополнительно прочным стеклом типа "гориллы" или сапфира. Для того, чтобы создать проводник, наносят специальное нанопокрытие, например, из легированного диоксида олова, что непросто. А какой из материалов, перечисленных ниже, предлагается сейчас, чтобы сделать обычное стекло прозрачным проводником?

фуллерен

графит

графан

оксид графена

наноалмаз

сажа

белая сажа

Вопрос №31



У кота – усы. Кот на снимке вообще чем-то сильно удивлен, и усы у него шикарные. По-английски усы – это вискеры (whiskers), точно так же называют часто нитевидные кристаллы, которые занимают особое место среди всех кристаллов. Какие особые свойства известны у нитевидных кристаллов? (кот сфотографирован в магазине сибирской косметики на Воробьевых горах)

такие кристаллы имеют красивую огранку и ярко блестят

они в десять раз прочнее обычных кристаллов

они в сто раз лучше проводят электрический ток

они обладают в тысячу раз более низким порогом электролюминесценции

они обладают самой высокой химической активностью

они удобны для изучения изотропных свойств кристаллов

Вопрос №32



Собаки – наши лучшие друзья. Обаяшки. И еще у них шикарно развито обоняние, они могут даже учуять взрывчатку в багаже и предотвратить теракт. И не только. Какие из наноматериалов, перечисленных ниже, используются в устройствах "электронный нос" для тех же, антитеррористических, целей? (собака сфотографирована в Суздале прошлым летом)

белая сажа, диоксид кремния

оксид графена

асбест

диоксид олова

пластическая сера

наноалмазы

наносеребро

кассиев пурпур

полиметилметакрилат

крезол

Вопрос №33



Да, все мы млекопитающие, а молоко для детей – очень важный продукт. А почему оно белое? (белочка была накормлена орешками и сфотографирована около химического факультета МГУ)

лактоза в молоке поглощает синий, красный и зеленый свет

молоко – абсолютно белое тело (антипод углеродных нанотрубок) и не поглощает никаких длин волн

молоко – это природный фотонный кристалл, в котором наблюдается дифракция света в видимой области

молоко белое из-за интерференционного эффекта Фабри-Перо

Вопрос №34



Птица страус очень быстро бежит, но не летает. А зачем ей перья, если не летает? С практическими функциями каких из перечисленных ниже материалов наиболее близки функции перьев страуса? (птичка сфотографирована в зоопарке города Сочи)

металлические дендриты

квантовые точки

аэрогели

нанобетон

графен

наночастицы золота

высокодисперсный диоксид титана

наноленты оксида цинка

Вопрос №35



Эти рыбки, сфотографированные в одном из заповедников Хорватии ясным солнечным днем, красиво плавают среди водорослей и чего-то едят, в том числе хлеб, который иногда бросают туристы. А какие из наносистем, перечисленных ниже, могут демонстрировать свойства "нанопловцов"?

золотые нанопули в организме больного (нанопалочки золота при облучении светом в окне прозрачности тканей)

частицы-янусы на основе диоксида кремния и наночастиц платины в перекиси водорода

монослоевая дисперсия дисульфида молибдена в этаноле

капсиды в растворе глюкозы

Вопрос №36



Очень часто, даже в серьезных научных журналах, встречается понятие "структурный цвет". И бабочки приводятся в качестве примера. Почему бабочки – яркий пример структурного цвета? (бабочка сфотографирована два года назад на лугу во Владимирской области)

потому что структура красителей крыльев является уникальной

потому что пигменты, растворенные в крыльях, являются наноразмерными

потому что хромосомные группы красителей имеют особую структуру

потому что чешуйки упорядочены и образуют микродифракционную решетку

потому что многослойные крылья бабочек обладают ярко выраженной интерференцией Фабри-Перо

крылья бабочек содержат плазменные наночастицы, которые экранизируют электромагнитные поля

Вопрос №37



Маленький енот Степашка, спрятанный от туристов в клетку (а не наоборот), может абстрактно олицетворять плазмонный резонанс в наночастицах. Почему?

(сфотографирован в лагере во Владимирской области)

у него красивые глаза

клетка – это кристаллическая решетка, а Степашка – фонон

клетка – это кристаллическая решетка, а Степашка – плазмон, который сидит внутри и не выпрыгивает

клетка – это кристаллическая решетка, а Степашка – плазмон, который частично выпрыгивает и образует колеблющийся диполь

вообще ничего непонятно

плазмонного резонанса не существует

наночастицы не демонстрируют плазменного резонанса, он характерен только для объемных металлов

Вопрос №38



Всем известен эффект лотоса, как показано на фотографии (сфотографировано в маленьком болотце около Дмитровского кремля три года назад). И лотос (точнее, наша

кувшинка) виден, и округлая капля в центре. А в каких условиях эффект лотоса не сможет на этом цветке реализоваться?

в вакууме

при повышенном атмосферном давлении (например, в глубокой пещере)

при повышенном давлении водяных паров (при 100% влажности)

если цветок обрызгать маслом

если цветок заранее обрызгать водой

эффект лотоса существует всегда!

Вопрос №39



На экране – зеленые твари, ползущие на закат около фундаментальной библиотеки МГУ. На самом деле это коллаж из зеленых тлей, наполненных высосанным из растений соком и хлорофиллом (макрофотография тли делалась весной на березе около биофака МГУ). В какой области сейчас практически используют производные хлорофилла?

в фармацевтике, в составе витаминов, содержащий магний

в фармацевтике, для сердечных лекарств, содержащих магний

в солнечных батареях на основе гибридных перовскитов в качестве сенситизатора

для кислотно-основных индикаторов в лабораторной практике

в качестве бытового красителя

в онкологии, для фотодинамической терапии

в экологии, как фотокатализатор для расщепления примесей в воде

Вопрос №40



Пена морская, волны Черного моря, на побережье Адлера около ОЦ "Сириус", солнечный день, корабль и облака на горизонте... А где пена на основе электролитов используется в области нанотехнологий? (фото прошлого года, около ОЦ "Сириус")

для магнитной флотации железной руды

для создания многослойных микрокапсул для доставки лекарств

для аккумуляции кислорода в гетерогенных микрожидкофазных реакциях

для создания пеноалюминия

для создания пенографита

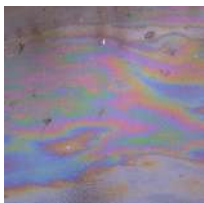
Вопрос №41



Облака над Землей – романтичный символ свободы. А что они представляют собой с точки зрения классификации дисперсных систем? (фотография через иллюминатор во время перелета в Китай)

гидрозоль
фотонный кристалл
суспензия
эмульсия
аэрозоль
монослоевая дисперсия
тиксотропный коллоид
неньютоновская жидкость
аэрогель
аэросил

Вопрос №42



Бензиновый цвет – одно из странных определений цветовых оттенков, популярное у субкультуры прекрасной половины Человечества. Можно сделать мыльные пузыри "бензинового цвета", "бензиновый цвет" все чаще используют в оформлении одежды и интерьера. Какое явление отвечает за формирование "бензинового цвета"? (на фотографии – бензиновые пятна, сфотографированные в районе Ленинского проспекта в Москве)

интерференция
дифракция
рассеяние на наночастицах примесей
люминесценция
самосборка молекул олефинов на неровностях асфальта
частичное окисление полиароматики кислородом воздуха
формирование "вязких пальцев" с прослойкой воды

Вопрос №43



Темная аллея летним вечером. Туман, скамейка. Каменная дорожка. Кстати, а какую

модную структуру наномира напоминает эта дорожка? (сфотографировано летним вечером в Подмосковье)

графан
графин
графен
наноалмаз
фуллерен
полиацетилен
пленку Ленгмюра-Блоджетт
нафталин
бензол

Вопрос №44



Белые ночи Петербурга. Мост Петра Великого (именно здесь было сделано фото 2 года назад). Трассеры светодиодной подсветки автобуса. Мы уже почти забыли, что такое лампы накаливания, и вот, эра светодиодов настала. А какие полупроводниковые материалы активно применяются для создания белых светодиодов?

германий
углеродные нанотрубки
селенид кадмия
сульфид цинка
теллурид кадмия
фосфид индия
нитрид галлия
карбид кремния
оксид графена

Вопрос №45



Золото звезды Московского университета. Не все то золото, что блестит. Если вдруг золото на звезде МГУ – не золото, то что это может быть? Какой по составу материал мог бы быть покрытием, очень похожим на золото? (сфотографировано телеобъективом с расстояния в 600 метров 3 года назад)

сера
сульфид цинка
карбид кальция
оксид меди (I)
дисульфид олова

иодид свинца
фосфат серебра
вольфрамовые бронзы
нитрид титана
селенид индия



Викторина для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Ответы. Живой мир. Микромир. Наномир. Нанохимический диктант

Правильные ответы и пояснения



1. Правильный ответ: вирусы.

Макрофаги – это клетки, «пожирающие» все неправильное, что они могут съесть. Они никак не могут работать на внутриклеточном уровне, размер и функционал не позволяет. Эритроциты, лейкоциты и тромбоциты – очень хорошие и правильные клетки, содержащиеся в нашей крови, они тоже не могут считаться зловредными и сумасшедшими, выполняя свои заранее заданные, очень полезные для организма функции. Аксоны тоже большие и составляют важнейшую часть нашей нервной системы. Их разрушение, а не существование как таковое, лишь может вызвать сумасшествие. Но и они, как и желудочные бактерии, эритроциты, макрофаги, эритроциты, лейкоциты, тромбоциты работают как клетки, на клеточном уровне. И только вирусы проникают внутрь клеток, встраиваются в их цепочку репликации и начинают самовоспроизводиться как чужеродные объекты (нанороботы-убийцы), злонамеренно ломая работу не только клеток, но и всего организма. Небольшая подсказка про вирусы связана с картинкой в задании.

2. Правильный ответ: краун-эфиры,

которые представляют собой небольшие молекулы (лиганды) со специальными атомами кислорода (эфирными функциональными группами), способными захватывать подходящие для них по размеру ионы внутрь себя. Они не предназначены для связывания с большинством имеющихся лекарств. Для того, чтобы быть контейнером, да еще и для доставки лекарств, материал должен обладать большой внешней или внутренней поверхностью и быть биосовместимым. Этим свойством вполне обладают наноалмазы, пористый диоксид кремния,

липосомы, везикулы и пузырьки, дисперсный гидроксилапатит, поэтому для всех из них уже предпринимались попытки использования в наномедицине именно для доставки или пролонгированного высвобождения лекарственных препаратов.

3. **Правильный ответ: золотые наностержни.**

Увы, в случае онкологических заболеваний антибиотики не являются эффективными. Углеродные нанотрубки, графен и наноалмазы, конечно, могут находиться в организме, однако сложно придумать вразумительный физический принцип, на основе которого они могли бы терапевтически воздействовать на опухоль. Иммуностимуляторы действительно используют для повышения иммунитета организма как часть комплексной терапии онкологических заболеваний, однако обычно это молекулярные органические соединения, которые не называют «волшебными пулями». Наиболее близки по принципу действия к волшебным пулям порфирины и фталоцианины, производные которых входят в состав препаратов для фотодинамической терапии опухолей. Принцип такого подхода состоит в том, что указанные молекулярные соединения рассеиваются с кровью по всему организму, попадая, в том числе, в саму опухоль. При облучении видимым светом фталоцианины и порфирины могут генерировать активные формы кислорода, которые разрушают окружающие ткани, например, сам очаг онкологического заболевания. При этом вся кожа больного становится фоточувствительной и ему не рекомендуется выходить на прямой яркий свет без защитной одежды. Подсказкой на правильный ответ была картинка – кадр из фильма «Агент 007» («Gold Finger»), где изображен золотой пистолет, стреляющий золотыми пулями. Действительно, наночастицы золота продолговатой формы могут поглощать в области, близкой к «окну прозрачности» мягких тканей и кожного покрова человека (на границе «красной» и «инфракрасной» области спектра). Поэтому при локальном введении таких наночастиц в очаг поражения они могут быть облучены светом с длиной волны 0.9 – 1 микрон, что приводит к эффективному его поглощению наночастицами и, в том числе, локальному разогреву опухоли, снижающему скорость ее роста. «Золотая пуля» убивает опухоль. Тем не менее, в повседневную практику этот метод до сих пор не внедрен и остается экспериментальным.

4. **Правильный ответ: переменное магнитное поле.**

Микроволновое излучение, инфракрасный нагрев эффективен для тканей организма, даже не содержащих никаких наночастиц оксидов железа. Токи Фуко разогревают хорошо проводящие объекты, например, металлы. Электрическое поле не будет проникать в организм глубоко и не будет действовать селективно на магнитные наночастицы смешанного оксида железа (не путать с электропунктурой и локальной контактной генерацией электрического тока). Постоянное магнитное поле может изменять траектории движения магнитных наночастиц, но не разогревать их. И только переменное магнитное поле будет и селективно взаимодействовать с магнитными наночастицами, и при правильном подборе частоты рассеет часть своей энергии в тепло на магнитных наночастицах внутри больного за счет их перемагничивания с «запаздыванием» или за счет других известных механизмов релаксации.

5. Правильный ответ: протонный насос.

Согласно общепринятым постулатам, настоящий наноробот (даже биологический) должен двигаться и шевелиться, поэтому ни криста, ни мембрана, ни митохондрия целиком не очень подходят на роль наноробота, хотя митохондрия, конечно, является важнейшей энергетической фабрикой организма, использующей молекулярные переносчики (цитохромы) в своей электрон-транспортной цепи, а также неподвижную конструкцию – убихиноновый комплекс, встроенный в мембрану митохондрии. Протонный насос тоже встроен в мембрану, но он реально имеет вращающиеся части, которые помогают перекачивать протоны через мембраны, создавая их градиент, что позволяет завершаться сложной «дыхательной» цепочке окислительно-восстановительных реакций в митохондрии. В связи с этим, именно протонный насос считается наноэлектромеханическим устройством природного происхождения и отлично подходит на роль наноробота.

6. Правильный ответ: гидроксиапатит (гидроксилапатит).

Карбонат кальция используют улитки и всякие моллюски для своих раковин, сульфат кальция применяют строители и архитекторы (всем известен гипс), стронций не особо приветствуется живыми организмами вообще, графен – творение человека, а не живой природы, карбонат магния – лишь минерал (вместе с карбонатом кальция образует доломит), фосфат натрия и гидроксид кальция («гашеная известь») достаточно хорошо растворимы, последний также создает непереносимую для живого организма щелочную среду. Октакальциевый фосфат – это ближе к ответу, но он считается лишь предшественником правильных фосфатов, например, гидроксилапатита, формирующих наш скелет. А вот наночешуйки гидроксилапатита действительно входят в состав костей в качестве специфических строительных блоков этого удивительного природного композитного материала (как показано на рисунке), их размер, конечно, может варьироваться, но составляет нанометры (5 – 10) в латеральном размере и несколько нанометров в толщину.

7. Правильный ответ: генерация синглетного кислорода.

Говорить про высокую химическую активность кремниевой кислоты, быстро реагирующей с живыми тканями организма, не приходится. При указанных воздействиях сам кремний не будет реагировать с водой и физиологическими жидкостями, тем более, не будет генерироваться никакая щелочь, с аминокислотами кремний также не будет взаимодействовать, он демонстрирует очень высокую биосовместимость. Нанокремний не способен конвертировать лазерное излучение в микроволновое. Иммунный отклик организма не будет повышаться из-за рассеяния света на частицах кремния. Нагрев кремния вплоть до температур денатурации белка лазерным излучением не столь эффективен как происходящая при фотовозбуждении кремния генерация активных форм кислорода, в том числе и синглетного, который негативно воздействует на раковые клетки в очаге поражения после проникновения в них наночастиц кремния.

8. Правильный ответ: оксид железа (II, III).

В основе метода МРТ лежит скрининг поведения ядер атомов водорода (которых, разумеется, очень много в любой биологической ткани) в сильном внешнем

магнитном поле. Любые вещества, локально концентрирующие линии магнитного поля, будут помогать «контрастировать» окружающее пространство, потому что локальная напряженность магнитного поля около таких частиц увеличивается. Из приведенных вариантов только наночастицы оксидов железа (ферромагнитные или суперпарамагнитные) способны на это.

9. Правильный ответ: квантовые точки селенида кадмия.

Кремний (и нанокремний, и его высокодисперсный диоксид – белая сажа) не являются токсичными, некоторые живые организмы используют его для создания скелета, диоксид кремния входит в качестве наполнителя в различные лекарства, может работать энтеросорбентом, всем известен силикагель, используемый без ограничений. Графит химически инертен. Элементарную серу использовали в сельском хозяйстве и некоторых рецептах народной медицины. Из гидроксипатита состоит наш скелет. Золото, как благородный металл, весьма химически инертно и его пагубного влияния на организм человека не выявлено. А вот квантовые точки селенида кадмия содержат селен, который нужен нашему организму в ничтожных лишь количествах, но главное – крайне токсичен тяжелый металл кадмий, поэтому из всего перечисленного квантовые точки селенида кадмия будут самыми опасными.

10. Правильный ответ: диоксид титана генерирует потенциально опасные радикалы

Диоксид титана – достаточно стабильное и прочное вещество, являющееся широкозонным полупроводником, хорошо поглощающим ультрафиолетовый свет и плохо – в видимой области (поэтому диоксид титана имеет белый цвет). На этом, собственно, и основано его защитное действие от ультрафиолета. Но поглощенная энергия не может исчезнуть бесследно, поэтому возбужденный ультрафиолетом диоксид титана содержит в себе электрон-дырочную пару, возникновение которой приводит к реакции с ней (а не с самим веществом) органических молекул, воды и кислорода, контактирующих с развитой поверхностью диоксида титана. В результате могут образовываться высокоактивные молекулы, содержащие неспаренные электроны – радикалы, которые будут реагировать практически с любыми окружающими веществами, включая и органическую составляющую крема, и биополимеры (кожа). Они являются потенциально опасными, хотя состав крема от загара подобран так, чтобы нивелировать подобное воздействие. При использовании диоксида титана в качестве фотокатализатора, напротив, происходит разрушение большинства органических молекул вплоть до воды и диоксида углерода в сложной цепочке запущенных радикалами химических превращений. Ультрафиолет не разрушает диоксид титана, хотя длительное воздействие может привести к его пожелтению (генерации решеточных дефектов). Инфракрасное излучение диоксид титана поглощает не слишком эффективно и оно не вызывает в нем каких-либо изменений. Сам по себе, химически, диоксид титана не реагирует с органической частью крема и не был замечен в том, что легко проникает через кожу. Несмотря на то, что применение диоксида титана для создания «водоотталкивающих» покрытий известно, в данном случае вряд ли он может вызвать эффект лотоса и, тем более, дегидратацию кожи.

11. Правильный ответ: опал.

Окраска самородного золота обусловлена тем, что это металл и электронный газ, существующий в кристаллической решетке, активно взаимодействует с внешним электромагнитным излучением (химики подчеркивают, что желтая окраска обусловлена особенностями d-d взаимодействий). Блестящий золотистый пирит (FeS_2), бесцветный корунд (оксид алюминия), бесцветный берилл (этот алюмосиликат содержит не только бериллий, но и примеси ионов переходных металлов, придающие ему различную окраску), черный блестящий антрацит (собственно, углерод) обладают своим цветом в силу взаимодействия света с самой кристаллической решеткой. Цеолит в своей структуре содержит различные каналы, но это тоже часть кристаллической решетки и никак не сказывается на особенностях окраски. Яшма и малахит имеют часто очень интересную окраску и своеобразный рисунок, похожий на квазипериодическую структуру, но это связано с перераспределением (осаждением) примесей другого состава (по сравнению с основным веществом минерала) и поэтому другой окраски в процессе формирования минерала (известным аналогом этого явления можно считать формирование колец Лизеганга). Слюда может быть радужно окрашенной, но это происходит тогда, когда при механическом расщеплении этого слоистого минерала вдоль плоскостей спайности случайно формируются зазоры микронного размера, дающие в отраженном свете интерференционные кольца Ньютона. И лишь опал формирует как свой основной структурный мотив правильную плотнейшую упаковку микросфер диоксида кремния одного и того же размера и состава («коллоидный кристалл»), фактически создавая дифракционную решетку и вызывая иризацию опала, то есть возникновение по-разному окрашенных областей (доменов) при повороте минерала относительно падающего света, за что он и ценится. Это явление вызвано тем, что поглощение (дифракция) света различной длины (в составе белого света) более эффективно происходит под своими специфическими углами относительно плоскостей упорядоченной решетки микросфер, иными словами, в каждый конкретный момент времени хаотично ориентированные домены в составе опала будут окрашены по-разному, потому что содержат «свои» направления относительно падающего света. Таким образом, данный вариант окраски обусловлен только структурными (морфологическими) особенностями упорядочения внутри доменов коллоидного кристалла, а возникающая при этом окраска (иризация, цвет) могут считаться «структурными».

12. Правильный ответ: интерференция.

Все варианты с рассеянием (Рэлеевское рассеяние, совершенно специфический вариант комбинационного рассеяния света, эффект Тиндаля, опалесценция) и поглощением (экстинкция) не являются эффективным объяснением столь широкого варьирования оттенков цвета, фактически по всей цветовой гамме. В мыльном пузыре нет молекул, электронные переходы в которых при возбуждении видимым светом вызывали бы люминесценцию. В пузыре также нет столь упорядоченных элементов, которые бы могли позволить заподозрить дифракцию в изменении цвета. Остается интерференция, возникающая из-за малой и меняющейся во времени толщины стенок пузыря, внешняя и внутренняя стенки которого могут частично отражать свет с небольшой разницей хода лучей, приводящей к частичному погасанию или усилению суммарной амплитуды волны, то есть к изменению

видимой окраски («цветных разводов») при рассматривании пузыря в белом падающем свете.

13. Правильный ответ: углеродная нанотрубка.

Для работы полевого транзистора (на то он и полевой) требуется элемент, накачка в который носителей заряда за счет туннелирования через диэлектрическую прослойку (в классической схеме), во-первых, возможна, а во-вторых, резко увеличит проводимость такого элемента. Так ведут себя полупроводники, поэтому ни полимеры – изоляторы (ДНК, вирус табачной мозаики, полимерное волокно), ни диэлектрики (кварц), ни металлы (золотая нанопроволока) не подойдут. В одних (диэлектриках) носителей нет и не предвидится, в других (металлы) их слишком много и скачка сопротивления при накачке носителей на общем фоне их высокой концентрации не будет. Фуллерены – это молекулы, поэтому наилучшим вариантом являются углеродные нанотрубки в такой конформации (закрутке), что они приобретают «полупроводниковые» свойства.

14. Правильный ответ: туннелирование.

Барботирование – это пропускание пузырьков газа через раствор, конечно, не подходит. Выделение джоулева тепла не может сделать прослойку более проницаемой для электронов. Легирование – это процесс создания материала, не явление. Бозе-конденсация имеет отношение к сверхпроводящим материалам, не к диоксиду кремния и не к полупроводникам. Электромагнитная индукция и поляризация в данном случае не имеют прямого отношения к работе полевого транзистора, поэтому остается туннелирование, которое, действительно, если оно существенное и неконтролируемое, может помешать работе устройства.

15. Правильный ответ: нитрид галлия.

Если убрать нестабильные и взрывчатые вещества (нитрид серебра, азид натрия, азид ртути, фульминат свинца), а также такую токсичную экзотику как амид таллия, а также материал покрытия режущих инструментов и имитатор золота нитрид титана, то останется полупроводник нитрид галлия, который с успехом используется в светодиодах.

16. Правильный ответ: Мксены.

Кубический нитрид бора, ситал не обладают слоистой структурой, слоистые минералы каолин и слюда – диэлектрики, графит – прародитель графена, графан – гидрированное производное графена, в котором углерод sp^3 -гибридизован (то есть «не плоский» и с насыщенными связями). И лишь слоистые карбиды М-ксены при расщеплении успешно превращаются в материалы, которые по свойствам приближаются к графену, а в чем-то и лучше его.

17. Правильный ответ: квантовые ступеньки проводимости.

При вытягивании золотая проволока не становится ни сверхпроводящей, ни сверхтекучей, плазмоны (коллективные колебания электронного газа, квазичастицы) характерны для всех металлов и в объемном, и в наноразмерном состоянии,

лазерная абляция – технологический процесс нанесения тонких пленок, лазерная генерация также не относится к золотой проволоке, электроосмос – обычный процесс, используемый для многих дисперсных систем, а вот нарушение закона Ома и возникновение ступенек проводимости при уменьшении диаметра проволоки относится к явлениям квантования в наномире.

18. Правильный ответ: серебряные нанозвезды.

Среди представленных вариантов нужно искать металлы, поскольку в них очень высока концентрация носителей заряда (есть «электронный газ»), это могут быть только серебряные нанозвезды, который, действительно, обладают явлением плазмонного резонанса.

19. Правильный ответ: телевизоры.

Квантовые точки планируют, в том числе, использовать в различных приложениях, связанных с люминесценцией, например, это уже произошло в случае современных поколений телевизоров, производимых отдельными известными фирмами.

20. Правильный ответ: метаматериалы.

Наверное, можно было бы считать таким материалом жидкие кристаллы или квантовые точки для использования в дисплее, отображающим изображение за скрываемым объектом, которое снимается специальной камерой. Но это слишком сложно и не может считаться прямым ответом на вопрос. Суперпарамагнетики, сегнетоэлектрики, сверхпроводники, графен и наноалмазы далеки от оптики, скрывающей объекты. Напрямую служить материалом для создания шапки-невидимки (правда, пока для очень маленьких объектов) могут метаматериалы с отрицательным коэффициентом преломления.

21. Правильный ответ: гелий.

Среди предлагаемых ответов нужно искать такое вещество, у которого просто нет наноуровня структуры, видимо, это инертный газ гелий.

22. Правильный ответ: белая сажа.

Лед, стекло, антрацит, бриллиант обладают небольшой площадью поверхности, которая видна невооруженным глазом. Сандаловое дерево – это тоже плотный объемный материал. К дисперсным системам относятся только белая сажа, мука и мыльная пена. Мыльная пена имеет достаточно большой (чаще всего, видимый невооруженным глазом) размер ячеек с воздухом, поэтому ее площадь поверхности не является максимальной из вышеперечисленных. Выбирая из обычной муки и белой сажи, следует отдать предпочтение последней, потому что белая сажа – это очень высокодисперсный диоксид кремния, который получают сжиганием паров тетрахлорида кремния, поэтому это система с самыми малыми по размеру частицами с максимальной суммарной площадью поверхности.

23. Правильный ответ: саморазмножение.

Все пункты, кроме саморазмножения, достаточно характерны для многих дисперсных систем (систем с небольшими по размерами частицами), поэтому, очевидно, не противоречат существующим научным знаниям. А вот саморазмножение требует, как минимум, энергии и вещества, которые не могут взяться ниоткуда, а также очень сложной организации наноробота, поэтому не стоит бояться серой слизи, она не сможет размножиться. К слову, распространение вирусов использует энергию человека (животного) – хозяина и его же аминокислоты, а также другие биополимеры, что решает проблему размножения вирусов, которые очень похожи по многим функциям на нанороботов.

24. Правильный ответ: наноалмаз.

Во всех перечисленных соединениях и аллотропных модификациях углерода только у алмаза наблюдаются насыщенные связи углерод – углерод, что увеличивает число ближайших соседей. Более того, если это и правда наноалмаз, то у него наблюдается «икосаэдрическое», «кластерное», «оболочечное» строение, то есть он похож на плотную «луковицу», в которой оболочки вставлены внутрь так, что прочность и плотность упаковки становится даже выше, чем у обычных бриллиантов.

25. Правильный ответ: флеш-память для фотоаппарата.

Современные карты флеш-памяти (на многие гигабайты, например, 32, 64, 128 Гб), особенно быстрые, для фотоаппаратов производятся с использованием литографических технологий с минимально контролируемыми размерами элементов 90, 45, 22, 14 нм, все из которых уже давно меньше 100 нм, то есть, по определению IUPAC, относятся к области нанотехнологий.

26. Правильный ответ: нанокатализатор нарушал закон сохранения энергии.

Если не принимать в расчет явно провокационных ответов, что нужен более качественный бензин и что Волга может, вероятно, не выдержать больших перегрузок, а также, к сожалению, очевидную вещь, что катализаторы дешевой не отличаются, то остается вопрос, что же такое катализатор. Если это катализатор, то он не должен уменьшать свою массу в процессе осуществления катализируемой реакции. Гипотетически катализатор может очень сильно ускорить процесс сгорания бензина, который и так медленным не назовешь. Остается одна, но принципиальная, проблема, связанная с тем, что катализатор не способен выжать из обычной химической реакции превращения бензина и кислорода в воду и диоксид углерода больше энергии, чем она дает обычно. Никакой катализатор не может произвести энергию из ниоткуда, потому что это напрямую нарушает фундаментальный закон сохранения энергии.

27. Правильный ответ: произошло окисление железа.

Нанороботы, если бы они были, не могли иметь мощных челюстей, способных покусать железо, кроме того, невозможно превратить одну химическую связь в другую для тех же самых элементов, особенно имея в виду металлическую связь и вандерваальсову, комнатнотемпературный термояд не существует, для

электромагнитного импульса у нанороботов просто не хватит силенок (внутренней энергии). Поэтому максимум, что они могли бы без нарушения законов природы сделать – это ускорить окисление стали, что и так происходит, фактически, провести окисление в быстром режиме. В принципе, это возможно. Например, высокодисперсное (пирофорное) железо сгорает при контакте с воздухом само и очень быстро – за долю секунды.

28. Правильный ответ: зонтики.

Большинство из перечисленных применений не исключают использование наноматериалов, но только зонтики нуждаются в супергидрофобности, которая создается структурой, подобной той, что имеют лапки ящериц геккона. Таким образом, главное свойство лапок – их структура, а висеть ли чему на потолке или «отталкивать» капли воды – это лишь полезные последствия.

29. Правильный ответ: технеций.

Абсолютно все перечисленные элементы, несомненно, входят в состав материалов и наноматериалов, которые используются в солнечной энергетике, кроме дорогого и радиоактивного технеция.

30. Правильный ответ: оксид графена.

Для получения полупрозрачной проводящей пленки нужен материал, который в тонких слоях обладал бы высокой проводимостью. Графит – это объемный материал. Графан – не графен, он содержит углерод с полностью насыщенными связями после гидрирования. Наноалмаз и белая сажа (диоксид кремния) проводят электрический ток плохо. Из сажи сложно сделать тонкие слои с хорошей проводимостью. Фуллерен – молекула, которая должна очень близко располагаться к другой такой же, чтобы вообще что-то проводить, да и очень дорогое это вещество, особенно для массового производства. Таким образом, и это известно, оксид графена (восстановленный оксид графена) способен создать хорошо проводящие оптически прозрачные слои, которые могут быть востребованы в производстве сотовых телефонов.

31. Правильный ответ: они в десять раз прочнее обычных кристаллов.

Как правило, кристаллы-«усы» существенно, почти на порядок, прочнее обычных, поскольку механизм их роста (обычно по механизму пар – жидкость – кристалл) исключает на первых порах участие в росте протяженных дефектов (дислокаций), которые делают обычные кристаллы более пластичными и менее прочными.

32. Правильный ответ: диоксид олова.

Диоксид олова, являющийся широкозонным полупроводником, широко используется для создания полупроводниковых резистивных сенсоров. При сорбции на развитой поверхности слегка разогретого ультрадисперсного диоксида олова оксидов азота или молекул с нитрогруппой от взрывчатки происходит существенное изменение сопротивления материала, что позволяет использовать его в качестве основного

компонента «электронного носа» на взрывчатые вещества. Хотя таможенники и пограничники все еще предпочитают собак.

33. Правильный ответ: молоко – это эмульсия и эффективно рассеивает свет в видимой области.

Молоко – это, конечно, не истинный раствор, а эмульсия и эффективно рассеивает свет в видимой области без особых предпочтений по длинам волн. Поэтому если свет вокруг белый, то ничего селективно молоко не поглощает и рассеивает то, что на него падает, в результате кажется нам белым.

34. Правильный ответ: аэрогели.

Аэрогели, представляющие собой суперлегкие полупрозрачные материалы (иногда с фрактальной структурой) с 90% микро- и «нанопор», обладают очень низкой теплопроводностью и плохо смачиваются водой из-за достаточно небольшого количества атомов на их поверхности. Похожими свойствами обладает, по всей видимости, и пушистая перьевая «шуба» страусов.

35. Правильный ответ: частицы-янусы на основе диоксида кремния и наночастиц платины в перекиси водорода.

Для движения нужна 1. энергия, 2. вектор движения / асимметрия. Указанным признакам удовлетворяют своеобразные наноконпозиты частицы-януса на основе микрочастиц диоксида кремния, покрытых с одной из сторон наночастицами платины, которые служат эффективным катализатором разложения «топлива для движения» – перекиси водорода.

36. Правильный ответ: потому что чешуйки упорядочены и образуют микродифракционную решетку.

При достаточно большом увеличении можно увидеть, что крылья бабочек содержат структурно упорядоченные микроэлементы, например, чешуйки, которые упорядочены и образуют микродифракционную решетку, период которой предназначен для дифракции света определенных длин волн. В результате крылья визуально приобретают определенный цвет.

37. Правильный ответ: клетка – это кристаллическая решетка, а Степашка – плазмон, который частично выпрыгивает и образует колеблющийся диполь.

Все же плазмонный резонанс экспериментально обнаружен, это одно из свойств наночастиц, зависящих от их размера. Плазмон – коллективное колебание электронного газа (обычно в металлических частицах, где очень много носителей заряда). Именно поэтому наночастицы металлов так хорошо поглощают видимый свет, при этом в наибольшей степени в той области, где размер позволяет возбудить стоячие волны колебаний электронного газа, которые определяются физическим размером наночастицы. Возникновение таких плазмонов связано с появлением диполей, которые формируются катионным остовом кристаллической решетки и смещенным электронным газом. Поэтому наиболее близко к данной ситуации

утверждение, что клетка – это кристаллическая решетка, а Степашка – плазмон, который частично выпрыгивает и образует «колеблющийся диполь».

38. Правильный ответ: в вакууме.

Эффект лотоса, или супергидрофобность поверхности, реализуется не столько из-за наличия различных волосков или выростов, с которыми происходит ограниченный по площади контакт водяной капли, но и из-за того, что внутри такой структуры существует воздух, который образует интерфейс (границу раздела) с водной каплей, то есть мениск. Воздух упругий, ему некуда деваться, поэтому капля не заходит внутрь структуры (наноструктуры) на поверхности. Но вот если воздух убрать, то что в вакууме будет мешать жидкости растечься по всей структуре, особенно с учетом различных капиллярных сил? Конечно, есть одно «но» – в вакууме капля воды вскипит, но теоретически именно вакуум позволит пресечь эффект лотоса.

39. Правильный ответ: в онкологии, для фотодинамической терапии.

Производные хлорофилла сейчас наиболее активно применяются в онкологии для реализации фотодинамической терапии, которая основана на генерации активных форм кислорода при фотовозбуждении производных хлорофилла.

40. Правильный ответ: для создания многослойных микрокапсул для доставки лекарств.

Пена – это большая и интересная тема для нанотехнологий, в частности, за счет самосборки полиэлектролитных слоев предполагается делать микропузырьки с целью создания многослойных капсул для доставки и контролируемого высвобождения лекарств.

41. Правильный ответ: аэрозоль.

Обычно облака считают аэрозолем – распределенными в воздушной среде микрокаплями воды.

42. Правильный ответ: интерференция.

Компоненты нефти / бензина не смешиваются с водой, растекаясь по ней тонкой пленкой. Настолько тонкой, что на разных ее участках различной толщины начинается интерференция света тех или иных длин волн, в результате белый свет делает такую пленку радужной.

43. Правильный ответ: графен.

Больше всего это похоже, судя по упаковке шестиугольников, на графеновую ленту.

44. Правильный ответ: нитрид галлия.

Нитрид галлия (часто легированный индием) используется как синий полупроводниковый излучатель, который возбуждает нанесенную на него смесь

люминофоров, дающую дополнительные цвета для формирования теплых и холодных оттенков белого света.

45. Правильный ответ: нитрид титана.

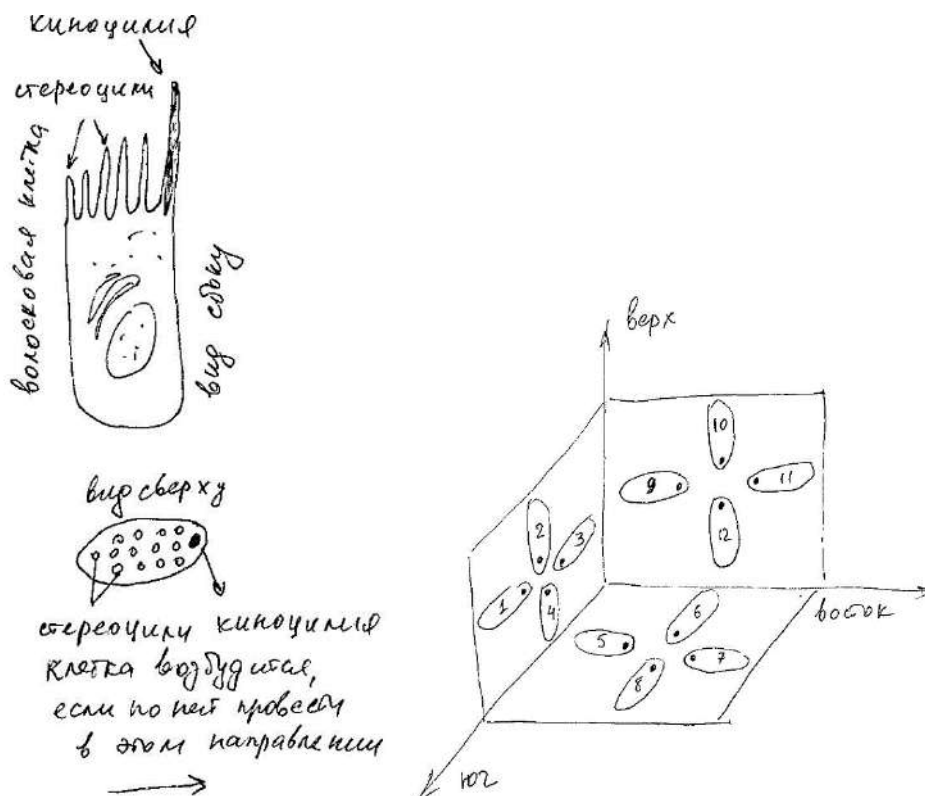
Нитрид титана чаще всего используют, чтобы получить относительно дешевое, химически инертное и твердое покрытие. По крайней мере, некоторые купола церквей, часы и часть эффективного металлообрабатывающего инструмента содержит такое замечательное покрытие.

**Варианты заданий очного тура
по комплексу предметов
«биология, физика, химия, математика»
(с решениями)**



Задача 1. Внутреннее Ушко (8 баллов)

Бионический организм Внутреннее Ушко имеет орган равновесия, работающий так же, как орган равновесия человека. Он представляет собой кубик, на внутренних стенках которого расположены по 4 волосковые клетки. Волосковые клетки имеют на своей верхней (обращенной внутрь кубика) поверхности одну настоящую ресничку – киноцилию, которая расположена на одном конце клетки, и множество микроворсинок – стереоцилий (которые по своему строению не являются ресничками), длина которых увеличивается по направлению к киноцилии. На внутренней поверхности кубика находится белковая мембрана, в которую включены кристаллы карбоната кальция. Когда Ушко прыгает, мембрана, плавающая в жидкости (эндолимфе) смещается (она достаточно тяжелая, поэтому при прыжке стремится остаться на месте) и отклоняет ворсинки на поверхности волосковых клеток. Волосковые клетки деполяризуются при механической стимуляции, направленной в направлении от стереоцилий к киноцилии.



1. Как называются кристаллы карбоната кальция, включенные в белковую мембрану:
(1 балл)
А. Гастролиты
Б. Отолиты
В. Мегалиты
Г. Сталактиты
2. Мембранный потенциал каких клеток увеличится (станет менее отрицательным), когда Ушко прыгает вверх? Укажите номера клеток на рисунке, ответ поясните.
(7 баллов)

Задача 2. Элементы крови (8 баллов)

- Исходя из количества элементов крови в 1 мкл крови человека, выберите логические пары между элементами крови: эритроциты, лейкоциты и тромбоциты и цифрами: тысяча, сто тысяч и миллион. **(1 балл)**
- Каковы основные функции у эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов? **(2 балла)**
- Выберите из элементов крови те, которые наиболее эффективно можно использовать для зарядки наноробота, проникшего в форменный элемент крови и работающего на АТФ. Распишите, сколько АТФ может быть синтезировано из 1 молекулы глюкозы в эритроцитах, тромбоцитах и лейкоцитах человека. **(3 балла)**
- Какие из этих элементов крови могут быть использованы для генетических анализов на определение отцовства? Объясните свои ответы. **(1 балл)**
- Какие из этих клеток лучше подходят в качестве переносчиков нанороботов в ткани? **(1 балл)** Объясните свои ответы.

Задача 3. Пептид, проникающий в клетку (8 баллов)

Учёные синтезировали CPP (Cell Penetration Peptide) – короткий пептид, проникающий в клетку, для адресной доставки лекарственной наноконструкции. Последовательность нуклеотидов из середины кодирующего участка мРНК содержит информацию о пептиде, включая стартовый и стоп кодон.

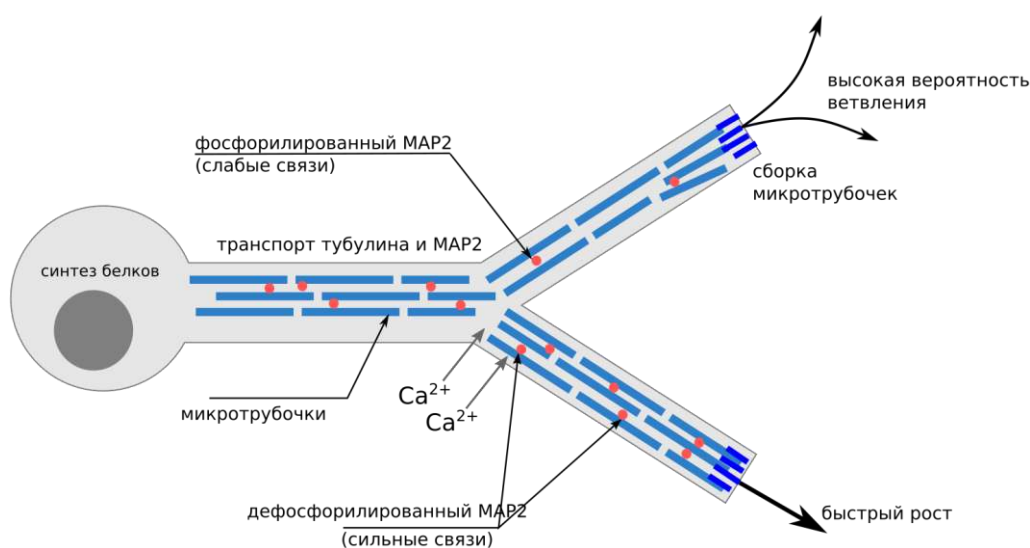
- Используя таблицу кодонов, определите закодированный пептид. **(2 балла)**

Таблица кодонов				
1-е основание	2-е основание			
	U	C	A	G
U	UUU Фенилаланин (F) UUC Фенилаланин (F) UUA Лейцин (L) UUG Лейцин (L)	UCU Серин (S) UCC Серин (S) UCA Серин (S) UCG Серин (S)	UAU Тирозин (Y) UAC Тирозин (Y) UAA Стоп-кодон (Ochre) UAG Стоп-кодон (Amber)	UGU Цистеин (C) UGC Цистеин (C) UGA Стоп-кодон (Opal) UGG Триптофан (W)
C	CUU Лейцин (L) CUC Лейцин (L) CUA Лейцин (L) CUG Лейцин (L)	CCU Пролин (P) CCC Пролин (P) CCA Пролин (P) CCG Пролин (P)	CAU Гистидин (H) CAC Гистидин (H) CAA Глутамин (Q) CAG Глутамин (Q)	CGU Аргинин (R) CGC Аргинин (R) CGA Аргинин (R) CGG Аргинин (R)
A	AUU Изолейцин (I) AUC Изолейцин (I) AUA Изолейцин (I) AUG Метионин, (M) Стартовый	ACU Треонин (T) ACC Треонин (T) ACA Треонин (T) ACG Треонин (T)	AAU Аспарагин (N) AAC Аспарагин (N) AAA Лизин (K) AAG Лизин (K)	AGU Серин (S) AGC Серин (S) AGA Аргинин (R) AGG Аргинин (R)
G	GUU Валин (V) GUC Валин (V) GUA Валин (V) GUG Валин (V)	GCU Аланин (A) GCC Аланин (A) GCA Аланин (A) GCG Аланин (A)	GAU Аспарагин. кислота (D) GAC Аспарагин. кислота (D) GAA Глутамин. кислота (E) GAG Глутамин. кислота (E)	GGU Глицин (G) GGC Глицин (G) GGA Глицин (G) GGG Глицин (G)

2. Используя буквенный код аминокислот, расшифруйте закодированное слово. **(2 балла)**
3. Средняя молекулярная масса аминокислотного остатка 110 Да, а нуклеотида – 300 Да. Сколько весит закодированный пептид **(2 балла)**, а сколько кодирующий его ген? **(2 балла)**

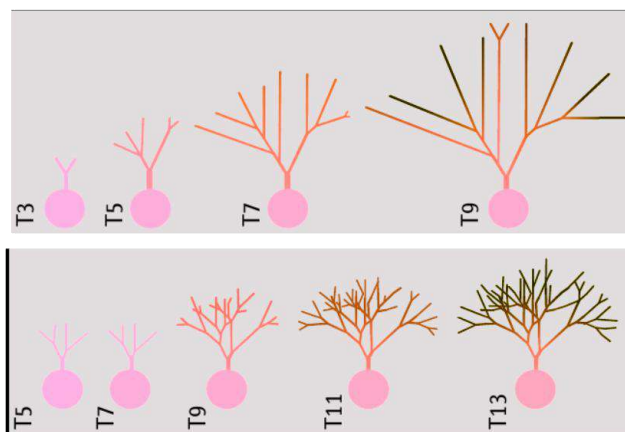
UUU UUC AUG UGC CAU GAA AUG AUU UCU ACU CGU UAU UGA CCG CCC

Задача 4. Рост нейронов (8 баллов)



Нейроны образуют сложные ветвящиеся структуры, форма их бывает весьма различной. При образовании будущих дендритов и аксонов из первичных нейритов конкурируют два процесса на конусе роста: дальнейшее удлинение данного нейрита либо его ветвление на два дочерних нейрита. Выбор между двумя вариантами зависит от того, насколько прочно связаны между собой микротрубочки поперечными сшивками. Эти сшивки обеспечиваются белком MAP2, который может быть в фосфорилированном состоянии, и тогда связи слабые, или в дефосфорилированном состоянии, и тогда связи сильные. И скорость фосфорилирования, и скорость дефосфорилирования зависят от концентрации цитоплазматического $[Ca^{2+}]$, который поступает через поверхность нейрита и может свободно диффундировать по отросткам. При этом чувствительность к $[Ca^{2+}]$ у этих процессов может быть различна.

1. Опишите функции дендритов и аксонов нейронов. **(2 балла)**
2. При каком состоянии MAP2 выше вероятность ветвления отростков, чем их роста? **(1 балл)**



3. На рисунке показаны два сценария развития нейрона (Т — время, более темные участки соответствуют более высокой $[Ca^{2+}]$). Предположим, что реализуется **верхний** сценарий. Какой процесс достигает максимальной скорости при более низкой концентрации кальция — фосфорилирования или дефосфорилирования MAP2? Свой ответ обоснуйте. **(5 баллов)**

Задача 5. Аварийный рацион (8 баллов)

Межгалактический космический корабль потерпел аварию, однако одному из космических путешественников – центавриану – удалось спастись в спасательной капсуле. Аварийный паек, рассчитанный на все разумные расы, представляет собой батончики, состоящие из воды (20%, энергетическая ценность 0 кДж/г) лецитина (40% энергетическая ценность 40 кДж/г), протеина (20%, энергетическая ценность 17 кДж/г) и крахмала (20%, энергетическая ценность 17 кДж/г). Один батончик весит 100 г, на борту капсулы есть 4 батончика. Пищеварение центавриан устроено так же, как у человека, однако они не имеют фермента, расщепляющего пептидные связи. Абсолютная минимальная потребность в энергии для центаврианина – 2000 кДж в сутки, в отличие от человека он не может прожить без питания ни одного дня. Спасательный крейсер сможет прибыть к месту аварии через 4 дня. Сможет ли центаврианин дождаться помощи? Что изменится, если у центаврианина с собой есть таблетка с наноструктурированным препаратом пепсина?

Задача 6. Начинка из фуллеренов (20 баллов)

Известно, что фуллерены обладают антиоксидантными свойствами, которые можно использовать в терапевтических целях. Профессор Варезкин предложил использовать липосомы для того, чтобы повысить растворимость фуллерена C_{60} , а также обеспечить адресную доставку в поврежденный орган.

- Молекулы фуллерена C_{60} обладают следующими свойствами (выберите нужное): **(3 балла)**
 - Имеют π -связи между атомами углерода
 - В состав одной молекулы входит 120 атомов углерода
 - Гидрофобны
 - Растворимы в воде
 - Нейтрализуют свободные радикалы

2. Схематично изобразите липосому, загруженную молекулами фуллерена, подпишите части рисунка, коротко поясните, почему схема выглядит именно так. **(6 баллов)**
3. Сколько молекул фуллерена приблизительно может быть транспортировано в одной липосоме? Для расчетов примите, что профессор Варезкин взял однослойные липосомы из смеси фосфолипидов, внешний диаметр которых составляет 100 нм, толщина липидного бислоя 10 нм, диаметр молекулы фуллерена C_{60} – 1 нм. Для упрощения расчетов считайте число π равным 3. Выберите вариант, наиболее близкий к полученному Вами числу, подтвердите его расчетами, вычисления поясните словами. **(6 баллов)**

А. 1
Б. 10
В. 50000
Г. $5 \cdot 10^{10}$
4. Какой фактор ограничивает емкость липосомы для фуллеренов? **(3 балла)**
5. Что нужно добавить в систему липосомы-фуллерен для того, чтобы обеспечить адресную доставку в пораженный орган? **(2 балла)**

Задача 7. Мутация меняет все? (20 баллов)

На одном острове обитают популяции редких мангустов, а также лягушек, кузнечиков и змей. Основным источником питания кузнечиков являются злаки. Пусть средний суммарный прирост биомассы мангуста, необходимый для его нормальной жизнедеятельности, составляет 20 кг/год. В 1 кг их биомассы содержится 200 кДж энергии.

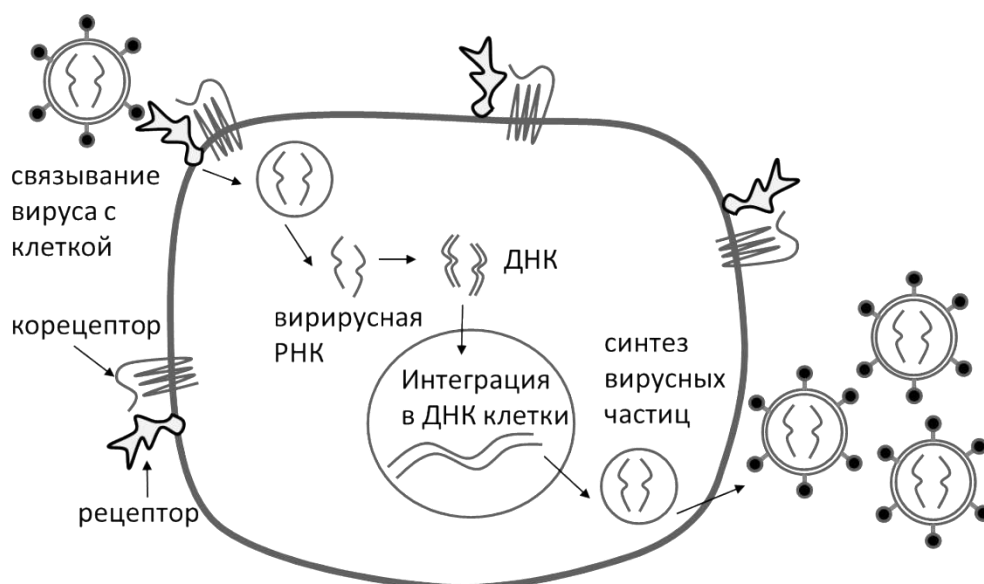
1. Как называется правило, согласно которому происходит перенос энергии с одного уровня энергии на другой? **(2 балла)**
2. Составьте трофическую цепь из обитателей острова, укажите продуцентов и консументов. **(3 балла)**
3. Определите массу злаков, необходимую для прироста биомассы мангуста за год, если в 1 кг злаков содержится 100 кДж энергии. **(8 баллов)**

Удаленность острова и его изолированность привлекли один крупный агрокультурный холдинг, который решил использовать остров для проверки своего нового удобрения, созданного на основе нанотехнологий и распыляемого в виде спрея. Сверхмалые размеры частиц значительно облегчали проникновение удобрения, облегчали его распространение, что позволило значительно экономить на его количестве. Ранее удобрение довольно неплохо показало себя на некоторых культурных злаках, однако на нашем острове опрыскивание к увеличению производительности не привело. При этом было обнаружено, что неожиданно среди злаков развилась мутация в аутосомном двухаллельном гене (**Aa**). Проявлялась мутация как появление горького вкуса у злаков, да такого сильного, что даже кузнечики отказывались их есть. В остальном горькие злаки ничем не отличались от нормальных. Эксперименты были немедленно свернуты. А компания занялась подсчетом убытков и оценкой угрозы животным острова, в первую очередь редким мангустам.

4. Оцените ущерб, нанесенный испытанием мангустам. Известно, что горький вкус развивался только у гомозигот **aa**, причем пенетрантность гена составляет 25%, а частота встречаемости аллеля **a** составляет 0,2. Рассчитайте, насколько уменьшится прирост биомассы у мангустов в следующем поколении и как это повлияет на их популяцию? **(7 баллов)**

Задача 8. ВИЧ (20 баллов)

Вирус иммунодефицита человека (ВИЧ) представляет реальную угрозу для всего человечества. По данным ВОЗ, вирусом инфицировано около 40 миллиона человек. Вирус размером 100-120 нм имеет на своей поверхности специальные белки, связывающиеся с рецептором CD4 на поверхности определенных клеток. Этому способствуют корецепторы CXCR5 и/или CCR5. После этого вирус сливается с мембраной клетки, что приводит к проникновению РНК и белков вируса в клетку. На матрице вирусной РНК с помощью особого вирусного фермента синтезируется ДНК, которая впоследствии встраивается в геном клетки.



- С какими клетками взаимодействует ВИЧ? **(1 балл)**
 - эритроцитами
 - Т-лимфоцитами
 - В-лимфоцитами
 - всеми клетками организма
- Как называется вирусный фермент, осуществляющий синтез ДНК на матрице РНК? **(1 балл)**
 - ДНК-гираза
 - ДНК-полимераза
 - РНК-полимераза
 - Обратная транскриптаза
- У некоторых людей есть врожденная устойчивость к вирусу ВИЧ. С чем связана эта устойчивость? **(2 балла)**
- В связи с особенностями инфицированных клеток предположите, каковы основные причины летального исхода заражённых пациентов? Почему? **(2 балла)**

5. Представьте, что Вы разрабатываете лекарство от ВИЧ. У Вас есть все современные технологии и даже немного будущих. Например, направленная доставка лекарств, редактирование генома, синтез молекул любого состава для связывания с любыми белками, ингибиторы и активаторы любых ферментов и т.д. Предложите механизм действия разрабатываемого лекарства, чтобы оно:

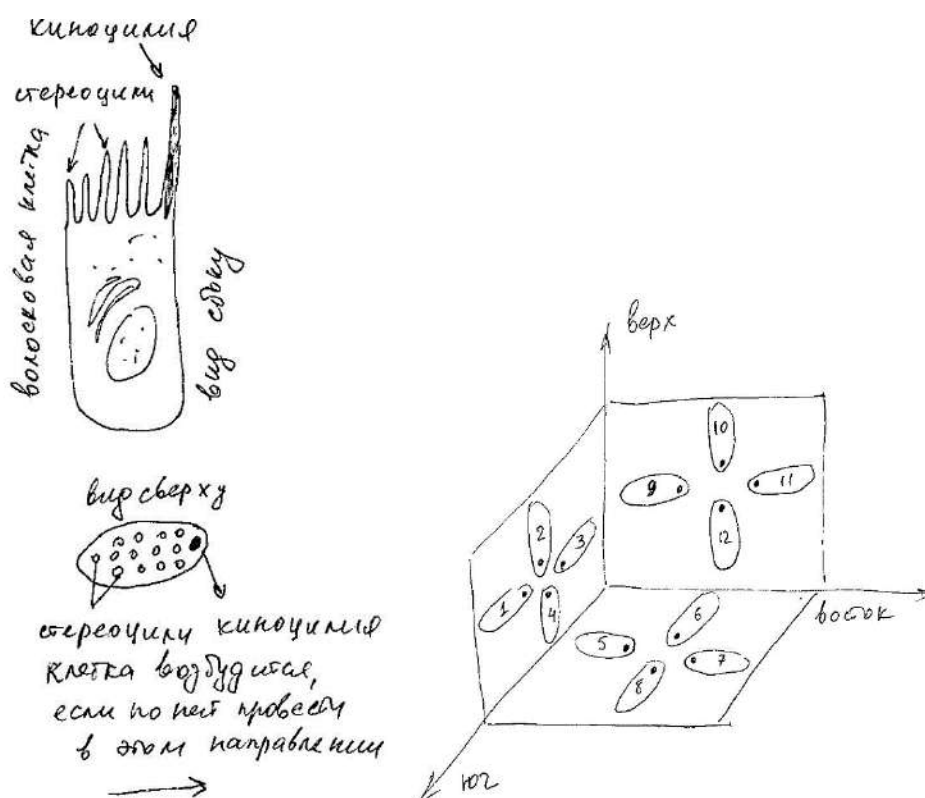
- 1) Предотвращало связывание вируса с клеткой. **(4 балла)**
- 2) Предотвращало синтез новых вирусных частиц. **(4 балла)**

Свой ответ максимально обоснуйте.

6. Тимоти Рэй Браун, известный как «Берлинский пациент», – единственный пока ВИЧ-положительный пациент, полностью излечившийся от вируса. После 10 лет антиретровирусной терапии у него обнаружили лейкоз (рак крови). Для его лечения он прошёл курс химиотерапии, которая уничтожила собственные лейкоциты пациента, после чего ему был трансплантирован костный мозг с предшественниками иммунных клеток здорового донора. И о чудо! «Берлинский пациент» полностью излечился и от лейкоза, и от ВИЧ. Конечно, это результат очень многих факторов, но тем не менее, как Вы думаете, в чем основная причина успеха? **(2 балла)**
7. Даже такого монстра, как ВИЧ, можно использовать во благо. Придумайте способ, как применить вирус в медицине. Дайте волю фантазии, но не забудьте указать, за счет чего и на какие клетки он будет действовать, что он может с ними делать, как его нужно модифицировать, чтобы он не вызвал заражение. **(4 балла)**

Задача 1. Внутреннее Ушко (8 баллов)

Бионический организм Внутреннее Ушко имеет орган равновесия, работающий так же, как орган равновесия человека. Он представляет собой кубик, на внутренних стенках которого расположены по 4 волосковые клетки. Волосковые клетки имеют на своей верхней (обращенной внутрь кубика) поверхности одну настоящую ресничку – киноцилию, которая расположена на одном конце клетки, и множество микроворсинок – стереоцилий (которые по своему строению не являются ресничками), длина которых увеличивается по направлению к киноцилии. На внутренней поверхности кубика находится белковая мембрана, в которую включены кристаллы карбоната кальция. Когда Ушко прыгает, мембрана, плавающая в жидкости (эндолимфе) смещается (она достаточно тяжелая, поэтому при прыжке стремится остаться на месте) и отклоняет ворсинки на поверхности волосковых клеток. Волосковые клетки деполяризуются при механической стимуляции, направленной в направлении от стереоцилий к киноцилии.



- Структурную основу киноцилии составляют: **(1 балл)**
 - Лизосомы
 - Эндоплазматический ретикулум
 - Микротрубочки
 - Рибосомы
- Мембранный потенциал каких клеток увеличится (станет менее отрицательным), когда Ушко прыгает на юг? Укажите номера клеток на рисунке, ответ поясните. **(7 баллов)**

Задача 2. Элементы крови (8 баллов)

- Исходя из количества элементов крови в 1 мкл крови человека, подберите логические пары между элементами крови: эритроциты, лейкоциты и тромбоциты и цифрами: тысяча, сто тысяч и миллион. **(1 балл)**
- Каковы основные функции у эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов? **(2 балла)**
- Выберите из элементов крови те, которые наиболее эффективно можно использовать для зарядки наноробота, проникшего в форменный элемент крови и работающего на АТФ. Распишите, сколько АТФ может быть синтезировано из 1 молекулы глюкозы в эритроцитах, тромбоцитах и лейкоцитах человека? **(3 балла)**
- Какие из этих элементов можно использовать в качестве переносчиков нанороботов в ткани? Объясните свои ответы. **(1 балл)**
- Какие из этих элементов крови можно использовать для ДНК диагностики митохондриальных заболеваний? **(1 балл)**

Задача 3. Пептид, проникающий в клетку (8 баллов)

Учёные синтезировали CPP (Cell Penetration Peptide) – короткий пептид, проникающий в клетку, для адресной доставки лекарственной наноконструкции. Последовательность нуклеотидов из середины кодирующего участка мРНК содержит информацию о пептиде, включая стартовый и стоп кодон.

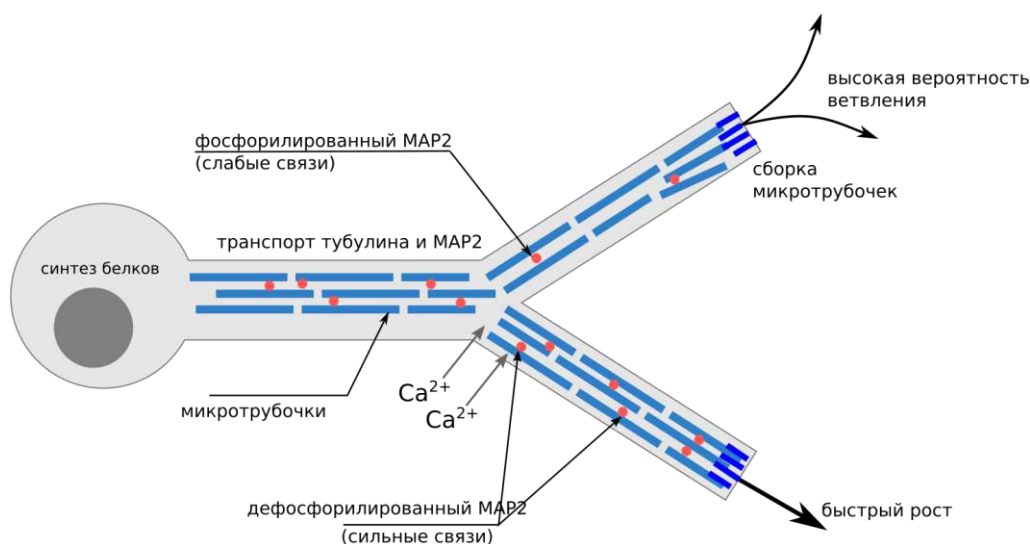
- Используя таблицу кодонов, определите закодированный пептид. **(2 балла)**

Таблица кодонов				
1-е основание	2-е основание			
	U	C	A	G
U	UUU Фенилаланин (F) UUC Фенилаланин (F) UUA Лейцин (L) UUG Лейцин (L)	UCU Серин (S) UCC Серин (S) UCA Серин (S) UCG Серин (S)	UAU Тирозин (Y) UAC Тирозин (Y) UAA Стоп-кодон (Ochre) UAG Стоп-кодон (Amber)	UGU Цистеин (C) UGC Цистеин (C) UGA Стоп-кодон (Opal) UGG Триптофан (W)
C	CUU Лейцин (L) CUC Лейцин (L) CUA Лейцин (L) CUG Лейцин (L)	CCU Пролин (P) CCC Пролин (P) CCA Пролин (P) CCG Пролин (P)	CAU Гистидин (H) CAC Гистидин (H) CAA Глутамин (Q) CAG Глутамин (Q)	CGU Аргинин (R) CGC Аргинин (R) CGA Аргинин (R) CGG Аргинин (R)
A	AUU Изолейцин (I) AUC Изолейцин (I) AUA Изолейцин (I) AUG Метионин, (M) Стартовый	ACU Треонин (T) ACC Треонин (T) ACA Треонин (T) ACG Треонин (T)	AAU Аспарагин (N) AAC Аспарагин (N) AAA Лизин (K) AAG Лизин (K)	AGU Серин (S) AGC Серин (S) AGA Аргинин (R) AGG Аргинин (R)
G	GUU Валин (V) GUC Валин (V) GUA Валин (V) GUG Валин (V)	GCU Аланин (A) GCC Аланин (A) GCA Аланин (A) GCG Аланин (A)	GAU Аспарагин. кислота (D) GAC Аспарагин. кислота (D) GAA Глутамин. кислота (E) GAG Глутамин. кислота (E)	GGU Глицин (G) GGC Глицин (G) GGA Глицин (G) GGG Глицин (G)

2. Используя буквенный код аминокислот, расшифруйте закодированное слово.
(2 балла)
3. Средняя молекулярная масса аминокислотного остатка равна 110 Да. Сколько весит закодированный пептид? **(2 балла)**
4. Назовите серосодержащие аминокислоты, которые содержатся в этом пептиде.
(2 балла)

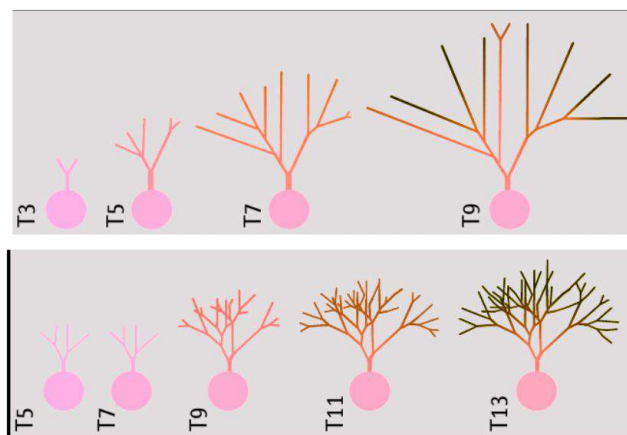
UUU UUC AUG UGC CAU GAA AUG AUU UCU ACU CGU UAU UGA CCG CCC

Задача 4. Рост нейронов (8 баллов)



Нейроны образуют сложные ветвящиеся структуры, форма их бывает весьма различной. При образовании будущих дендритов и аксонов из первичных нейритов конкурируют два процесса на конусе роста: дальнейшее удлинение данного нейрита либо его ветвление на два дочерних нейрита. Выбор между двумя вариантами зависит от того, насколько прочно связаны между собой микротрубочки поперечными сшивками. Эти сшивки обеспечиваются белком MAP2, который может быть в фосфорилированном состоянии, и тогда связи слабые, или в дефосфорилированном состоянии, и тогда связи сильные. И скорость фосфорилирования, и скорость дефосфорилирования зависят от концентрации цитоплазматического $[Ca^{2+}]$, который поступает через поверхность нейрита и может свободно диффундировать по отросткам. При этом чувствительность к $[Ca^{2+}]$ у этих процессов может быть различна.

1. Опишите функции дендритов и аксонов нейронов. **(2 балла)**
2. При каком состоянии MAP2 выше вероятность роста отростков, чем их ветвления?
(1 балл)



3. На рисунке показаны два сценария развития нейрона (Т — время, более темные участки соответствуют более высокой $[Ca^{2+}]$). Предположим, что реализуется **нижний** сценарий. Какой процесс достигает максимальной скорости при более низкой концентрации кальция — фосфорилирования или дефосфорилирования MAP2? Свой ответ обоснуйте. (5 баллов)

Задача 5. Аварийный рацион (8 баллов)

Межгалактический космический корабль потерпел аварию, однако одному из космических путешественников — гуманоиду с планеты Шиайарра — удалось спастись в спасательной капсуле. Аварийный паек, рассчитанный на все разумные расы, представляет собой батончики, состоящие из воды (20%, энергетическая ценность 0 кДж/г), пальмового масла (20%, энергетическая ценность 40 кДж/г), протеина (20%, энергетическая ценность 17 кДж/г) и крахмала (40%, энергетическая ценность 17 кДж/г). Один батончик весит 100 г, на борту капсулы есть 4 батончика. Пищеварение шиайаррцев устроено так же, как у человека, однако они не усваивают сложные углеводы. Абсолютная минимальная потребность в энергии для шиайаррца — 2000 кДж в сутки, в отличие от человека он не может прожить без питания ни одного дня. Спасательный крейсер сможет прибыть к месту аварии через 3 дня. Сможет ли шиайаррец дожидаться помощи? Что изменится, если у шиайаррца с собой есть таблетка с наноструктурированным препаратом амилазы?

Задача 6. Начинка из фуллеренов (20 баллов)

Известно, что фуллерены обладают антиоксидантными свойствами, которые можно использовать в терапевтических целях. Профессор Варезкин предложил использовать липосомы для того, чтобы повысить растворимость фуллерена C_{60} , а также обеспечить адресную доставку в поврежденный орган.

- Молекулы фуллерена C_{60} обладают следующими свойствами (выберите нужное): (3 балла)
 - Имеют π -связи между атомами углерода
 - В состав одной молекулы входит 120 атомов углерода
 - Гидрофобны
 - Растворимы в воде
 - Нейтрализуют свободные радикалы

2. Схематично изобразите липосому, загруженную молекулами фуллерена, подпишите части рисунка, коротко поясните, почему схема выглядит именно так. **(6 баллов)**
3. Сколько молекул фуллерена приблизительно может быть транспортировано в одной липосоме? Для расчетов примите, что профессор Варезкин взял однослойные липосомы из смеси фосфолипидов, внешний диаметр которых составляет 100 нм, толщина липидного бислоя 10 нм, диаметр молекулы фуллерена C_{60} – 1 нм. Для упрощения расчетов считайте число π равным 3. Выберите вариант, наиболее близкий к полученному Вами числу, подтвердите его расчетами, вычисления поясните словами. **(6 баллов)**

А. 1
Б. 10
В. 50000
Г. $5 \cdot 10^{10}$
4. Какой фактор ограничивает емкость липосомы для фуллеренов? **(3 балла)**
5. Что нужно добавить в систему липосомы-фуллерен для того, чтобы обеспечить адресную доставку в пораженный орган? **(2 балла)**

Задача 7. Мутация меняет все? (20 баллов)

На одном острове обитают популяции редких мангустов, а также лягушек, кузнечиков и змей. Основным источником питания кузнечиков являются злаки. Пусть средний суммарный прирост биомассы мангуста, необходимый для его нормальной жизнедеятельности, составляет 20 кг/год. В 1 кг их биомассы содержится 200 кДж энергии.

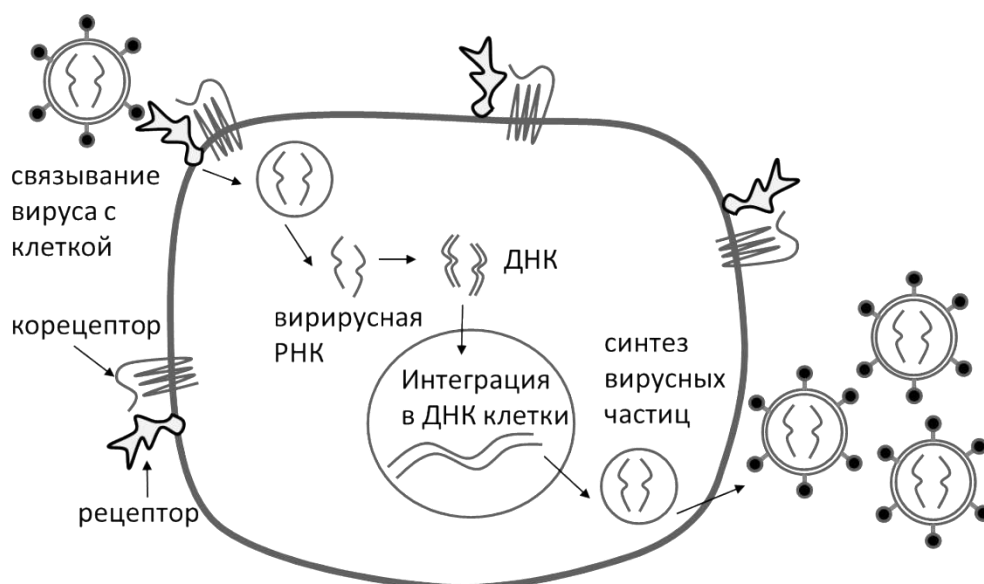
1. Как называется правило, согласно которому происходит перенос энергии с одного уровня энергии на другой? **(2 балла)**
2. Составьте трофическую цепь из обитателей острова, укажите продуцентов и консументов. **(3 балла)**
3. Определите массу злаков, необходимую для прироста биомассы мангуста за год, если в 1 кг злаков содержится 100 кДж энергии. **(8 баллов)**

Удаленность острова и его изолированность привлекли один крупный агрокультурный холдинг, который решил использовать остров для проверки своего нового удобрения, созданного на основе нанотехнологий и распыляемого в виде спрея. Сверхмалые размеры частиц значительно облегчали проникновение удобрения, облегчали его распространение, что позволило значительно экономить на его количестве. Ранее удобрение довольно неплохо показало себя на некоторых культурных злаках, однако на нашем острове опрыскивание к увеличению производительности не привело. При этом было обнаружено, что неожиданно среди злаков развилась мутация в аутосомном двухаллельном гене (**Aa**). Проявлялась мутация как появление горького вкуса у злаков, да такого сильного, что даже кузнечики отказывались их есть. В остальном горькие злаки ничем не отличались от нормальных. Эксперименты были немедленно свернуты. А компания занялась подсчетом убытков и оценкой угрозы животным острова, в первую очередь редким мангустам.

4. Оцените ущерб, нанесенный испытанием мангустам. Известно, что горький вкус развивался только у гомозигот **aa**, причем пенетрантность гена составляет 25%, а частота встречаемости аллеля **a** составляет 0,2. Рассчитайте, насколько уменьшится прирост биомассы у мангустов в следующем поколении и как это повлияет на их популяцию? **(7 баллов)**

Задача 8. ВИЧ (20 баллов)

Вирус иммунодефицита человека (ВИЧ) представляет реальную угрозу для всего человечества. По данным ВОЗ, вирусом инфицировано около 40 миллиона человек. Вирус размером 100-120 нм имеет на своей поверхности специальные белки, связывающиеся с рецептором CD4 на поверхности определенных клеток. Этому способствуют корецепторы CXCR5 и/или CCR5. После этого вирус сливается с мембраной клетки, что приводит к проникновению РНК и белков вируса в клетку. На матрице вирусной РНК с помощью особого вирусного фермента синтезируется ДНК, которая впоследствии встраивается в геном клетки.



- С какими клетками взаимодействует ВИЧ? **(1 балл)**
 - эритроцитами
 - Т-лимфоцитами
 - В-лимфоцитами
 - всеми клетками организма
- Как называется вирусный фермент, осуществляющий синтез ДНК на матрице РНК? **(1 балл)**
 - ДНК-гираза
 - ДНК-полимераза
 - РНК-полимераза
 - Обратная транскриптаза
- У некоторых людей есть врожденная устойчивость к вирусу ВИЧ. С чем связана эта устойчивость? **(2 балла)**
- В связи с особенностями инфицированных клеток предположите, каковы основные причины летального исхода заражённых пациентов? Почему? **(2 балла)**

5. Представьте, что Вы разрабатываете лекарство от ВИЧ. У Вас есть все современные технологии и даже немного будущих. Например, направленная доставка лекарств, редактирование генома, синтез молекул любого состава для связывания с любыми белками, ингибиторы и активаторы любых ферментов и т.д. Предложите механизм действия разрабатываемого лекарства, чтобы оно:

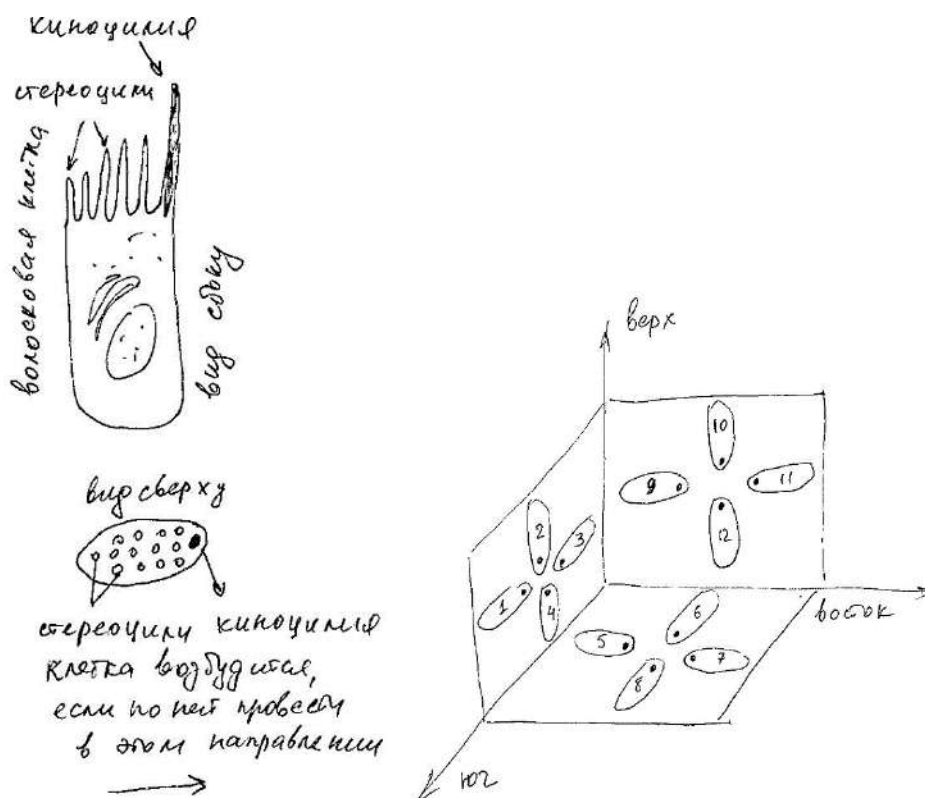
- 1) Предотвращало связывание вируса с клеткой. **(4 балла)**
- 2) Предотвращало синтез новых вирусных частиц. **(4 балла)**

Свой ответ максимально обоснуйте.

6. Тимоти Рэй Браун, известный как «Берлинский пациент», – единственный пока ВИЧ-положительный пациент, полностью излечившийся от вируса. После 10 лет антиретровирусной терапии у него обнаружили лейкоз (рак крови). Для его лечения он прошёл курс химиотерапии, которая уничтожила собственные лейкоциты пациента, после чего ему был трансплантирован костный мозг с предшественниками иммунных клеток здорового донора. И о чудо! «Берлинский пациент» полностью излечился и от лейкоза, и от ВИЧ. Конечно, это результат очень многих факторов, но тем не менее, как Вы думаете, в чем основная причина успеха? **(2 балла)**
7. Даже такого монстра, как ВИЧ, можно использовать во благо. Придумайте способ, как применить вирус в медицине. Дайте волю фантазии, но не забудьте указать, за счет чего и на какие клетки он будет действовать, что он может с ними делать, как его нужно модифицировать, чтобы он не вызвал заражение. **(4 балла)**

Задача 1. Внутреннее Ушко (8 баллов)

Бионический организм Внутреннее Ушко имеет орган равновесия, работающий так же, как орган равновесия человека. Он представляет собой кубик, на внутренних стенках которого расположены по 4 волосковые клетки. Волосковые клетки имеют на своей верхней (обращенной внутрь кубика) поверхности одну настоящую ресничку – киноцилию, которая расположена на одном конце клетки, и множество микроворсинок – стереоцилий (которые по своему строению не являются ресничками), длина которых увеличивается по направлению к киноцилии. На внутренней поверхности кубика находится белковая мембрана, в которую включены кристаллы карбоната кальция. Когда Ушко прыгает, мембрана, плавающая в жидкости (эндолимфе) смещается (она достаточно тяжелая, поэтому при прыжке стремится остаться на месте) и отклоняет ворсинки на поверхности волосковых клеток. Волосковые клетки деполяризуются при механической стимуляции, направленной в направлении от стереоцилий к киноцилии.



1. Деполяризация мембраны волосковых клеток происходит вследствие: **(1 балл)**
 - А. Открытия ионных каналов
 - Б. Запуска транскрипции
 - В. Деления клеток
 - Г. Синтеза белка
2. Мембранный потенциал каких клеток увеличится (станет менее отрицательным), когда Ушко прыгает на восток? Укажите номера клеток на рисунке, ответ поясните. **(7 баллов)**

Задача 2. Элементы крови (8 баллов)

- Исходя из количества элементов крови в 1 мкл крови человека, подберите логические пары между элементами крови: эритроциты, лейкоциты и тромбоциты и цифрами: тысяча, сто тысяч и миллион. **(1 балл)**
- Каковы основные функции у эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов? **(2 балла)**
- Выберите из элементов крови те, которые наиболее эффективно можно использовать для зарядки наноробота, проникшего в форменный элемент крови и работающего на АТФ. Распишите сколько АТФ может быть синтезировано из 1 молекулы глюкозы в эритроцитах, тромбоцитах и лейкоцитах человека. **(3 балла)**
- Какие из этих элементов крови можно использовать для ДНК диагностики митохондриальных заболеваний? **(1 балл)**
- Какие из этих элементов крови могут быть использованы для генетических анализов на определение отцовства? Объясните свои ответы. **(1 балл)**

Задача 3. Пептид, проникающий в клетку (8 баллов)

Учёные синтезировали CPP (Cell Penetration Peptide) – короткий пептид, проникающий в клетку, для адресной доставки лекарственной наноконструкции. Последовательность нуклеотидов из середины кодирующего участка мРНК содержит информацию о пептиде, включая стартовый и стоп кодон.

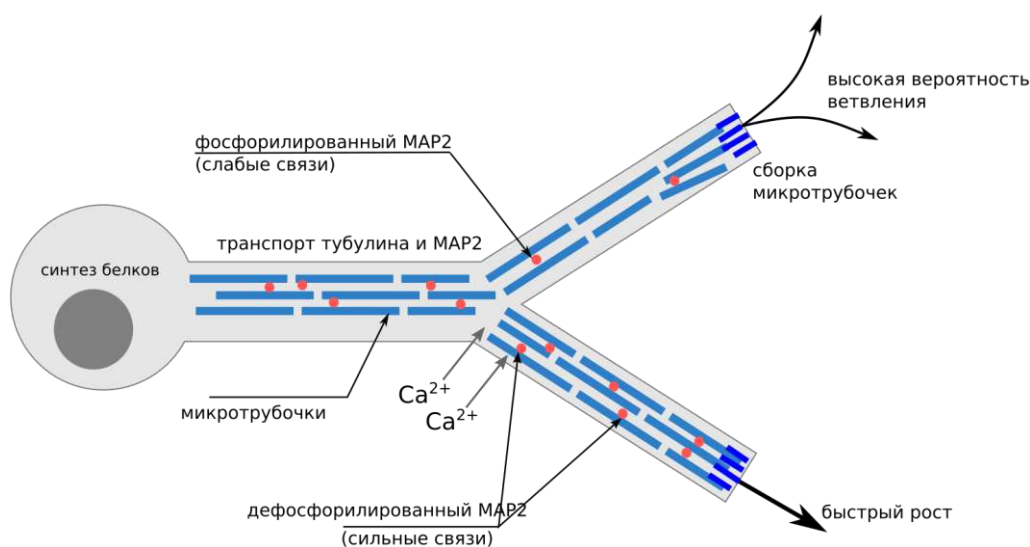
- Используя таблицу кодонов, определите закодированный пептид. **(2 балла)**

Таблица кодонов				
1-е основание	2-е основание			
	U	C	A	G
U	UUU Фенилаланин (F) UUC Фенилаланин (F) UUA Лейцин (L) UUG Лейцин (L)	UCU Серин (S) UCC Серин (S) UCA Серин (S) UCG Серин (S)	UAU Тирозин (Y) UAC Тирозин (Y) UAA Стоп-кодон (Ochre) UAG Стоп-кодон (Amber)	UGU Цистеин (C) UGC Цистеин (C) UGA Стоп-кодон (Opal) UGG Триптофан (W)
C	CUU Лейцин (L) CUC Лейцин (L) CUA Лейцин (L) CUG Лейцин (L)	CCU Пролин (P) CCC Пролин (P) CCA Пролин (P) CCG Пролин (P)	CAU Гистидин (H) CAC Гистидин (H) CAA Глутамин (Q) CAG Глутамин (Q)	CGU Аргинин (R) CGC Аргинин (R) CGA Аргинин (R) CGG Аргинин (R)
A	AUU Изолейцин (I) AUC Изолейцин (I) AUA Изолейцин (I) AUG Метионин, (M) Стартовый	ACU Треонин (T) ACC Треонин (T) ACA Треонин (T) ACG Треонин (T)	AAU Аспарагин (N) AAC Аспарагин (N) AAA Лизин (K) AAG Лизин (K)	AGU Серин (S) AGC Серин (S) AGA Аргинин (R) AGG Аргинин (R)
G	GUU Валин (V) GUC Валин (V) GUA Валин (V) GUG Валин (V)	GCU Аланин (A) GCC Аланин (A) GCA Аланин (A) GCG Аланин (A)	GAU Аспарагин. кислота (D) GAC Аспарагин. кислота (D) GAA Глутамин. кислота (E) GAG Глутамин. кислота (E)	GGU Глицин (G) GGC Глицин (G) GGA Глицин (G) GGG Глицин (G)

2. Используя буквенный код аминокислот, расшифруйте закодированное слово. **(2 балла)**
3. Средняя молекулярная масса аминокислотного нуклеотида – 300 Да. Сколько весит кодирующий пептид ген? **(2 балла)**
4. Назовите серосодержащие аминокислоты, которые содержатся в этом пептиде. **(2 балла)**

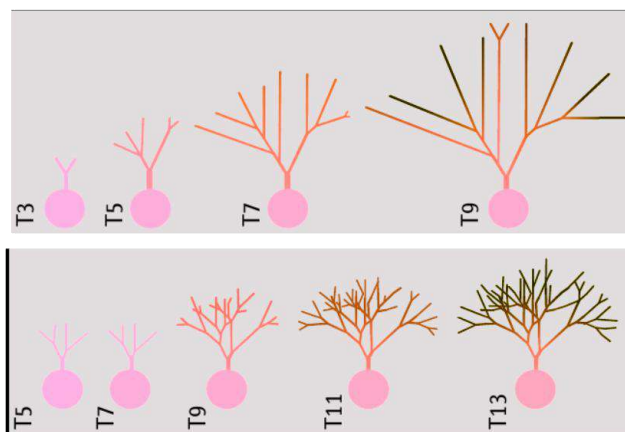
UUU UUC AUG UGC CAU GAA AUG AUU UCU ACU CGU UAU UGA CCG CCC

Задача 4. Рост нейронов (8 баллов)



Нейроны образуют сложные ветвящиеся структуры, форма их бывает весьма различной. При образовании будущих дендритов и аксонов из первичных нейритов конкурируют два процесса на конусе роста: дальнейшее удлинение данного нейрита либо его ветвление на два дочерних нейрита. Выбор между двумя вариантами зависит от того, насколько прочно связаны между собой микротрубочки поперечными шивками. Эти шивки обеспечиваются белком MAP2, который может быть в фосфорилированном состоянии, и тогда связи слабые, или в дефосфорилированном состоянии, и тогда связи сильные. И скорость фосфорилирования, и скорость дефосфорилирования зависят от концентрации цитоплазматического $[Ca^{2+}]$, который поступает через поверхность нейрита и может свободно диффундировать по отросткам. При этом чувствительность к $[Ca^{2+}]$ у этих процессов может быть различна.

1. Опишите функции дендритов и аксонов нейронов. **(2 балла)**
2. При каком состоянии MAP2 выше вероятность ветвления отростков, чем их роста? **(1 балл)**



3. На рисунке показаны два сценария развития нейрона (Т — время, более темные участки соответствуют более высокой $[Ca^{2+}]$). Какой из сценариев (верхний или нижний) соответствует реализации условия, что максимальная скорость дефосфорилирования MAP2 достигается при более низкой концентрации $[Ca^{2+}]$, чем скорость фосфорилирования? Свой ответ обоснуйте. (5 баллов)

Задача 5. Аварийный рацион (8 баллов)

Межгалактический космический корабль потерпел аварию, однако одному из космических путешественников — гуманоиду с планетной системы Тау Пса — удалось спастись в спасательной капсуле. Аварийный паек, рассчитанный на все разумные расы, представляет собой батончики, состоящие из воды (20%, энергетическая ценность 0 кДж/г), лецитина (10%, энергетическая ценность 40 кДж/г), протеина (10%, энергетическая ценность 17 кДж/г) и крахмала (60%, энергетическая ценность 17 кДж/г). Один батончик весит 100 г, на борту капсулы есть 4 батончика. Пищеварение таупсиан устроено так же, как у человека, однако они не усваивают сложные углеводы. Абсолютная минимальная потребность в энергии для таупсианина — 2000 кДж в сутки, в отличие от человека он не может прожить без питания ни одного дня. Спасательный крейсер сможет прибыть к месту аварии через 3 дня, сможет ли таупсианин дождаться помощи? Что изменится, если у таупсианина с собой есть таблетка с наноструктурированным препаратом амилазы?

Задача 6. Начинка из фуллеренов (20 баллов)

Известно, что фуллерены обладают антиоксидантными свойствами, которые можно использовать в терапевтических целях. Профессор Варезкин предложил использовать липосомы для того, чтобы повысить растворимость фуллерена C_{60} , а также обеспечить адресную доставку в поврежденный орган.

- Молекулы фуллерена C_{60} обладают следующими свойствами (выбрать нужное): (3 балла)
 - Имеют π -связи между атомами углерода
 - В состав одной молекулы входит 120 атомов углерода
 - Гидрофобны
 - Растворимы в воде
 - Нейтрализуют свободные радикалы

2. Схематично изобразите липосому, загруженную молекулами фуллерена, подпишите части рисунка, коротко поясните, почему схема выглядит именно так. **(6 баллов)**
3. Сколько молекул фуллерена приблизительно может быть транспортировано в одной липосоме? Для расчетов примите, что профессор Варезкин взял однослойные липосомы из смеси фосфолипидов, внешний диаметр которых составляет 100 нм, толщина липидного бислоя 10 нм, диаметр молекулы фуллерена C_{60} – 1 нм. Для упрощения расчетов считайте число π равным 3. Выберите вариант, наиболее близкий к полученному Вами числу, подтвердите его расчетами, вычисления поясните словами. **(6 баллов)**

А. 1
Б. 10
В. 50000
Г. $5 \cdot 10^{10}$
4. Какой фактор ограничивает емкость липосомы для фуллеренов? **(3 балла)**
5. Что нужно добавить в систему липосомы-фуллерен для того, чтобы обеспечить адресную доставку в пораженный орган? **(2 балла)**

Задача 7. Мутация меняет все? (20 баллов)

На одном острове обитают популяции редких мангустов, а также лягушек, кузнечиков и змей. Основным источником питания кузнечиков являются злаки. Пусть средний суммарный прирост биомассы мангуста, необходимый для его нормальной жизнедеятельности, составляет 20 кг/год. В 1 кг их биомассы содержится 200 кДж энергии.

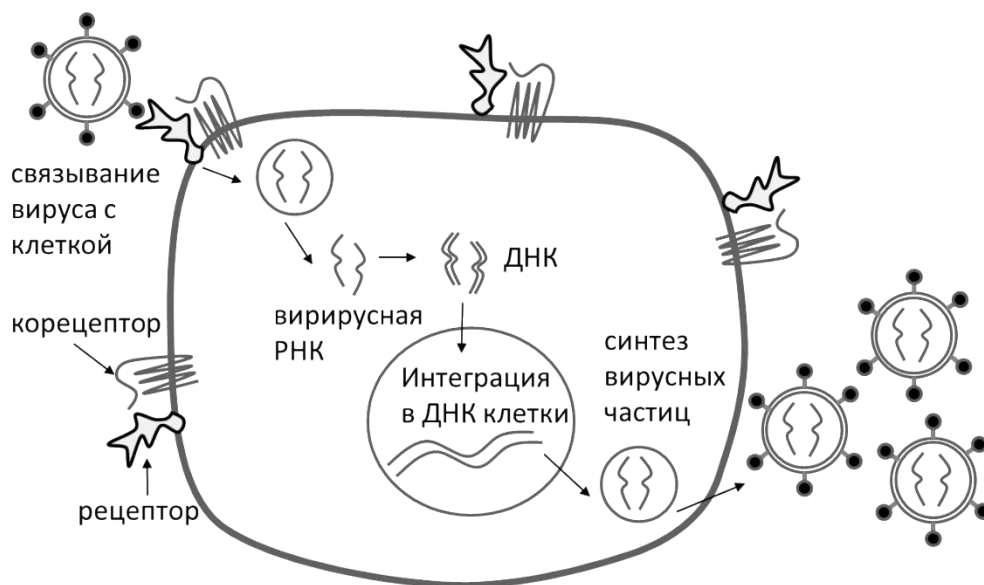
1. Как называется правило, согласно которому происходит перенос энергии с одного уровня энергии на другой? **(2 балла)**
2. Составьте трофическую цепь из обитателей острова, укажите продуцентов и консументов. **(3 балла)**
3. Определите массу злаков, необходимую для прироста биомассы мангуста за год, если в 1 кг злаков содержится 100 кДж энергии. **(8 баллов)**

Удаленность острова и его изолированность привлекли один крупный агрокультурный холдинг, который решил использовать остров для проверки своего нового удобрения, созданного на основе нанотехнологий и распыляемого в виде спрея. Сверхмалые размеры частиц значительно облегчали проникновение удобрения, облегчали его распространение, что позволило значительно экономить на его количестве. Ранее удобрение довольно неплохо показало себя на некоторых культурных злаках, однако на нашем острове опрыскивание к увеличению производительности не привело. При этом было обнаружено, что неожиданно среди злаков развилась мутация в аутосомном двухаллельном гене (**Aa**). Проявлялась мутация как появление горького вкуса у злаков, да такого сильного, что даже кузнечики отказывались их есть. В остальном горькие злаки ничем не отличались от нормальных. Эксперименты были немедленно свернуты. А компания занялась подсчетом убытков и оценкой угрозы животным острова, в первую очередь редким мангустам.

4. Оцените ущерб, нанесенный испытанием мангустам. Известно, что горький вкус развивался только у гомозигот **aa**, причем пенетрантность гена составляет 25%, а частота встречаемости аллеля **a** составляет 0,2. Рассчитайте, насколько уменьшится прирост биомассы у мангустов в следующем поколении и как это повлияет на их популяцию? **(7 баллов)**

Задача 8. ВИЧ (20 баллов)

Вирус иммунодефицита человека (ВИЧ) представляет реальную угрозу для всего человечества. По данным ВОЗ, вирусом инфицировано около 40 миллиона человек. Вирус размером 100-120 нм имеет на своей поверхности специальные белки, связывающиеся с рецептором CD4 на поверхности определенных клеток. Этому способствуют корецепторы CXCR5 и/или CCR5. После этого вирус сливается с мембраной клетки, что приводит к проникновению РНК и белков вируса в клетку. На матрице вирусной РНК с помощью особого вирусного фермента синтезируется ДНК, которая впоследствии встраивается в геном клетки.



- С какими клетками взаимодействует ВИЧ? **(1 балл)**
 - эритроцитами
 - Т-лимфоцитами
 - В-лимфоцитами
 - всеми клетками организма
- Как называется вирусный фермент, осуществляющий синтез ДНК на матрице РНК? **(1 балл)**
 - ДНК-гираза
 - ДНК-полимераза
 - РНК-полимераза
 - Обратная транскриптаза
- У некоторых людей есть врожденная устойчивость к вирусу ВИЧ. С чем связана эта устойчивость? **(2 балла)**
- В связи с особенностями инфицированных клеток предположите, каковы основные причины летального исхода заражённых пациентов? Почему? **(2 балла)**

5. Представьте, что Вы разрабатываете лекарство от ВИЧ. У Вас есть все современные технологии и даже немного будущих. Например, направленная доставка лекарств, редактирование генома, синтез молекул любого состава для связывания с любыми белками, ингибиторы и активаторы любых ферментов и т.д. Предложите механизм действия разрабатываемого лекарства, чтобы оно:

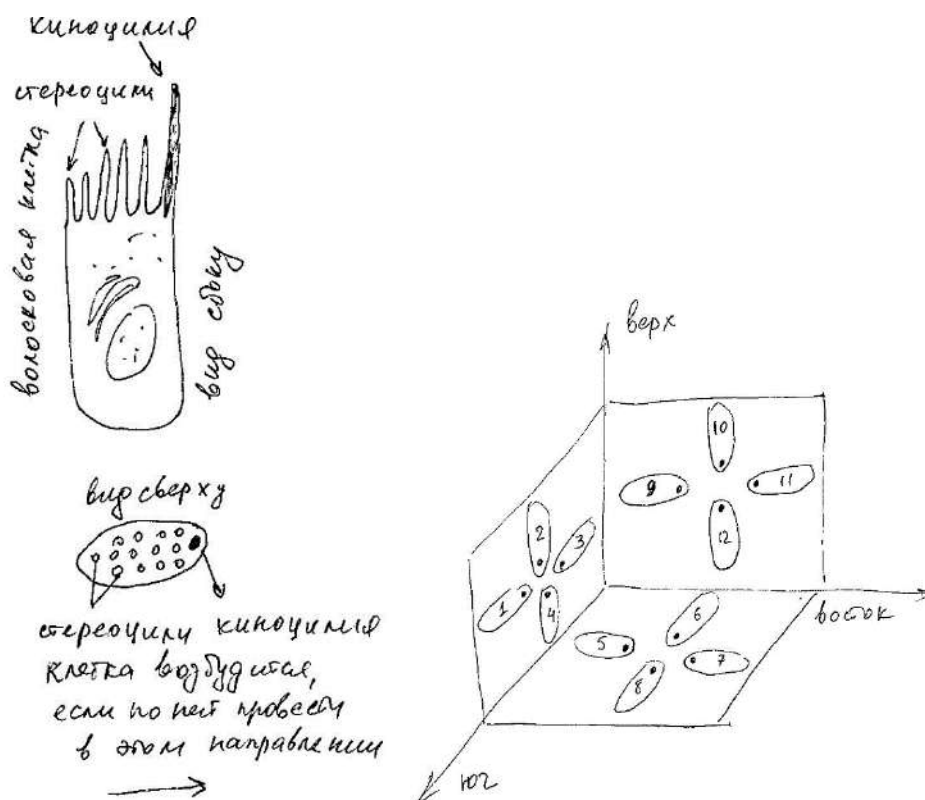
- 1) Предотвращало связывание вируса с клеткой. **(4 балла)**
- 2) Предотвращало синтез новых вирусных частиц. **(4 балла)**

Свой ответ максимально обоснуйте.

6. Тимоти Рэй Браун, известный как «Берлинский пациент», – единственный пока ВИЧ-положительный пациент, полностью излечившийся от вируса. После 10 лет антиретровирусной терапии у него обнаружили лейкоз (рак крови). Для его лечения он прошёл курс химиотерапии, которая уничтожила собственные лейкоциты пациента, после чего ему был трансплантирован костный мозг с предшественниками иммунных клеток здорового донора. И о чудо! «Берлинский пациент» полностью излечился и от лейкоза, и от ВИЧ. Конечно, это результат очень многих факторов, но тем не менее, как Вы думаете, в чем основная причина успеха? **(2 балла)**
7. Даже такого монстра, как ВИЧ, можно использовать во благо. Придумайте способ, как применить вирус в медицине. Дайте волю фантазии, но не забудьте указать, за счет чего и на какие клетки он будет действовать, что он может с ними делать, как его нужно модифицировать, чтобы он не вызвал заражение. **(4 балла)**

Задача 1. Внутреннее Ушко (8 баллов)

Бионический организм Внутреннее Ушко имеет орган равновесия, работающий так же, как орган равновесия человека. Он представляет собой кубик, на внутренних стенках которого расположены по 4 волосковые клетки. Волосковые клетки имеют на своей верхней (обращенной внутрь кубика) поверхности одну настоящую ресничку – киноцилию, которая расположена на одном конце клетки, и множество микроворсинок – стереоцилий (которые по своему строению не являются ресничками), длина которых увеличивается по направлению к киноцилии. На внутренней поверхности кубика находится белковая мембрана, в которую включены кристаллы карбоната кальция. Когда Ушко прыгает, мембрана, плавающая в жидкости (эндолимфе) смещается (она достаточно тяжелая, поэтому при прыжке стремится остаться на месте) и отклоняет ворсинки на поверхности волосковых клеток. Волосковые клетки деполяризуются при механической стимуляции, направленной в направлении от стереоцилий к киноцилии.



- По принципу работы волосковые клетки являются: **(1 балл)**
 - рН-чувствительными
 - Мехночувствительными
 - Термочувствительными
 - Светочувствительными
- Мембранный потенциал каких клеток увеличится (станет менее отрицательным), когда Ушко прыгает на север? Укажите номера клеток на рисунке, ответ поясните. **(7 баллов)**

Задача 2. Элементы крови (8 баллов)

- Исходя из количества элементов крови в 1 мкл крови человека, подберите логические пары между элементами крови: эритроциты, лейкоциты и тромбоциты и цифрами: тысяча, сто тысяч и миллион. **(1 балл)**
- Каковы основные функции у эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов? **(2 балла)**
- Какие из этих элементов крови можно использовать для ДНК диагностики митохондриальных заболеваний? **(2 балла)**
- Какие из этих элементов можно использовать в качестве переносчиков нанороботов в ткани? Объясните свои ответы. **(2 балла)**
- Какие из этих элементов крови могут быть местом размножения ДНК-содержащих вирусов? **(1 балл)**

Задача 3. Пептид, проникающий в клетку (8 баллов)

Учёные синтезировали CPP (Cell Penetration Peptide) – короткий пептид, проникающий в клетку, для адресной доставки лекарственной наноконструкции. Последовательность нуклеотидов из середины кодирующего участка мРНК содержит информацию о пептиде, включая стартовый и стоп кодон.

- Используя таблицу кодонов, определите закодированный пептид. **(2 балла)**

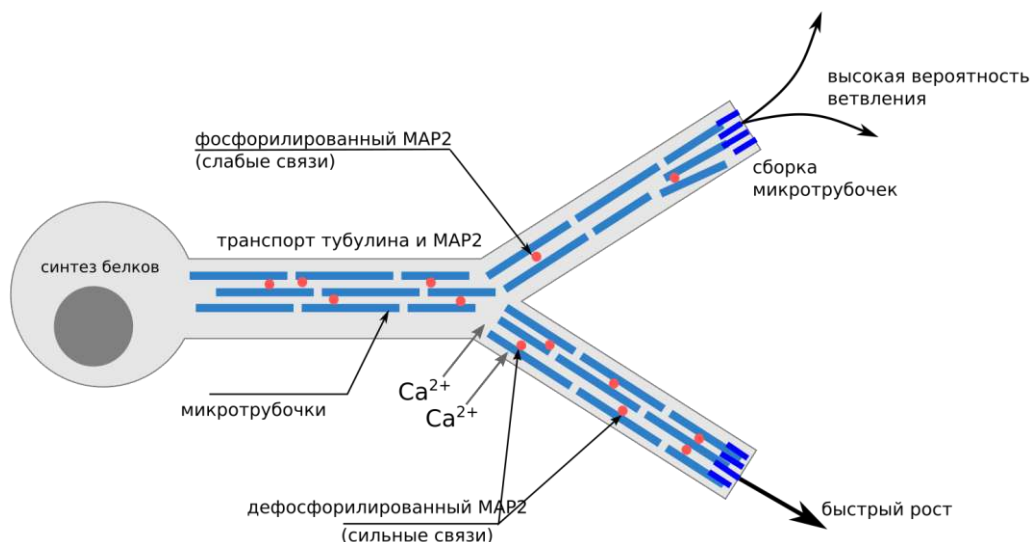
Таблица кодонов				
1-е основание	2-е основание			
	U	C	A	G
U	UUU Фенилаланин (F) UUC Фенилаланин (F) UUA Лейцин (L) UUG Лейцин (L)	UCU Серин (S) UCC Серин (S) UCA Серин (S) UCG Серин (S)	UAU Тирозин (Y) UAC Тирозин (Y) UAA Стоп-кодон (Ochre) UAG Стоп-кодон (Amber)	UGU Цистеин (C) UGC Цистеин (C) UGA Стоп-кодон (Opal) UGG Триптофан (W)
C	CUU Лейцин (L) CUC Лейцин (L) CUA Лейцин (L) CUG Лейцин (L)	CCU Пролин (P) CCC Пролин (P) CCA Пролин (P) CCG Пролин (P)	CAU Гистидин (H) CAC Гистидин (H) CAA Глутамин (Q) CAG Глутамин (Q)	CGU Аргинин (R) CGC Аргинин (R) CGA Аргинин (R) CGG Аргинин (R)
A	AUU Изолейцин (I) AUC Изолейцин (I) AUA Изолейцин (I) AUG Метионин, (M) Стартовый	ACU Треонин (T) ACC Треонин (T) ACA Треонин (T) ACG Треонин (T)	AAU Аспарагин (N) AAC Аспарагин (N) AAA Лизин (K) AAG Лизин (K)	AGU Серин (S) AGC Серин (S) AGA Аргинин (R) AGG Аргинин (R)
G	GUU Валин (V) GUC Валин (V) GUA Валин (V) GUG Валин (V)	GCU Аланин (A) GCC Аланин (A) GCA Аланин (A) GCG Аланин (A)	GAU Аспарагин. кислота (D) GAC Аспарагин. кислота (D) GAA Глутамин. кислота (E) GAG Глутамин. кислота (E)	GGU Глицин (G) GGC Глицин (G) GGA Глицин (G) GGG Глицин (G)

- Используя буквенный код аминокислот, расшифруйте закодированное слово. **(2 балла)**

3. Средняя молекулярная масса аминокислотного остатка равна 110 Да. Сколько весит закодированный пептид? **(2 балла)**
4. Назовите серосодержащие аминокислоты, которые содержатся в этом пептиде. **(2 балла)**

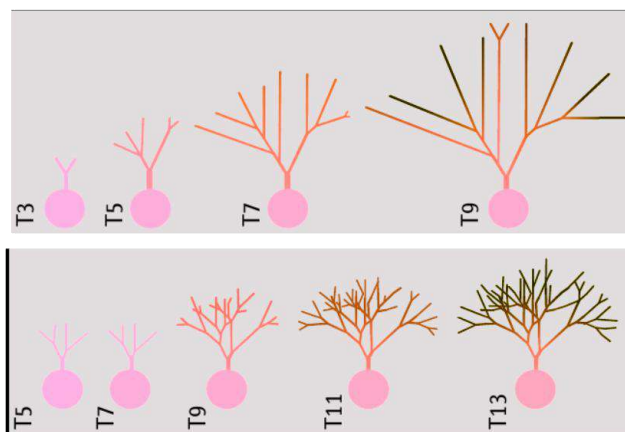
UUU UUC AUG GCG CUC UGC CAU GAA AUG AUU UCU ACU CGU UAU UGA CCG CCC

Задача 4. Рост нейронов (8 баллов)



Нейроны образуют сложные ветвящиеся структуры, форма их бывает весьма различной. При образовании будущих дендритов и аксонов из первичных нейритов конкурируют два процесса на конусе роста: дальнейшее удлинение данного нейрита либо его ветвление на два дочерних нейрита. Выбор между двумя вариантами зависит от того, насколько прочно связаны между собой микротрубочки поперечными сшивками. Эти сшивки обеспечиваются белком MAP2, который может быть в фосфорилированном состоянии, и тогда связи слабые, или в дефосфорилированном состоянии, и тогда связи сильные. И скорость фосфорилирования, и скорость дефосфорилирования зависят от концентрации цитоплазматического $[Ca^{2+}]$, который поступает через поверхность нейрита и может свободно диффундировать по отросткам. При этом чувствительность к $[Ca^{2+}]$ у этих процессов может быть различна.

1. Опишите функции дендритов и аксонов нейронов. **(2 балла)**
2. При каком состоянии MAP2 выше вероятность роста отростков, чем их ветвления? **(1 балл)**



3. На рисунке показаны два сценария развития нейрона (Т — время, более темные участки соответствуют более высокой $[Ca^{2+}]$). Какой из сценариев (верхний или нижний) соответствует реализации условия, что максимальная скорость дефосфорилирования MAP2 достигается при более высокой концентрации $[Ca^{2+}]$, чем скорость фосфорилирования MAP2? Свой ответ обоснуйте. (5 баллов)

Задача 5. Аварийный рацион (8 баллов)

Межгалактический космический корабль потерпел аварию, однако одному из космических путешественников – жителю планетной системы Тау Кита – удалось спастись в спасательной капсуле. Аварийный паек, рассчитанный на все разумные расы, представляет собой батончики, состоящие из воды (20%, энергетическая ценность 0 кДж/г), лецитина (10%, энергетическая ценность 40 кДж/г), протеина (20%, энергетическая ценность 17 кДж/г) и крахмала (50%, энергетическая ценность 17 кДж/г). Один батончик весит 100 г, на борту капсулы есть 4 батончика. Пищеварение таукитян устроено так же, как у человека, однако они не имеют фермента, расщепляющего пептидные связи. Абсолютная минимальная потребность в энергии для таукитянина – 1000 кДж в сутки, в отличие от человека он не может прожить без питания ни одного дня. Спасательный крейсер сможет прибыть к месту аварии через 6 дней, сможет ли таукитянин дожидаться помощи? Что изменится, если у таукитянина с собой есть таблетка с наноструктурированным препаратом пепсина?

Задача 6. Начинка из фуллеренов (20 баллов)

Известно, что фуллерены обладают антиоксидантными свойствами, которые можно использовать в терапевтических целях. Профессор Варезкин предложил использовать липосомы для того, чтобы повысить растворимость фуллерена C_{60} , а также обеспечить адресную доставку в поврежденный орган.

- Молекулы фуллерена C_{60} обладают следующими свойствами (выберите нужное): (3 балла)
 - Имеют π -связи между атомами углерода
 - В состав одной молекулы входит 120 атомов углерода
 - Гидрофобны
 - Растворимы в воде
 - Нейтрализуют свободные радикалы

2. Схематично изобразите липосому, загруженную молекулами фуллерена, подпишите части рисунка, коротко поясните, почему схема выглядит именно так. **(6 баллов)**
3. Сколько молекул фуллерена приблизительно может быть транспортировано в одной липосоме? Для расчетов примите, что профессор Варезкин взял однослойные липосомы из смеси фосфолипидов, внешний диаметр которых составляет 100 нм, толщина липидного бислоя 10 нм, диаметр молекулы фуллерена C_{60} – 1 нм. Для упрощения расчетов считайте число π равным 3. Выберите вариант, наиболее близкий к полученному Вами числу, подтвердите его расчетами, вычисления поясните словами. **(6 баллов)**

 - A. 1
 - B. 10
 - V. 50000
 - Г. $5 \cdot 10^{10}$
4. Какой фактор ограничивает емкость липосомы для фуллеренов? **(3 балла)**
5. Что нужно добавить в систему липосомы-фуллерен для того, чтобы обеспечить адресную доставку в пораженный орган? **(2 балла)**

Задача 7. Мутация меняет все? (20 баллов)

На одном острове обитают популяции редких мангустов, а также лягушек, кузнечиков и змей. Основным источником питания кузнечиков являются злаки. Пусть средний суммарный прирост биомассы мангуста, необходимый для его нормальной жизнедеятельности, составляет 20 кг/год. В 1 кг их биомассы содержится 200 кДж энергии.

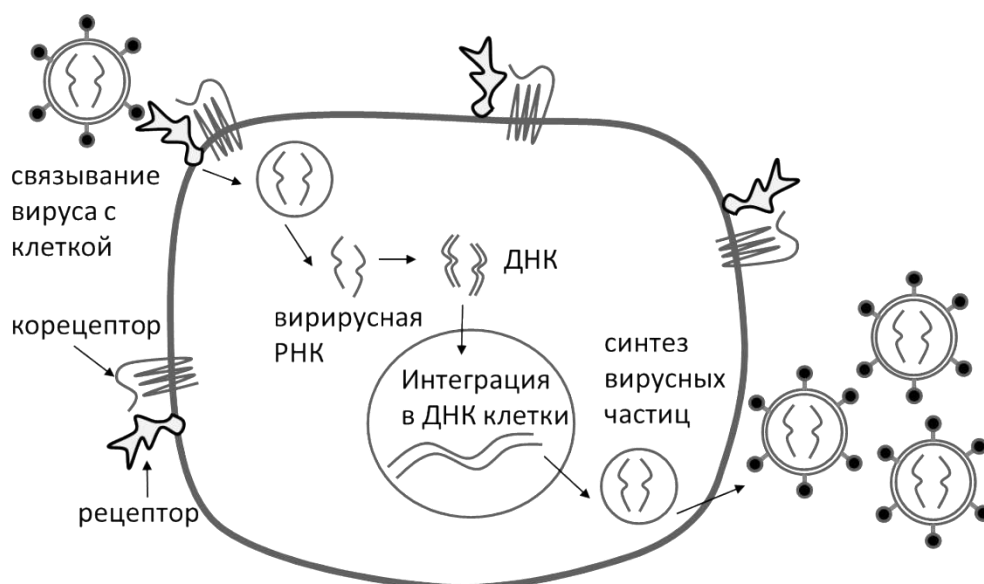
1. Как называется правило, согласно которому происходит перенос энергии с одного уровня энергии на другой? **(2 балла)**
2. Составьте трофическую цепь из обитателей острова, укажите продуцентов и консументов. **(3 балла)**
3. Определите массу злаков, необходимую для прироста биомассы мангуста за год, если в 1 кг злаков содержится 100 кДж энергии. **(8 баллов)**

Удаленность острова и его изолированность привлекли один крупный агрокультурный холдинг, который решил использовать остров для проверки своего нового удобрения, созданного на основе нанотехнологий и распыляемого в виде спрея. Сверхмалые размеры частиц значительно облегчали проникновение удобрения, облегчали его распространение, что позволило значительно экономить на его количестве. Ранее удобрение довольно неплохо показало себя на некоторых культурных злаках, однако на нашем острове опрыскивание к увеличению производительности не привело. При этом было обнаружено, что неожиданно среди злаков развилась мутация в аутосомном двухаллельном гене (**Aa**). Проявлялась мутация как появление горького вкуса у злаков, да такого сильного, что даже кузнечики отказывались их есть. В остальном горькие злаки ничем не отличались от нормальных. Эксперименты были немедленно свернуты. А компания занялась подсчетом убытков и оценкой угрозы животным острова, в первую очередь редким мангустам.

4. Оцените ущерб, нанесенный испытанием мангустам. Известно, что горький вкус развивался только у гомозигот **aa**, причем пенетрантность гена составляет 25%, а частота встречаемости аллеля **a** составляет 0,2. Рассчитайте, насколько уменьшится прирост биомассы у мангустов в следующем поколении и как это повлияет на их популяцию? **(7 баллов)**

Задача 8. ВИЧ (20 баллов)

Вирус иммунодефицита человека (ВИЧ) представляет реальную угрозу для всего человечества. По данным ВОЗ, вирусом инфицировано около 40 миллиона человек. Вирус размером 100-120 нм имеет на своей поверхности специальные белки, связывающиеся с рецептором CD4 на поверхности определенных клеток. Этому способствуют корецепторы CXCR5 и/или CCR5. После этого вирус сливается с мембраной клетки, что приводит к проникновению РНК и белков вируса в клетку. На матрице вирусной РНК с помощью особого вирусного фермента синтезируется ДНК, которая впоследствии встраивается в геном клетки.



- С какими клетками взаимодействует ВИЧ? **(1 балл)**
 - эритроцитами
 - Т-лимфоцитами
 - В-лимфоцитами
 - всеми клетками организма
- Как называется вирусный фермент, осуществляющий синтез ДНК на матрице РНК? **(1 балл)**
 - ДНК-гираза
 - ДНК-полимераза
 - РНК-полимераза
 - Обратная транскриптаза
- У некоторых людей есть врожденная устойчивость к вирусу ВИЧ. С чем связана эта устойчивость? **(2 балла)**
- В связи с особенностями инфицированных клеток предположите, каковы основные причины летального исхода заражённых пациентов? Почему? **(2 балла)**

5. Представьте, что Вы разрабатываете лекарство от ВИЧ. У Вас есть все современные технологии и даже немного будущих. Например, направленная доставка лекарств, редактирование генома, синтез молекул любого состава для связывания с любыми белками, ингибиторы и активаторы любых ферментов и т.д. Предложите механизм действия разрабатываемого лекарства, чтобы оно:

- 1) Предотвращало связывание вируса с клеткой. **(4 балла)**
- 2) Предотвращало синтез новых вирусных частиц. **(4 балла)**

Свой ответ максимально обоснуйте.

6. Тимоти Рэй Браун, известный как «Берлинский пациент», – единственный пока ВИЧ-положительный пациент, полностью излечившийся от вируса. После 10 лет антиретровирусной терапии у него обнаружили лейкоз (рак крови). Для его лечения он прошёл курс химиотерапии, которая уничтожила собственные лейкоциты пациента, после чего ему был трансплантирован костный мозг с предшественниками иммунных клеток здорового донора. И о чудо! «Берлинский пациент» полностью излечился и от лейкоза, и от ВИЧ. Конечно, это результат очень многих факторов, но тем не менее, как Вы думаете, в чем основная причина успеха? **(2 балла)**
7. Даже такого монстра, как ВИЧ, можно использовать во благо. Придумайте способ, как применить вирус в медицине. Дайте волю фантазии, но не забудьте указать, за счет чего и на какие клетки он будет действовать, что он может с ними делать, как его нужно модифицировать, чтобы он не вызвал заражение. **(4 балла)**



Биология для школьников 7 – 11 класса (очный тур)
Решения. Вариант III

Решение задачи 1. Внутреннее Ушко (8 баллов)

1. А.
2. 7 и 11.

Решение задачи 2. Элементы крови (8 баллов)

1. Логические пары: эритроциты – миллион, лейкоциты – тысяча, тромбоциты – сто тысяч.
2. Основные функции: эритроцитов – перенос кислорода и углекислого газа; лейкоцитов – клеточный и гуморальный иммунитет; тромбоцитов – участие в свертывании крови.
3. Для зарядки наноробота более эффективны тромбоциты и лейкоциты, так как они содержат митохондрии, то есть если в эритроците из одной молекулы глюкозы может быть синтезировано 2 молекулы АТФ, то в тромбоцитах и лейкоцитах 36 молекул АТФ.
4. Для ДНК диагностики митохондриальных заболеваний подойдут как тромбоциты, так и лейкоциты, так как они содержат митохондрии.
5. Для генетического анализа на точное определение отцовства наиболее подходят лейкоциты, так как только они содержат ядра. Для предварительных анализов могут быть использованы эритроциты, но анализ группы крови может использоваться для расчёта вероятности отцовства, однако он не дает окончательный результат и не может служить доказательством.

Решение задачи 3. Пептид, проникающий в клетку (8 баллов)

1. **UGC CAU GAA AUG AUU UCU ACU CGU UAU** – последовательность нуклеотидов (без старт и стоп кодонов).
2. **Cys (C)-His (H)- Glu (E)-Met (M)- Ile (I) –Ser (S)- Thr (T)-Arg (R)- Tyr (Y)**
CHEMISTRY
3. Суммарная относительная молекулярная масса гена = $9 \cdot 3 \cdot 300 = 8100$. Не будет считаться ошибкой, если при расчете учитывали еще старт- и стоп кодоны.
4. Серу содержат цистеин и метионин.

Решение задачи 4. Рост нейронов (8 баллов)

1. Засчитываются верно описанные функции дендритов (сбор информации от других нейронов, синаптические токи и потенциалы) и аксонов (проведение ПД, образование контактов с другими нейронами, мышцами или другими структурами).
2. Вероятность ветвления выше при фосфорилированном MAP2, вероятность роста выше при дефосфорилированном MAP2.
3. Верхний сценарий соответствует случаю, когда дефосфорилирование менее чувствительно $[Ca^{2+}]$, чем фосфорилирование (скорость фосфорилирования насыщается раньше). При этом концы имеют тенденцию удлиняться (дефосфорилированный MAP2), а ветвление происходит ближе к телу клетки (более низкая концентрация $[Ca^{2+}]$ и фосфорилированный MAP2).

Нижний сценарий соответствует случаю, когда максимальная скорость дефосфорилирования MAP2 наступает при более низкой концентрации $[Ca^{2+}]$, чем фосфорилирования. Тогда на концах нейритов, где повышена концентрация $[Ca^{2+}]$, будет наблюдаться ветвление (фосфорилированный MAP2).

Решение задачи 5. Аварийный рацион (8 баллов)

Расчеты по этой задаче можно представить в виде таблицы:

вещество, входящее в состав батончика	доля вещества в одном батончике, %	энергия, приходящаяся на 1 грамм вещества в батончике, кДж	энергия, содержащаяся в одном батончике, кДж	энергия, содержащаяся в четырех батончиках, кДж	энергия, которую способен усвоить таупсианин, кДж
вода	20	0	0	0	0
протеин	10	17	170	680	680
лецитин	10	40	400	1600	1600
крахмал	60	17	1020	4080	0
итого	100		1590	6360	2280

Как мы видим, в четырех батончиках находится 6360 кДж, однако таупсианин может усвоить только 2280 кДж. Этого недостаточно для поддержания его жизни в течение 3х дней (нужно 6000 кДж). Однако, если он использует таблетку с амилазой, которая расщепляет сложные углеводы, к которым относится крахмал, то энергии аварийного рациона хватит на то, чтобы дожидаться помощи.

Решение задачи 6. Начинка из фуллеренов (20 баллов)

1. А, В, Д.
2. Фуллерены гидрофобны и будут распределяться в липидной фазе липосомы.

3. В. Рассчитать объем липидной фазы (объем шара диаметром 100 нм вычесть объем шара диаметром 80 нм (или радиусом 40 нм)), объем одной молекулы фуллерена, потом объем липидной фазы разделить на объем одной молекулы, погрешностями упаковки фуллеренов пренебречь! Приблизительно $5 \cdot 10^5$. Однако, обязательно надо учесть, что весь объем липидной фазы не может состоять только из фуллерена, без разрушения мембраны она может включить в себя не более одной десятой объема экзогенного вещества (реально еще меньше). Это и есть ограничение емкости. Т.о., ответ – 50000 молекул фуллерена на 1 липосому. Объемная доля фуллеренов в липидной фазе может быть указана любая разумная, главное, чтобы это было отмечено.
4. Весь объем липидной фазы не может состоять только из фуллерена, без разрушения мембраны она может включить в себя не более одной десятой объема экзогенного вещества.
5. Для адресной доставки необходимо включить в состав липосом, например, соответствующие антитела к антигенам на поверхности клеток пораженного органа.

Решение задачи 7. Мутация меняет все? (20 баллов)

1. Трансформации энергии протекает в соответствии с правилом Линдемана. Допускаются «названия правило 10%», «правило экологической пирамиды» и иные похожие определения, из которых следует, что с одного уровня пирамиды на другой, более высокий, переносится только часть энергии (приблизительно 10%) (2 балла максимум).

2.

Консумент 4-го порядка	Мангусты
Консумент 3-го порядка	Змеи
Консумент 2-го порядка	лягушки
Консумент 1-го порядка	кузнечики
Продуценты	злаки

Допускаются иные, более сложные варианты пищевой цепи (например, мангусты всеядны), допускается даже предположение, что змеи питаются мангустами (мы же не знаем, что это за змеи).

(!) В случае написания иного варианта пищевой цепи, расчет количества злаков, необходимых для прироста мангуста за год, будет проводится согласно пищевой цепи, указанной в ответе участника

3. Рассчитаем количество энергии, необходимое для годового прироста биомассы мангуста: $20 \text{ кг/год} \times 200 \text{ кДж} = 4\,000 \text{ кДж}$. У нас цепочка из пяти звеньев. Согласно правилу Линдемана, если на 5-ом уровне необходимо 4 000 кДж, то на 4-ом энергия будет составлять $4\,000 \text{ кДж} \times 10 = 4 \cdot 10^4 \text{ кДж}$. Соответственно, на 1-ом уровне величина энергии будет составлять - $4 \cdot 10^7 \text{ кДж}$.

Согласно условию задачи, в 1 кг растений содержится 100 кДж энергии. Значит, $4 \cdot 10^7 \text{ кДж}$ заключено в $4 \cdot 10^7 / 100 = 4 \cdot 10^5 \text{ кг}$, или 400 тонн. Ответ: 400 тонн.

4. Согласно закону Харди-Вайнберга, $p + q = 1$, $p^2 + 2pq + q^2 = 1$. q^2 – частота встречаемости гомозигот (aa). $q^2 = 0,2 \times 0,2 = 0,04$. При этом, поскольку пенетрантность гена составляет 25%, то наличие горького вкуса (фенотип) проявлялся примерно у четверти носителей, то есть у 0,01 растений. То есть 0,01 биомассы будет непригодна. Дальше можно рассчитать точное количество энергии, которое достанется мангустам, но даже без расчетов понятно, что прирост в популяции мангустов должен сократиться на один процент. Как это проявится: вымиранием 1% популяции или мангусты будут немного более худыми точно из условий сказать нельзя, но мы напомним на второй вариант (1 процент это все-таки слишком мало :)), а мутация не приведет к существенным изменениям. Возможно, если расширить площади посадки злаков или если организовать дополнительную подкормку мангустов, то проблема будет решена.

Решение задачи 8. ВИЧ (20 баллов)

1. б) (1 балл)
2. г) (1 балл)
3. У некоторых людей есть мутации рецептора/коректоров на Т-лимфоцитах. (1 балл)
Из-за этого вирус не может связываться с ними и проникать в клетки. (1 балл)
4. Из-за разрушения собственных иммунных клеток развивается иммунодефицит. Пациенты с приобретенным иммунодефицитом подвержены практически любым вирусным/бактериальным/грибковым инфекциям и онкологическим заболеваниям. (2 балла)
5. Примеры ответов:
 - 1) Чтобы вирус не связывался с клетками, достаточно модифицировать рецепторы на поверхности клеток, с которыми он взаимодействует (CD4, CXCR5 и/или CCR5 в зависимости от типа ВИЧ). Это можно сделать как с помощью молекул, связывающихся на поверхности рецепторов, так и направленного редактирования генома Т-лимфоцитов. (4 балла)
 - 2) Применять ингибитор обратной транскриптазы. Или вырезать вирусный геном из ДНК клеток с помощью системы редактирования генома. (4 балла)
6. Это очень известная история, но даже если её не знать, можно догадаться из других подвопросов. Ключевым моментом является то, что пациенту пересадили костный мозг донора, *резистентного к ВИЧ* (с мутацией в гене CCR5). Трансплантированные «новые» лимфоциты стали невосприимчивы к ВИЧ. Более того, за этот год появилось 2 новых случая аналогичного излечения от ВИЧ. Обратите внимание, что за переписывание вопроса баллы не ставились. (2 балла)
7. Пример ответа:

Для каких целей: Вирус можно использовать как наноконтейнер для направленной доставки лекарства, в т.ч. ДНК или разрушающего агента, селективно удаляющего мишени. **(до 2 баллов)**

Какая мишень: Так как вирус на поверхности имеет рецепторы, связывающиеся с рецепторами Т-лимфоцитов, то вирус можно использовать для адресной доставки в Т-лимфоциты. **(1 балл)**

Как предотвратить заражение: Главное убрать из него собственный генетический материал, чтобы он не вызывал заражение. **(1 балл)**



Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)

Задания. Вариант I

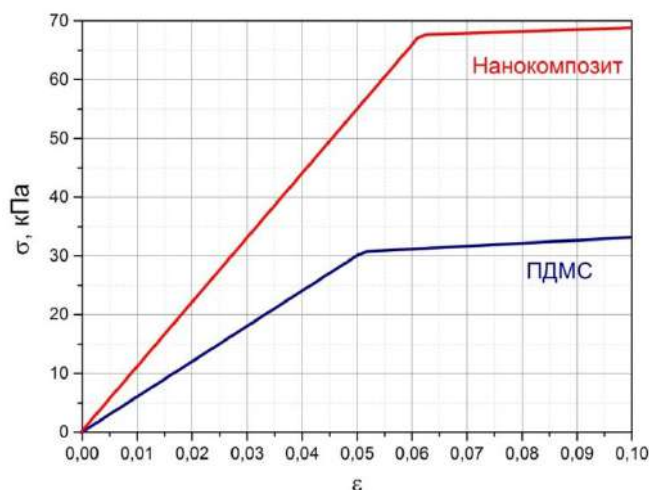
Задача 1. Осаждение тонкой пленки (8 баллов)

В камере объемом $V_1 = 20$ л под поршнем находятся насыщенные пары серебра.

1. Какую работу необходимо совершить при изотермическом сжатии паров до $V_2 = 19$ л? **(3 балла)**
2. В результате изотермического сжатия на подложке образуется металлическая пленка. После осаждения, подложка остывает и пленка кристаллизуется. Какой толщины будет серебряная пленка? **(5 баллов)** Температура в камере $T = 1500$ К. Давление насыщенных паров при данной температуре $p = 34,5$ Па. Плотность серебра $\rho = 10,5$ г/см³. Площадь пластины $S = 100$ см².

Задача 2. Наноккомпозит (8 баллов)

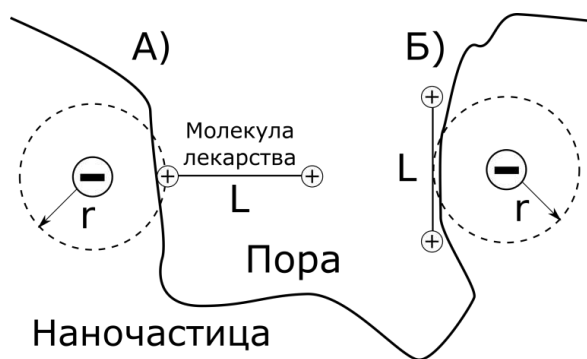
Введение наночастиц в полимерный материал является эффективным методом изменения его механических характеристик. На рисунке приведены диаграммы напряжение-деформация для полимера ПДМС и наноккомпозита на его основе (ПДМС, содержащий 5% многостенных углеродных нанотрубок в виде включений).



1. Определите модули Юнга* полимера и наноккомпозита и объясните их различие. **(6 баллов)**
2. Что произойдёт с наноккомпозитом, если его растянуть на 9%? **(2 балла)**

* Модуль Юнга – коэффициент пропорциональности в законе Гука.

Задача 3. Заряженные нанолейкарства (8 баллов)



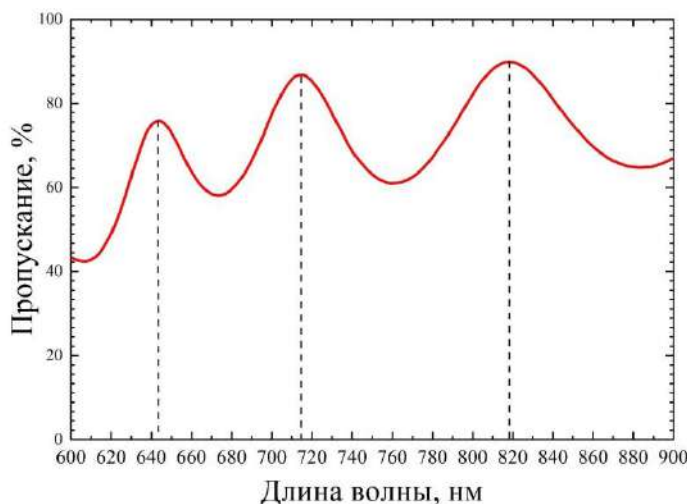
Для повышения эффективности лекарств ученые используют направленную доставку с помощью наночастиц. В поры наночастиц загружают лекарства за счет сил кулоновского притяжения к противоположно-заряженным центрам на поверхности наночастиц. Масса загружаемого лекарства зависит от расположения молекул в порах, так как одни молекулы могут перекрывать доступ в поры другим. Какое из расположений молекулы лекарства, заряженного одинаковым зарядом на каждом из концов, показанное на рисунке (А или Б), обладает меньшей энергией? **(8 баллов)** Длина молекулы $L = 2r$, где r – минимальное расстояние от молекулы до заряженного атома в наночастице. Ответ обоснуйте расчетами.

Задача 4. Прозрачная нанопленка (8 баллов)

Для того, чтобы измерить толщину прозрачных тонких пленок, находящуюся в микрометровом диапазоне, зачастую используется инфракрасная (ИК) спектроскопия – метод, позволяющий получать спектры пропускания в ИК области. Для определения толщины пленок в диапазоне менее 1 мкм лучше подходит оптическая спектроскопия видимого спектра. Вопрос – почему? **(1 балл)**

На графике представлен спектр пропускания тонкой пленки при нормальном падении на нее света в диапазоне 600-900 нм. Оцените толщину пленки с использованием представленного графика. **(5 баллов)** В расчетах примите, что показатель преломления пленки в измеряемом диапазоне длин волн постоянен и равен $n = 3,8$.

В действительности, увеличивается или уменьшается показатель преломления данной пленки с увеличением длины волны? Ответ обоснуйте. **(2 балла)**



Задача 5. Квантовые точки (8 баллов)

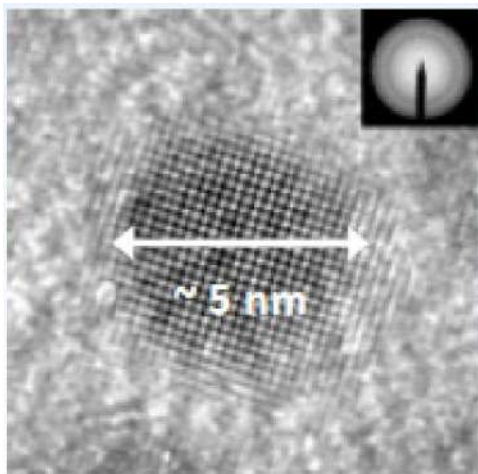


Рис. 1. Изображение квантовой точки, полученное в просвечивающем микроскопе

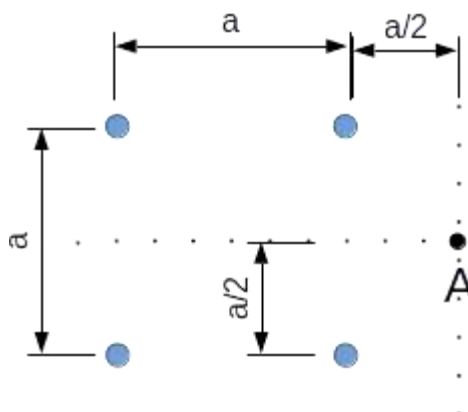


Рис. 2. Взаимное расположение 4 квантовых точек, образующих квадрат

Квантовые точки – наночастицы шарообразной формы, имеющие уникальные физические свойства (см. рис. 1). Представим, что 4 квантовые точки, расположенные в вершинах квадрата, получили заряд $\Delta q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Какова будет напряженность электрического поля в точке А (см. рис. 2)? **(8 баллов)** Расстояние $a = 100$ нм. Диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 2$, диэлектрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,8 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

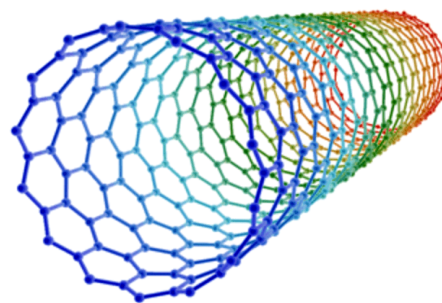
Задача 6. Предел прочности нанотрубки (20 баллов)

Среди большого разнообразия наноматериалов особое место занимают углеродные нанотрубки, обладающие уникальными механическими свойствами. В частности, для них характерны рекордные значения модуля Юнга и предела прочности на разрыв, то есть механического напряжения, при котором происходит разрушение материала.

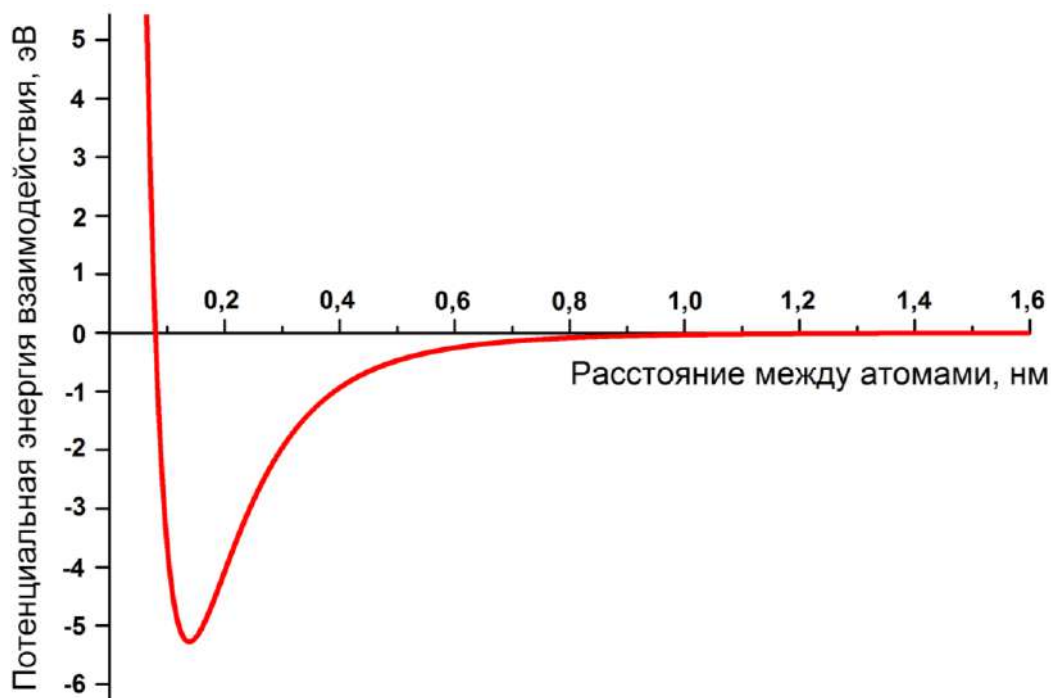
Известно, что взаимодействие между атомами углерода в нанотрубке описывается потенциалом Леннард-Джонса

$$U(r) = 4U_0 \left[\left(\frac{R}{r} \right)^{12} - \left(\frac{R}{r} \right)^6 \right],$$

где $U(r)$ – потенциал взаимодействия, $U_0 = \text{const}$, r – расстояние между атомами, R – минимальное расстояние, на котором энергия взаимодействия между атомами равна нулю. График $U(r)$ изображён на рисунке.



Одностенная углеродная нанотрубка типа «зигзаг»



1. По представленному графику $U(r)$ определите расстояние между соседними атомами углерода и энергию связи С–С в недеформированной одностенной углеродной нанотрубке. **(6 баллов)**
2. Определите количество связей С–С в поперечном сечении одностенной углеродной нанотрубки типа «зигзаг», ориентированных вдоль её оси, если диаметр данной нанотрубки равен 2 нм. **(7 баллов)**
3. Используя полученные результаты, оцените предел прочности на разрыв для данной нанотрубки, если растягивающую силу прикладывают вдоль её оси. Минимальная сила, необходимая для разрыва одной связи С–С, равна 6,1 нН. **(7 баллов)**

Задача 7. Дифракция на атомах в наночастице (20 баллов)

Кристаллическую структуру твердотельных наноструктур изучают с помощью рентгеновской и электронной дифракции, а для определения среднего размера наночастиц, d , используют формулу Дебая-Шеррера, связывающую его с уширением дифракционных линий:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta},$$

где λ – длина волны излучения, θ – угол дифракции, β – полуширина дифракционного пика, K – форм-фактор, равный 0,9 для сферических частиц.

Найдите полуширину линии для дифракционного максимума первого порядка от наночастиц диаметром $D = 5$ нм **(8 баллов)**, если межплоскостное расстояние в нанокристалле $d = \lambda = 1,5 \text{ \AA}$.

Чему будет равна полуширина, если дифракция наблюдается не в рентгеновском дифрактометре, а в просвечивающем электронном микроскопе с энергией электронов 200 кэВ? **(12 баллов)**

Задача 8. Левитация наночастиц (20 баллов)

В ходе решения задач заочного тура Вы познакомились с методом оптического пинцета, за который в 2018 году была присуждена Нобелевская премия. Один из вопросов этой задачи состоял в том, чтобы выяснить какие еще силы, помимо градиентной, действуют на частицы, освещаемые светом.

Представим себе, что серебряный куб с ребром $a = 50$ нм (например чуть меньше, чем тот, который изображен на микрофотографии) освещается пучком света снизу. Какова должна быть интенсивность света, чтобы он парил в поле силы тяжести? Свет монохроматический, падает перпендикулярно к нижней грани. Коэффициент отражения $R = 1,0$. Плотность серебра $\rho = 10,5$ г/см³. **(15 баллов)**

Как будет отличаться интенсивность света (будет больше или меньше), если освещать наностержень с диаметром основания $D = 50$ нм, как показано на рисунке. Ответ обоснуйте. **(5 баллов)**

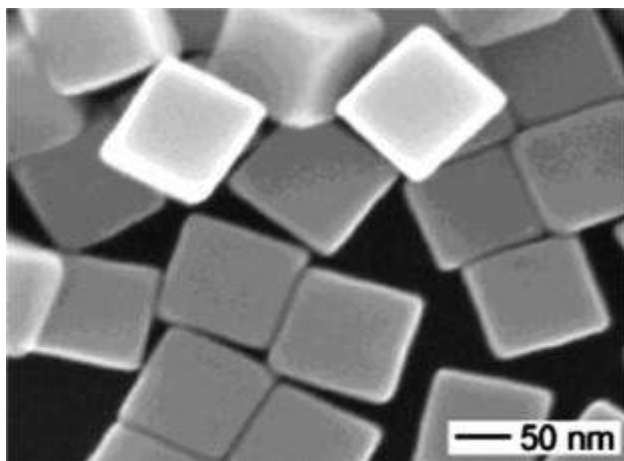


Рис. 1. Микрофотография серебряных нанокубиков

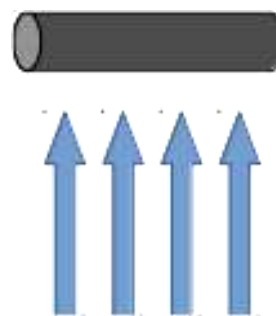


Рис. 2. Падение света на наностержень



Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)

Задания. Вариант II

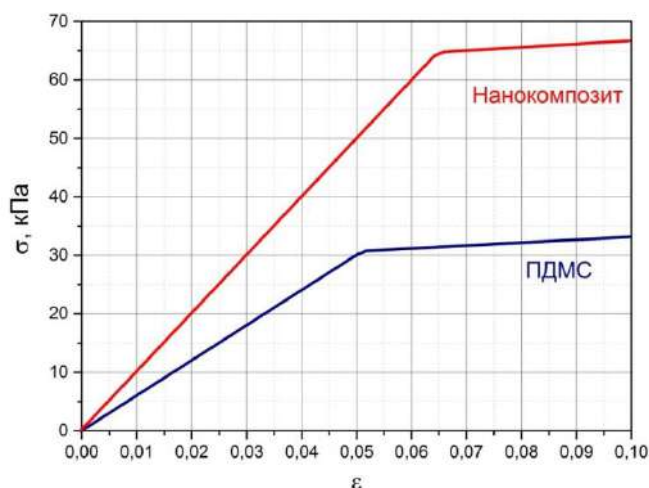
Задача 1. Осаждение тонкой пленки (8 баллов)

Для осаждения плёнки на подложку в камеру объемом $V_1 = 200$ л напускают насыщенные пары серебра.

1. Какую работу необходимо совершить при изотермическом сжатии паров до объема $V_2 = 100$ л? **(3 балла)**
2. В результате изотермического сжатия на подложке образуется металлическая пленка. После осаждения, подложка остывает и пленка кристаллизуется. Какой толщины будет серебряная пленка? **(5 баллов)** Температура в камере $T = 1200$ К. Давление насыщенных паров при данной температуре $p = 0,164$ Па. Плотность серебра $\rho = 10,5$ г/см³. Площадь пластины $S = 100$ см².

Задача 2. Наноккомпозит (8 баллов)

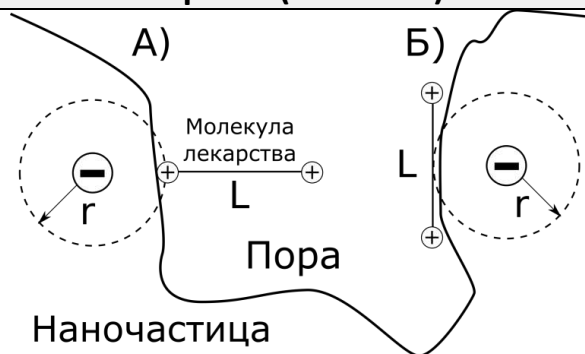
Введение наночастиц в полимерный материал является эффективным методом изменения его механических характеристик. На рисунке приведены диаграммы напряжение-деформация для полимера ПДМС и наноккомпозита на его основе (ПДМС, содержащий 4% многостенных углеродных нанотрубок в виде включений).



1. Определите модули Юнга* полимера и наноккомпозита и объясните их различие. **(6 баллов)**
2. Что произойдёт с наноккомпозитом, если его растянуть на 8,5%? **(2 балла)**

* Модуль Юнга – коэффициент пропорциональности в законе Гука.

Задача 3. Заряженные нанолейкарства (8 баллов)



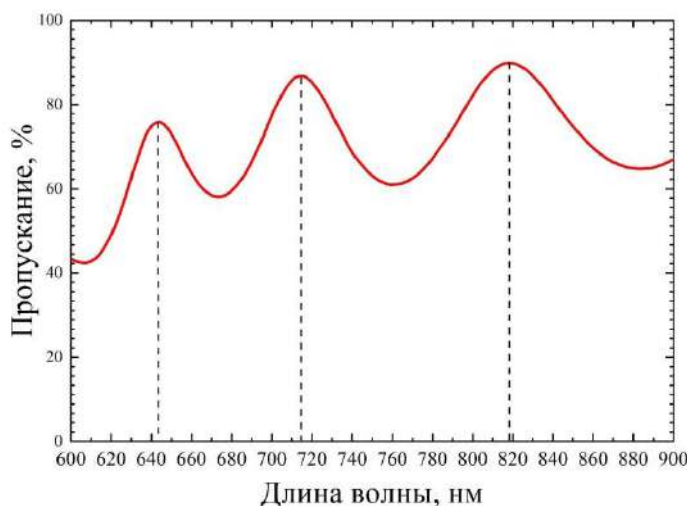
Для направленной доставки лекарств в определенные органы используются наночастицы, в поры которых загружаются лекарства. Они удерживаются в порах за счет кулоновского притяжения к противоположно-заряженным центрам на поверхности наночастиц. Масса загружаемого лекарства зависит от расположения молекул в порах, так как одни молекулы могут перекрывать доступ в поры другим. Какое из расположений молекулы лекарства, заряженного одинаковым зарядом на каждом из концов, показанное на рисунке (А или Б), обладает меньшей энергией? **(8 баллов)** Длина молекулы $L = 4r$, где r – минимальное расстояние от молекулы до заряженного атома в наночастице. Ответ обоснуйте расчетами.

Задача 4. Прозрачная нанопленка (8 баллов)

Для того, чтобы измерить толщину прозрачных тонких пленок, находящуюся в микрометровом диапазоне, зачастую используется инфракрасная (ИК) спектроскопия – метод, позволяющий получать спектры пропускания в ИК области. Для определения толщины пленок в диапазоне менее 1 мкм лучше подходит оптическая спектроскопия видимого спектра. Вопрос – почему? **(1 балл)**

На графике представлен спектр пропускания тонкой пленки при нормальном падении на нее света в диапазоне 600-900 нм. Оцените толщину пленки с использованием представленного графика. **(5 баллов)** В расчетах примите, что показатель преломления пленки в измеряемом диапазоне длин волн постоянен и равен $n = 4$.

В действительности, увеличивается или уменьшается показатель преломления данной пленки с увеличением длины волны? Ответ обоснуйте. **(2 балла)**



Задача 5. Квантовые точки (8 баллов)

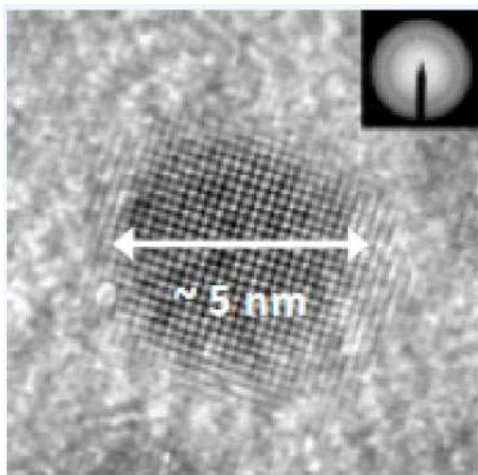


Рис. 1. Изображение квантовой точки, полученное в просвечивающем микроскопе

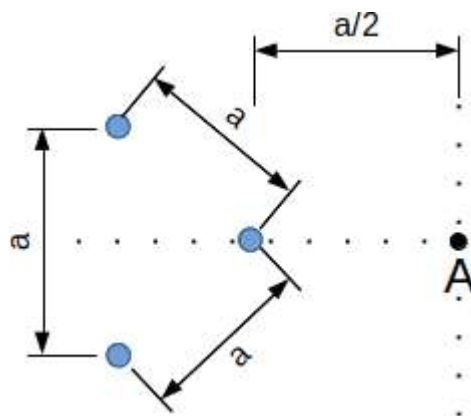


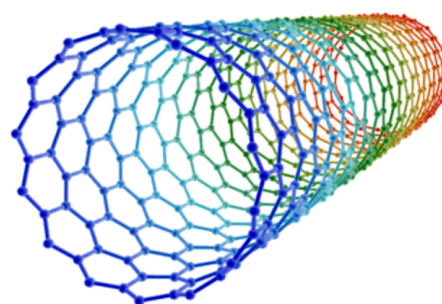
Рис. 2. Взаимное расположение 3 квантовых точек, образующих равносторонний треугольник

Квантовые точки – наночастицы шарообразной формы, имеющие уникальные физические свойства (см. рис. 1). Представим, что 3 квантовые точки, расположенные в вершинах равностороннего треугольника, получили заряд $\Delta q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Какова будет напряженность электрического поля в точке А (см. рис. 2)? **(8 баллов)** Расстояние $a = 100$ нм. Диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 2$, диэлектрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,8 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Задача 6. Предел прочности нанотрубки (20 баллов)

Среди большого разнообразия наноматериалов особое место занимают углеродные нанотрубки, обладающие уникальными механическими свойствами. В частности, для них характерны рекордные значения модуля Юнга и предела прочности на разрыв, то есть механического напряжения, при котором происходит разрушение материала.

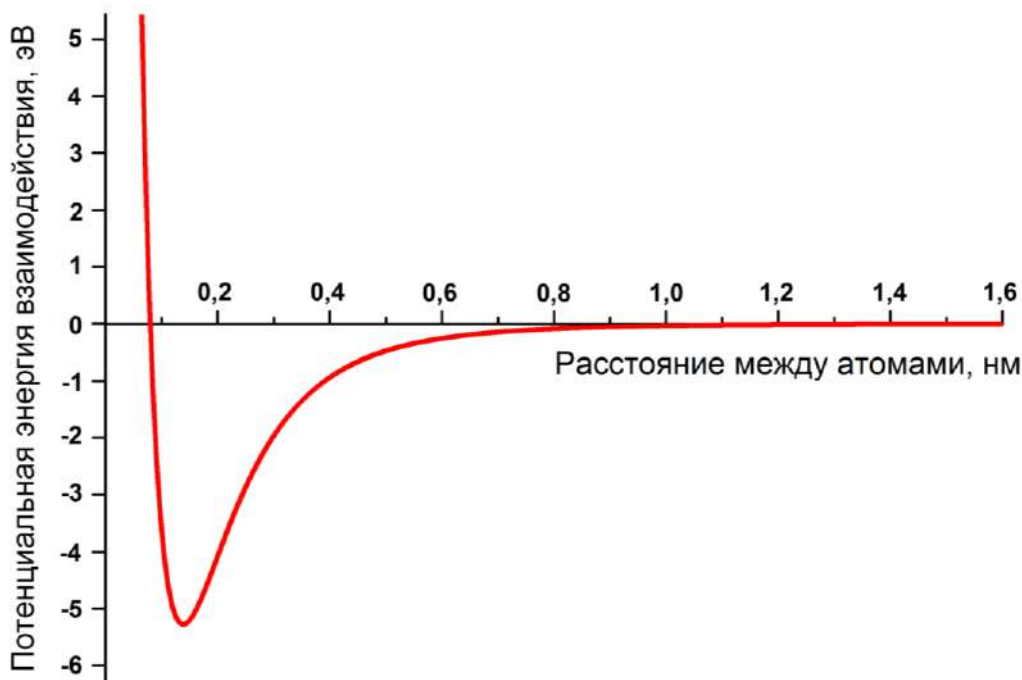
Известно, что взаимодействие между атомами углерода в нанотрубке описывается потенциалом Леннард-Джонса



Одностенная углеродная нанотрубка типа «зигзаг»

$$U(r) = 4U_0 \left[\left(\frac{R}{r} \right)^{12} - \left(\frac{R}{r} \right)^6 \right],$$

где $U(r)$ – потенциал взаимодействия, $U_0 = \text{const}$, r – расстояние между атомами, R – минимальное расстояние, на котором энергия взаимодействия между атомами равна нулю. График $U(r)$ изображён на рисунке.



1. По представленному графику $U(r)$ определите расстояние между соседними атомами углерода и энергию связи С–С в недеформированной одностенной углеродной нанотрубке. **(6 баллов)**
2. Определите количество связей С–С в поперечном сечении одностенной углеродной нанотрубки типа «зигзаг», ориентированных вдоль её оси, если диаметр данной нанотрубки равен 2 нм. **(7 баллов)**
3. Используя полученные результаты, оцените предел прочности на разрыв для данной нанотрубки, если растягивающую силу прикладывают вдоль её оси. Минимальная сила, необходимая для разрыва одной связи С–С, равна 6,1 нН. **(7 баллов)**

Задача 7. Дифракция на атомах в наночастице (20 баллов)

Кристаллическую структуру твердотельных наноструктур изучают с помощью рентгеновской и электронной дифракции, а для определения среднего размера наночастиц, d , используют формулу Дебая-Шеррера, связывающую его с уширением дифракционных линий:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta},$$

где λ – длина волны излучения, θ – угол дифракции, β – полуширина дифракционного пика, K – форм-фактор, равный 0,9 для сферических частиц.

Найдите полуширину линии для дифракционного максимума первого порядка от наночастиц диаметром $D = 5$ нм **(8 баллов)**, если межплоскостное расстояние в нанокристалле $d = \lambda = 1,5$ Å.

Чему будет равна полуширина, если дифракция наблюдается не в рентгеновском дифрактометре, а в просвечивающем электронном микроскопе с энергией электронов 200 кэВ? **(12 баллов)**

Задача 8. Левитация наночастиц (20 баллов)

В ходе решения задач заочного тура Вы познакомились с методом оптического пинцета, за который в 2018 году была присуждена Нобелевская премия. Один из вопросов этой задачи состоял в том, чтобы выяснить какие еще силы, помимо градиентной, действуют на частицы, освещаемые светом.

Представим себе, что серебряный куб с ребром $a = 50$ нм (например чуть меньше, чем тот, который изображен на микрофотографии) освещается пучком света снизу. Какова должна быть интенсивность света, чтобы он парил в поле силы тяжести? Свет монохроматический, падает перпендикулярно к нижней грани. Коэффициент отражения $R = 1,0$. Плотность серебра $\rho = 10,5$ г/см³. **(15 баллов)**

Как будет отличаться интенсивность света (будет больше или меньше), если освещать наностержень с диаметром основания $D = 50$ нм, как показано на рисунке. Ответ обоснуйте. **(5 баллов)**

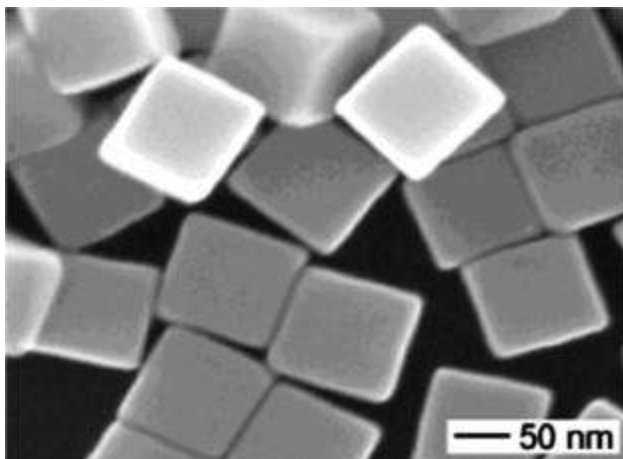


Рис. 1. Микрофотография серебряных нанокубиков

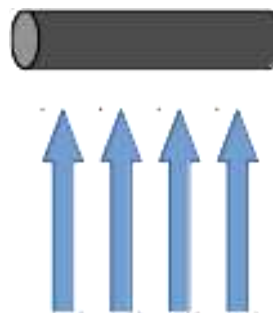


Рис. 2. Падение света на наностержень



Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)

Задания. Вариант III

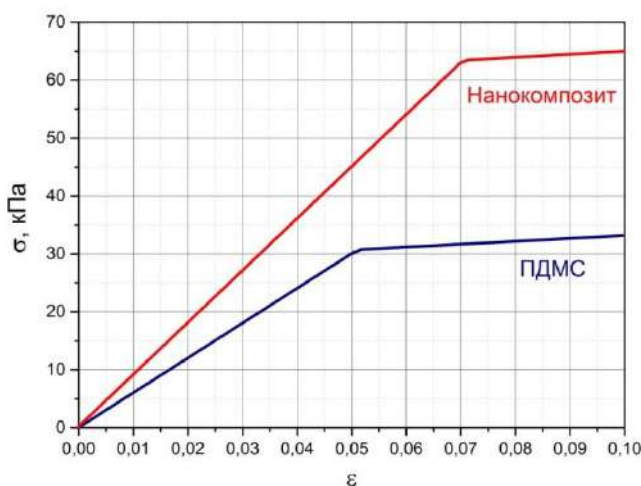
Задача 1. Осаждение тонкой пленки (8 баллов)

Для осаждения плёнки на подложку в камеру объемом $V_1 = 20$ л напускают насыщенные пары серебра. Затем пары изотермически сжимают до $V_2 = 19$ л.

1. Какую работу необходимо совершить при изотермическом сжатии? **(3 балла)**
2. В результате изотермического сжатия на подложке образуется металлическая пленка. После осаждения, подложка остывает и пленка кристаллизуется. Какой толщины будет серебряная пленка? **(5 баллов)** Температура в камере $T = 1500$ К. Давление насыщенных паров при данной температуре $p = 34,5$ Па. Плотность серебра $\rho = 10,5$ г/см³. Площадь пластины $S = 100$ см².

Задача 2. Наноккомпозит (8 баллов)

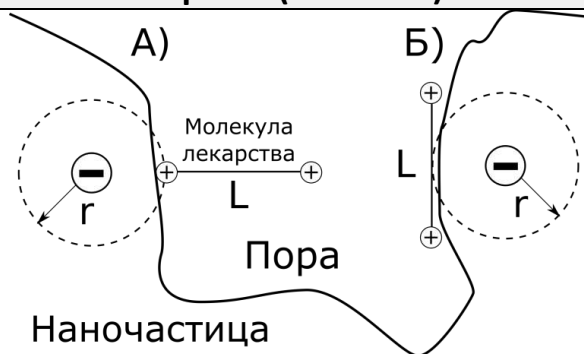
Введение наночастиц в полимерный материал является эффективным методом изменения его механических характеристик. На рисунке приведены диаграммы напряжение-деформация для полимера ПДМС и наноккомпозита на его основе (ПДМС, содержащий 3% многостенных углеродных нанотрубок в виде включений).



1. Определите модули Юнга* полимера и наноккомпозита и объясните их различие. **(6 баллов)**
2. Что произойдёт с наноккомпозитом, если его растянуть на 8%? **(2 балла)**

* Модуль Юнга – коэффициент пропорциональности в законе Гука.

Задача 3. Заряженные нанолейкарства (8 баллов)



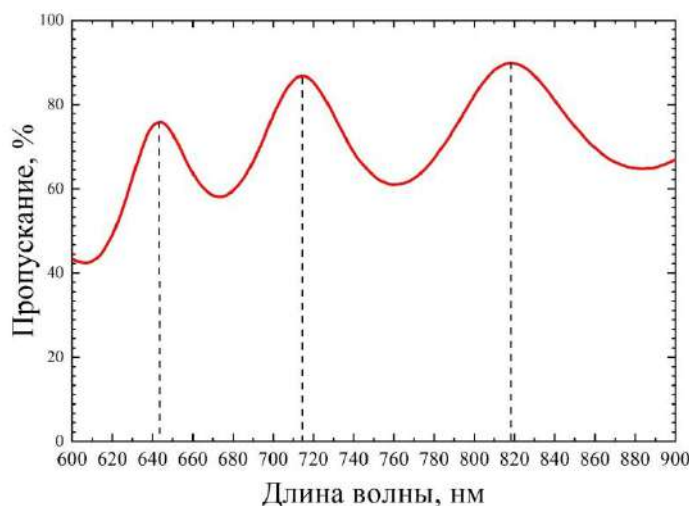
В поры наночастиц загружают лекарства, чтобы реализовать адресную доставку в опухоли или области воспаления. Молекулы лекарства связываются с поверхностью наночастиц из-за кулоновского притяжения к противоположно-заряженным центрам. Масса загружаемого лекарства зависит от расположения молекул в порах, так как одни молекулы могут перекрывать доступ в поры другим. Какое из расположений молекулы лекарства, заряженного одинаковым зарядом на каждом из концов, показанное на рисунке (А или Б), обладает меньшей энергией? **(8 баллов)** Длина молекулы $L = r$, где r – минимальное расстояние от молекулы до заряженного атома в наночастице. Ответ обоснуйте расчетами.

Задача 4. Прозрачная нанопленка (8 баллов)

Для того чтобы измерить толщину прозрачных тонких пленок, находящуюся в микрометровом диапазоне, зачастую используется инфракрасная (ИК) спектроскопия – метод, позволяющий получать спектры пропускания в ИК области. Для определения толщины пленок в диапазоне менее 1 мкм лучше подходит оптическая спектроскопия видимого спектра. Вопрос – почему? **(1 балл)**

На графике представлен спектр пропускания тонкой пленки при нормальном падении на нее света в диапазоне 600-900 нм. Оцените толщину пленки с использованием представленного графика. **(5 баллов)** В расчетах примите, что показатель преломления пленки в измеряемом диапазоне длин волн постоянен и равен $n = 4,2$.

В действительности, увеличивается или уменьшается показатель преломления данной пленки с увеличением длины волны? Ответ обоснуйте. **(2 балла)**



Задача 5. Квантовые точки (8 баллов)

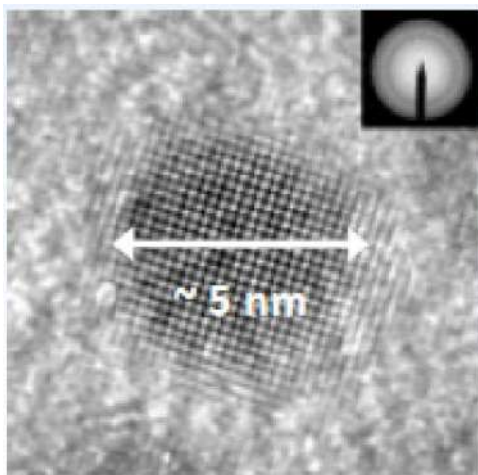


Рис. 1. Изображение квантовой точки, полученное в просвечивающем микроскопе

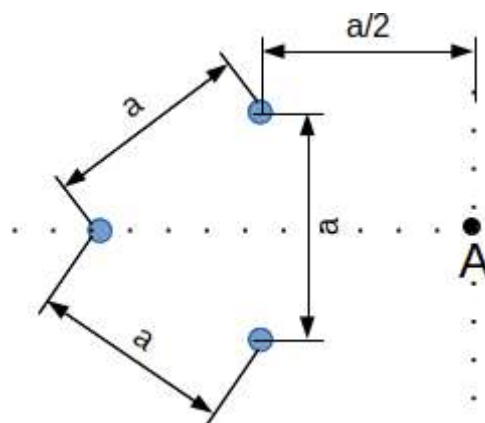


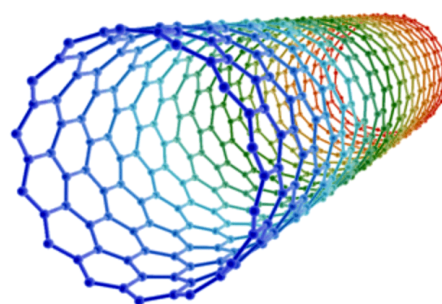
Рис. 2. Взаимное расположение 3 квантовых точек, образующих равносторонний треугольник

Квантовые точки – наночастицы шарообразной формы, имеющие уникальные физические свойства (см. рис. 1). Представим, что 3 квантовые точки, расположенные в вершинах равностороннего треугольника, получили заряд $\Delta q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Какова будет напряженность электрического поля в точке А (см. рис. 2)? **(8 баллов)** Расстояние $a = 100$ нм. Диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 2$, диэлектрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,8 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Задача 6. Предел прочности нанотрубки (20 баллов)

Среди большого разнообразия наноматериалов особое место занимают углеродные нанотрубки, обладающие уникальными механическими свойствами. В частности, для них характерны рекордные значения модуля Юнга и предела прочности на разрыв, то есть механического напряжения, при котором происходит разрушение материала.

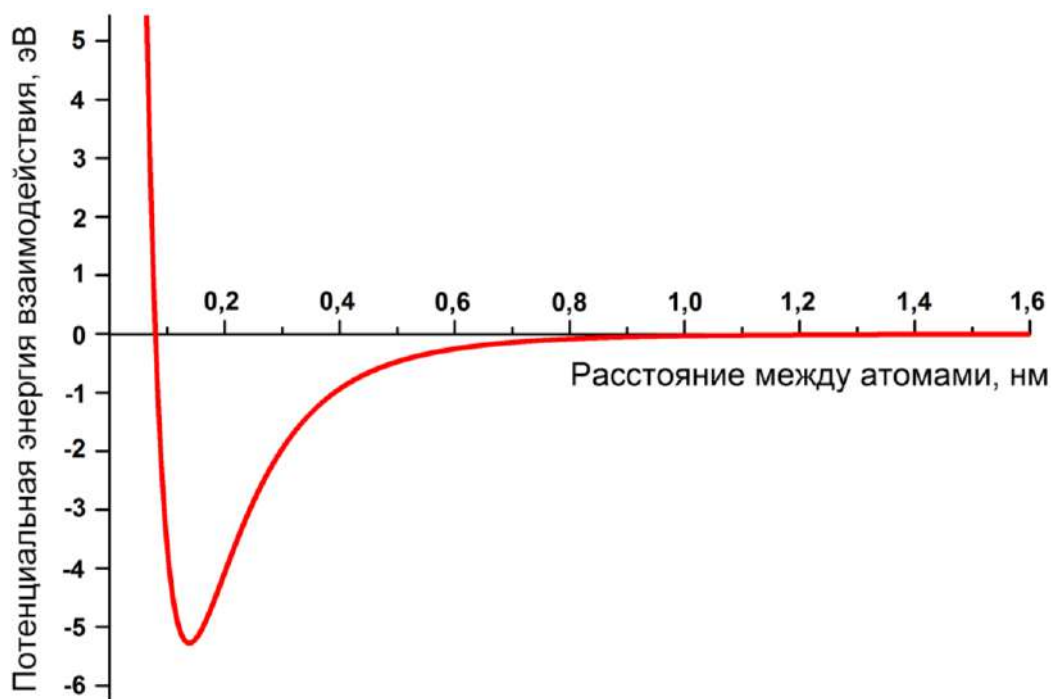
Известно, что взаимодействие между атомами углерода в нанотрубке описывается потенциалом Леннард-Джонса



Одностенная углеродная нанотрубка типа «зигзаг»

$$U(r) = 4U_0 \left[\left(\frac{R}{r} \right)^{12} - \left(\frac{R}{r} \right)^6 \right],$$

где $U(r)$ – потенциал взаимодействия, $U_0 = \text{const}$, r – расстояние между атомами, R – минимальное расстояние, на котором энергия взаимодействия между атомами равна нулю. График $U(r)$ изображён на рисунке.



1. По представленному графику $U(r)$ определите расстояние между соседними атомами углерода и энергию связи C–C в недеформированной одностенной углеродной нанотрубке. **(6 баллов)**
2. Определите количество связей C–C в поперечном сечении одностенной углеродной нанотрубки типа «зигзаг», ориентированных вдоль её оси, если диаметр данной нанотрубки равен 2 нм. **(7 баллов)**
3. Используя полученные результаты, оцените предел прочности на разрыв для данной нанотрубки, если растягивающую силу прикладывают вдоль её оси. Минимальная сила, необходимая для разрыва одной связи C–C, равна 6,1 нН. **(7 баллов)**

Задача 7. Дифракция на атомах в наночастице (20 баллов)

Кристаллическую структуру твердотельных наноструктур изучают с помощью рентгеновской и электронной дифракции, а для определения среднего размера наночастиц, d , используют формулу Дебая-Шеррера, связывающую его с уширением дифракционных линий:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta},$$

где λ – длина волны излучения, θ – угол дифракции, β – полуширина дифракционного пика, K – форм-фактор, равный 0,9 для сферических частиц.

Найдите полуширину линии для дифракционного максимума первого порядка от наночастиц диаметром $D = 5$ нм **(8 баллов)**, если межплоскостное расстояние в нанокристалле $d = \lambda = 1,5 \text{ \AA}$.

Чему будет равна полуширина, если дифракция наблюдается не в рентгеновском дифрактометре, а в просвечивающем электронном микроскопе с энергией электронов 200 кэВ? **(12 баллов)**

Задача 8. Левитация наночастиц (20 баллов)

В ходе решения задач заочного тура Вы познакомились с методом оптического пинцета, за который в 2018 году была присуждена Нобелевская премия. Один из вопросов этой задачи состоял в том, чтобы выяснить какие еще силы, помимо градиентной, действуют на частицы, освещаемые светом.

Представим себе, что серебряный куб с ребром $a = 50$ нм (например чуть меньше, чем тот, который изображен на микрофотографии) освещается пучком света снизу. Какова должна быть интенсивность света, чтобы он парил в поле силы тяжести? Свет монохроматический, падает перпендикулярно к нижней грани. Коэффициент отражения $R = 1,0$. Плотность серебра $\rho = 10,5$ г/см³. **(15 баллов)**

Как будет отличаться интенсивность света (будет больше или меньше), если освещать наностержень с диаметром основания $D = 50$ нм, как показано на рисунке. Ответ обоснуйте. **(5 баллов)**

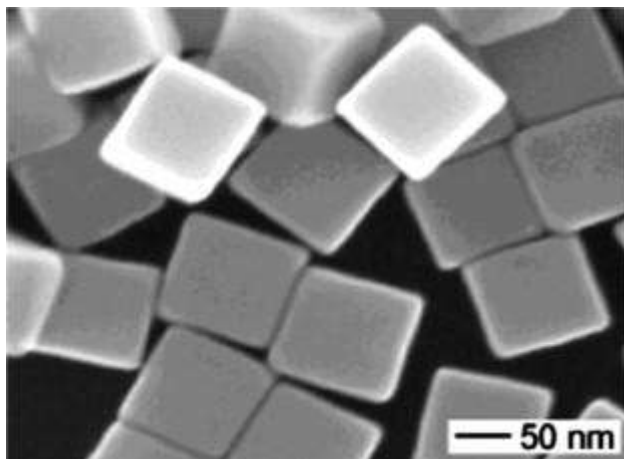


Рис. 1. Микрофотография серебряных нанокубиков

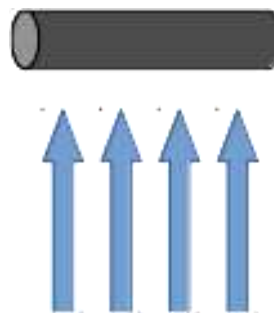


Рис. 2. Падение света на наностержень



Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)
Задания. Вариант IV

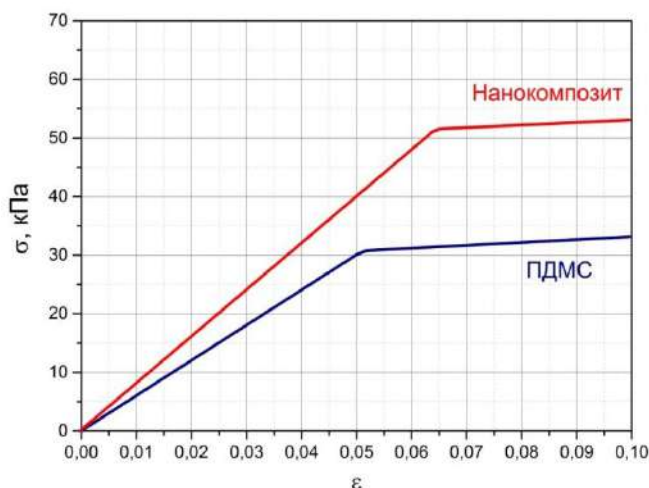
Задача 1. Осаждение тонкой пленки (8 баллов)

В камере объемом $V_1 = 200$ л под поршнем находятся насыщенные пары серебра.

1. Какую работу необходимо совершить при изотермическом сжатии паров до объема $V_2 = 100$ л? **(3 балла)**
2. В результате изотермического сжатия на подложке образуется металлическая пленка. После осаждения, подложка остывает и пленка кристаллизуется. Какой толщины будет серебряная пленка? **(5 баллов)** Температура в камере $T = 1200$ К. Давление насыщенных паров при данной температуре $p = 0,164$ Па. Плотность серебра $\rho = 10,5$ г/см³. Площадь пластины $S = 100$ см².

Задача 2. Наноккомпозит (8 баллов)

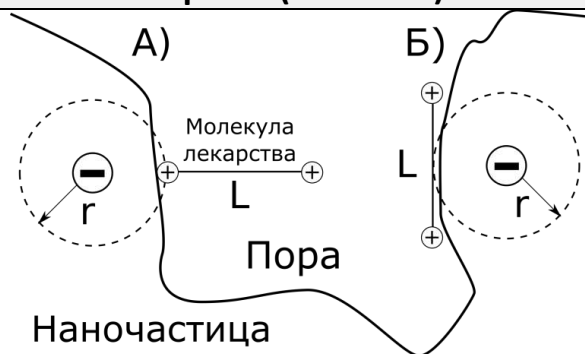
Введение наночастиц в полимерный материал является эффективным методом изменения его механических характеристик. На рисунке приведены диаграммы напряжение-деформация для полимера ПДМС и наноккомпозита на его основе (ПДМС, содержащий 2% многостенных углеродных нанотрубок в виде включений).



1. Определите модули Юнга* полимера и наноккомпозита и объясните их различие. **(6 баллов)**
2. Что произойдёт с наноккомпозитом, если его растянуть на 7%? **(2 балла)**

* Модуль Юнга – коэффициент пропорциональности в законе Гука.

Задача 3. Заряженные нанолейкарства (8 баллов)



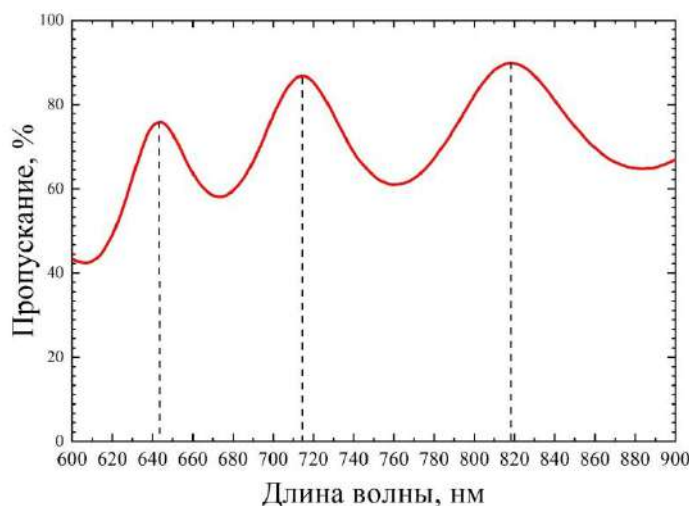
Положительно-заряженные молекулы лекарства притягиваются к отрицательно-заряженным центрам в порах наночастиц. Таким образом ученые загружают лекарства в поры наночастиц, чтобы доставлять их в нужные места организма. Масса загружаемого лекарства зависит от расположения молекул в порах, так как одни молекулы могут перекрывать доступ в поры другим. Какое из расположений молекулы лекарства, заряженного одинаковым зарядом на каждом из концов, показанное на рисунке (А или Б), обладает меньшей энергией? **(8 баллов)** Длина молекулы $L = 6r$, где r – минимальное расстояние от молекулы до заряженного атома в наночастице. Ответ обоснуйте расчетами.

Задача 4. Прозрачная нанопленка (8 баллов)

Для того, чтобы измерить толщину прозрачных тонких пленок, находящуюся в микрометровом диапазоне, зачастую используется инфракрасная (ИК) спектроскопия – метод, позволяющий получать спектры пропускания в ИК области. Для определения толщины пленок в диапазоне менее 1 мкм лучше подходит оптическая спектроскопия видимого спектра. Вопрос – почему? **(1 балл)**

На графике представлен спектр пропускания тонкой пленки при нормальном падении на нее света в диапазоне 600-900 нм. Оцените толщину пленки с использованием представленного графика. **(5 баллов)** В расчетах примите, что показатель преломления пленки в измеряемом диапазоне длин волн постоянен и равен $n = 4,4$.

В действительности, увеличивается или уменьшается показатель преломления данной пленки с увеличением длины волны? Ответ обоснуйте. **(2 балла)**



Задача 5. Квантовые точки (8 баллов)

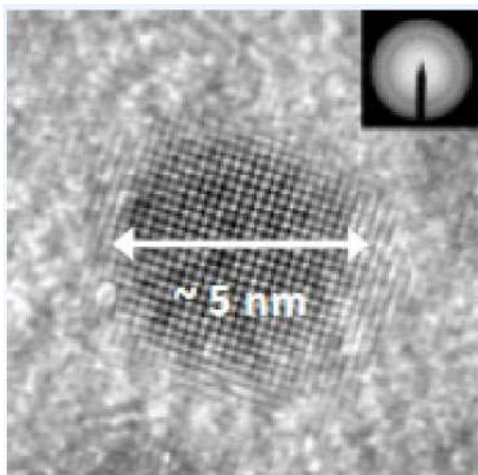


Рис. 1. Изображение квантовой точки, полученное в просвечивающем микроскопе

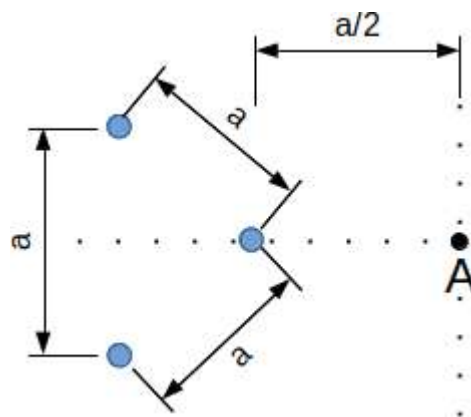


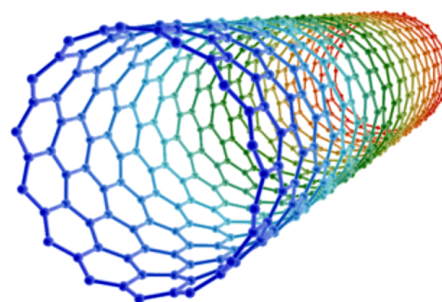
Рис. 2. Взаимное расположение 3 квантовых точек, образующих равносторонний треугольник

Квантовые точки – наночастицы шарообразной формы, имеющие уникальные физические свойства (см. рис. 1). Представим, что 3 квантовые точки, расположенные в вершинах равностороннего треугольника, получили заряд $\Delta q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Какова будет напряженность электрического поля в точке А (см. рис. 2)? **(8 баллов)** Расстояние $a = 200$ нм. Диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 4$, диэлектрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,8 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Задача 6. Предел прочности нанотрубки (20 баллов)

Среди большого разнообразия наноматериалов особое место занимают углеродные нанотрубки, обладающие уникальными механическими свойствами. В частности, для них характерны рекордные значения модуля Юнга и предела прочности на разрыв, то есть механического напряжения, при котором происходит разрушение материала.

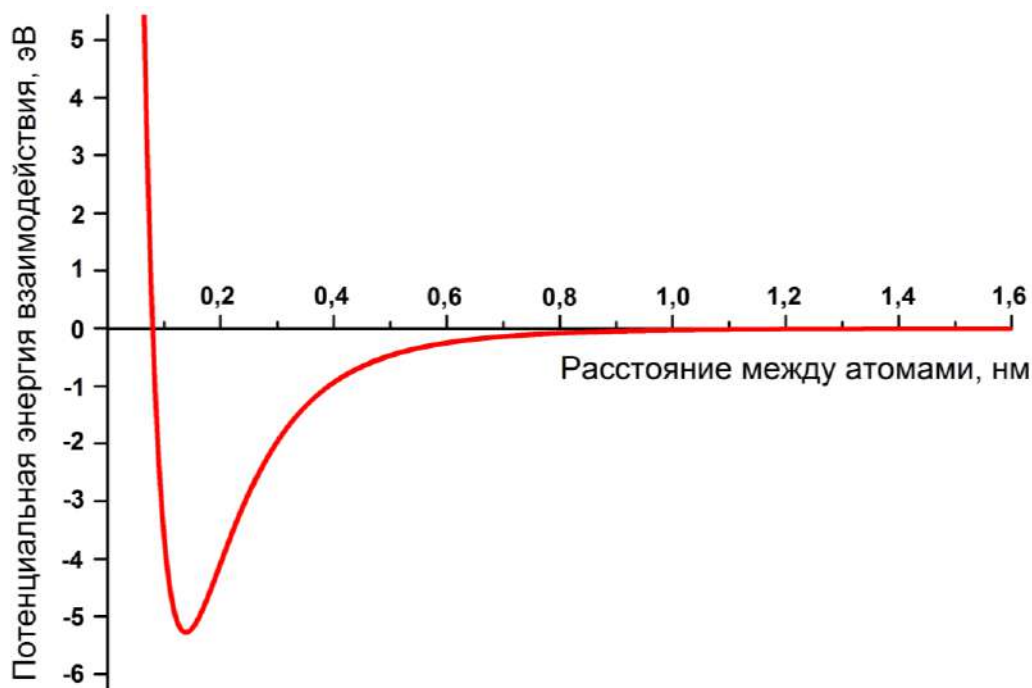
Известно, что взаимодействие между атомами углерода в нанотрубке описывается потенциалом Леннард-Джонса



Одностенная углеродная нанотрубка типа «зигзаг»

$$U(r) = 4U_0 \left[\left(\frac{R}{r} \right)^{12} - \left(\frac{R}{r} \right)^6 \right],$$

где $U(r)$ – потенциал взаимодействия, $U_0 = \text{const}$, r – расстояние между атомами, R – минимальное расстояние, на котором энергия взаимодействия между атомами равна нулю. График $U(r)$ изображён на рисунке.



1. По представленному графику $U(r)$ определите расстояние между соседними атомами углерода и энергию связи C–C в недеформированной одностенной углеродной нанотрубке. **(6 баллов)**
2. Определите количество связей C–C в поперечном сечении одностенной углеродной нанотрубки типа «зигзаг», ориентированных вдоль её оси, если диаметр данной нанотрубки равен 2 нм. **(7 баллов)**
3. Используя полученные результаты, оцените предел прочности на разрыв для данной нанотрубки, если растягивающую силу прикладывают вдоль её оси. Минимальная сила, необходимая для разрыва одной связи C–C, равна 6,1 нН. **(7 баллов)**

Задача 7. Дифракция на атомах в наночастице (20 баллов)

Кристаллическую структуру твердотельных наноструктур изучают с помощью рентгеновской и электронной дифракции, а для определения среднего размера наночастиц, d , используют формулу Дебая-Шеррера, связывающую его с уширением дифракционных линий:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta},$$

где λ – длина волны излучения, θ – угол дифракции, β – полуширина дифракционного пика, K – форм-фактор, равный 0,9 для сферических частиц.

Найдите полуширину линии для дифракционного максимума первого порядка от наночастиц диаметром $D = 5$ нм **(8 баллов)**, если межплоскостное расстояние в нанокристалле $d = \lambda = 1,5$ Å.

Чему будет равна полуширина, если дифракция наблюдается не в рентгеновском дифрактометре, а в просвечивающем электронном микроскопе с энергией электронов 200 кэВ? **(12 баллов)**

Задача 8. Левитация наночастиц (20 баллов)

В ходе решения задач заочного тура Вы познакомились с методом оптического пинцета, за который в 2018 году была присуждена Нобелевская премия. Один из вопросов этой задачи состоял в том, чтобы выяснить какие еще силы, помимо градиентной, действуют на частицы, освещаемые светом.

Представим себе, что серебряный куб с ребром $a = 50$ нм (например чуть меньше, чем тот, который изображен на микрофотографии) освещается пучком света снизу. Какова должна быть интенсивность света, чтобы он парил в поле силы тяжести? Свет монохроматический, падает перпендикулярно к нижней грани. Коэффициент отражения $R = 1,0$. Плотность серебра $\rho = 10,5$ г/см³. **(15 баллов)**

Как будет отличаться интенсивность света (будет больше или меньше), если освещать наностержень с диаметром основания $D = 50$ нм, как показано на рисунке. Ответ обоснуйте. **(5 баллов)**

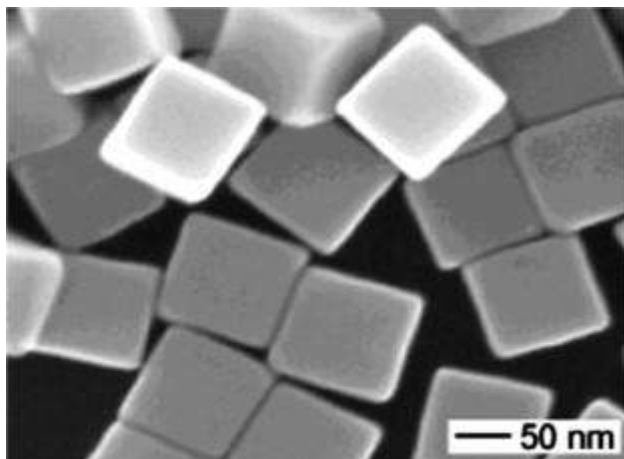


Рис. 1. Микрофотография серебряных нанокубиков

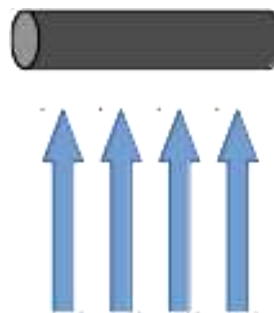


Рис. 2. Падение света на наностержень



Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Решения. Вариант I

Решение задачи 1. Осаждение тонкой пленки (8 баллов)

1. При изотермическом сжатии насыщенного пара давление остается постоянным, а количество вещества уменьшается за счет конденсации. Таким образом, работу считаем, как для изобарического процесса:

$$A = p\Delta V = p(V_2 - V_1) = 34,5 \text{ Па} \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 34,5 \text{ мДж}$$

2. Для того, чтобы рассчитать толщину, найдем массу пленки через число сконденсировавшихся атомов. Для этого воспользуемся соотношением, связывающим давление и концентрацию: $p = nkT$

$$\begin{aligned} d = \frac{V}{S} = \frac{m}{\rho S} = \frac{m_{Ag} N}{\rho S} = \frac{m_{Ag} n \Delta V}{\rho S} = \frac{m_{Ag} p \Delta V}{\rho S k T} \\ = \frac{108 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 34,5 \text{ Па} \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{10,5 \cdot 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} / \text{К} \cdot 1500 \text{ К}} = 3 \text{ нм} \end{aligned}$$

Решение задачи 2. Наноккомпозит (8 баллов)

1. Согласно закону Гука $\sigma = E\varepsilon$. Поэтому модуль Юнга можно определить по графику как тангенс угла наклона линейного участка кривой.

$$\text{Для ПДМС } E_{\text{ПДМС}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{30 \text{ кПа}}{0,05} = 600 \text{ кПа} = 0,6 \text{ МПа}$$

$$\text{Для наноккомпозита } E_{\text{НК}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{55 \text{ кПа}}{0,05} = 1100 \text{ кПа} = 1,1 \text{ МПа}$$

Модуль Юнга наноккомпозита выше, чем у чистого полимера, так как нанотрубки, включённые в его структуру, препятствуют движению полимерных цепей.

2. Относительное удлинение, равное 9%, соответствует участку неупругих (пластических) деформаций, которые являются необратимыми. Поэтому такой композит уже не сможет принять первоначальную форму.

Решение задачи 3. Заряженные нанолейкарства (8 баллов)

Согласно формуле для потенциала точечного заряда получим, для случая А:

$$\phi_A = \frac{-1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{3r} \right) = \frac{-1}{4\pi\epsilon_0} \frac{4}{3r} = 1,33 \left(\frac{-1}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \quad (1)$$

Для случая Б:

$$\phi_B = \frac{-1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r\sqrt{2}} + \frac{1}{r\sqrt{2}} \right) = \frac{-1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\sqrt{2}}{r} = 1.41 \left(\frac{-1}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \quad (2)$$

Следовательно, энергия меньше в случае Б, и это расположение более вероятно.

Решение задачи 4. Прозрачная нанопленка (8 баллов)

1. Толщину тонких пленок можно определить по периоду интерференционной картины с использованием условия максимума для прошедшего света при его нормальном падении:

$$2dn = m\lambda,$$

где d – толщина пленки, n – ее показатель преломления, m – порядок интерференции, λ – длина волны света.

Чем тоньше пленка, тем более короткие волны нужно использовать для наблюдения интерференционной картины и определения из нее толщины пленки, что и обуславливает переход от ИК к видимому диапазону спектра при уменьшении толщины исследуемой пленки.

2. Спектр пропускания пленки содержит 3 максимума (~ 643 нм, 715 нм, 818 нм), в то время как для определения толщины достаточно использовать любую соседнюю пару из них, учитывая, что порядок интерференции меняется при этом на 1:

$$\begin{aligned} 2dn &= m\lambda_1 \\ 2dn &= (m+1)\lambda_2 \end{aligned}$$

Исключая из этой системы неизвестный параметр m , получаем формулу для определения толщины пленки по соседним максимумам интерференции:

$$d = \frac{1}{2 \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) n}$$

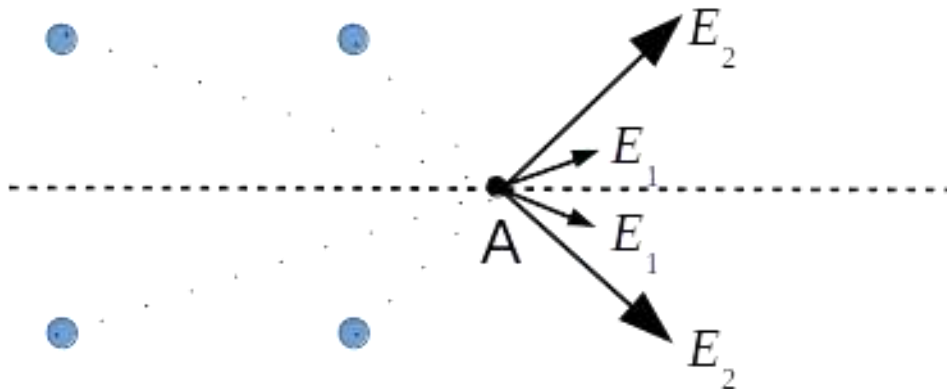
Так, для пары «левых» $\lambda_1 = 643$ нм и $\lambda_2 = 715$ нм получаем $d_1 \approx 798$ нм, а для пары «правых» максимумов $\lambda_1 = 715$ нм и $\lambda_2 = 818$ нм – $d_2 \approx 710$ нм. Среднее значение $d_{\text{ср}} = (d_1 + d_2)/2 \approx 754$ нм можно использовать в качестве оценки толщины пленки.

3. Учитывая, что рассчитанная толщина пленки d_2 оказалась заметно меньше, чем d_1 , можно предположить, что в действительности показатель преломления не является постоянной величиной, а зависит от длины волны. Действительно, в случае уменьшения показателя преломления с ростом длины волны значение d_2 будет увеличиваться и приближаться таким образом к значению d_1 , так как оба этих значения относятся к одной и той же пленке и должны совпадать.

Решение задачи 5. Квантовые точки (8 баллов)

Из рисунка следует, что размер квантовой точки $d \approx 5$ нм. Так как $a \gg d$ размера квантовой точки, то можно считать заряды точечными. Напряженность, создаваемая точечным зарядом: $E = \frac{\Delta q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$.

Вклад от 2-х дальних зарядов $2E_1 \cdot \cos\alpha_1$, а 2-х ближних $2E_2 \cdot \cos\alpha_2$, где $E_1 = \frac{\Delta q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_1^2}$, а $E_2 = \frac{\Delta q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_2^2}$



$$\cos(\alpha_1) = \frac{a + \frac{a}{2}}{\sqrt{\left(\frac{3a}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2}} = \frac{3}{\sqrt{10}}$$

$$\cos(\alpha_2) = \frac{\frac{a}{2}}{\sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Суммарная напряженность будет иметь проекцию только на горизонтальную ось из-за симметрии задачи.

$$E_{\text{суммар}} = 2(E_{1x} + E_{2x}) = \frac{2q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 a^2} \cdot \left(\sqrt{2} + \frac{6}{5\sqrt{10}} \right) \approx 2,6 \cdot 10^5 \text{ В/м}$$

Решение задачи 6. Предел прочности нанотрубки (20 баллов)

1. Так как химическая связь представляет собой состояние с наименьшей энергией, то длине и энергии связи должны соответствовать координаты точки минимума функции $U(r)$. Тогда, согласно рисунку, расстояние между соседними атомами углерода равно примерно 0,14 нм, а энергия связи С–С равна 5,3 эВ.
2. Если растягивающая сила прикладывается к нанотрубке типа «зигзаг» вдоль её оси, то максимальное растяжение испытывают n связей, количество которых можно определить из геометрических соображений. Для любой нанотрубки длина окружности поперечного сечения равна вектору хиральности.

Поэтому $C = \pi d$, где C – вектор хиральности (м), d – диаметр нанотрубки (м). Так как вектор хиральности для произвольной нанотрубки задаётся выражением

$$C = \sqrt{3} \cdot r \cdot \sqrt{n^2 + nm + m^2},$$

то для нанотрубки типа «зигзаг» $C = \sqrt{3} \cdot r \cdot \sqrt{n^2 + n \cdot 0 + 0^2} = \sqrt{3} \cdot r \cdot n$, где r – длина связи С–С (м).

Таким образом, $\pi d = \sqrt{3} \cdot r \cdot n$

$$n = \frac{\pi d}{\sqrt{3} \cdot r} = \frac{3,14 \cdot 2 \text{ нм}}{\sqrt{3} \cdot 0,14 \text{ нм}} = 26.$$

3. Предел прочности на разрыв можно оценить как отношение наименьшей силы, достаточной для разрушения n связей С–С, к площади поперечного сечения нанотрубки:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_n}{S} = \frac{F \cdot n}{\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{6,1 \cdot 10^{-9} \text{ Н} \cdot 26}{3,14 \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^{-9} \text{ м}}{2}\right)^2} = \frac{6,1 \cdot 10^{-9} \text{ Н} \cdot 26}{3,14 \cdot 10^{-18} \text{ м}^2} = 50 \text{ ГПа}$$

Решение задачи 7. Дифракция на атомах в наночастице (20 баллов)

Найдем угол рентгеновской дифракции по формуле Вульфа-Брэгга, с учетом того, что речь идет о максимуме первого порядка:

$$2d \sin \theta = n\lambda = \lambda \quad (3)$$

Отсюда синус равен 0.5, т.е. угол равен 30° . Тогда по формуле получаем уширения для рентгеновской линии:

$$\beta = \frac{K\lambda}{D \cos \theta} = \frac{0,9 \cdot 1,5}{0,866 \cdot 50} = 0,031 \text{ радиан} = 1,7^\circ \quad (4)$$

Найдем длину волны электрона из его энергии:

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 6,2 \cdot 10^{-12} \text{ м} = 0,062 \text{ А}. \quad (5)$$

Теперь найдем уширение линии. Однако важно отметить, что угол дифракции будет примерно в 50 раз меньше для того же рефлекса. Следовательно его косинус близок к 1. Отсюда:

$$\beta = \frac{K\lambda}{D} = \frac{0,9 \cdot 0,062}{50} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ радиан} \quad (6)$$

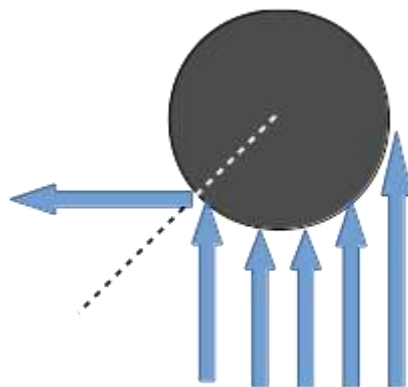
Решение задачи 8. Левитация наночастиц (20 баллов)

Для куба: Условие равновесия определяется равенством по модулю силы тяжести и силы давления света (возникающей в результате бомбардировки фотонами поверхности):
 $mg = F_{\text{света}}$.

По второму закону Ньютона $\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$. Интенсивность $I = nh\nu$, где n — число фотонов в единицу времени через единичную площадь. Импульс фотона: $p = \frac{I\Delta t}{c}$.

$$\rho a^2 ag = \frac{2nhva^2}{c} I = nh\nu = \frac{\rho agc}{2} \approx 7,3 \cdot 10^5 \text{ Вт/м}^2$$

Для стержня: Рассуждения аналогичны, только расчет силы давления сложнее из-за искривленной поверхности. Выберем некое радиальное направление (пунктир на рисунке). Найдём проекцию изменения импульса на это направление и проинтегрируем по всем таким направлениям в нижней (облучаемой) половине стержня, т.е. от $-\pi/2$ до $+\pi/2$.



$$\Delta p = \int dp = \int (\Delta p \cos(\theta)) dS$$

Приравняем силы:

$$\rho \pi r^2 l g = \frac{\int_{-\pi/2}^{\pi/2} 2nh\nu l r d\theta}{c} \cos^2(\theta)$$

Интенсивность оказывается такой же (!), как для куба:

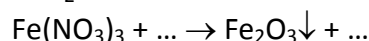
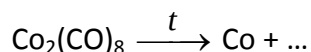
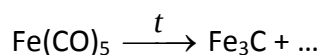
$$I = nh\nu = \rho r g c = \frac{\rho a g c}{2} \approx 7,3 \cdot 10^5 \text{ Вт/м}^2$$



Химия для школьников 7 – 11 класса (очный тур)
Задания. Вариант I

Задача 1. Синтез магнитных наночастиц (8 баллов)

Для синтеза магнитных наночастиц используют химические методы, основанные на реакциях разложения, восстановления или осаждения. Напишите уравнения реакций синтеза магнитных наночастиц по схемам:



Задача 2. Нанокластер золота (8 баллов)

Нанокластер состоит из атомов золота и остатков ароматического тиола $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_2\text{S}$. Масса кластера равна 6843 а.е.м., всего он содержит 277 атомов. Определите формулу кластера **(6 баллов)** и рассчитайте, во сколько раз масса золота в нем больше массы серы. **(2 балла)** Примите относительные атомные массы всех элементов целыми.

Задача 3. Фторографен (8 баллов)

При взаимодействии графена, нанесенного на медную фольгу, с XeF_2 образуется фторографен, в котором 25% атомов углерода находятся в sp^3 гибридном состоянии. Установите формулу фторографена. **(2 балла)** Сколько граммов XeF_2 потребуется для фторирования одного грамма графена? **(2 балла)** Сколько граммов гидразина N_2H_4 потребуется для получения одного грамма графена из фторографена, если один из продуктов реакции – молекулярный азот? **(4 балла)**

Задача 4. Наночистратические мембраны (8 баллов)

Для ионной фильтрации можно использовать нанопористые мембраны, изготовленные из оксида алюминия. При этом эффективность таких мембран сильно зависит от их поверхностного заряда.

Объясните, почему при погружении подобных мембран в водный раствор на их поверхности возникает положительный или отрицательный заряд. Напишите уравнения соответствующих реакций. **(4 балла)**

Можно ли подобные наночистратические мембраны изготавливать из оксида бария или оксида углерода (IV), а не из оксида алюминия? Ответ обоснуйте, приведя уравнения реакций. **(4 балла)**

Задача 5. Криотехнология (8 баллов)

Юный экспериментатор решил синтезировать наночастицы нитрата натрия, однако забыл записать концентрацию соли в исходном растворе. В результате после сублимационной сушки он получил шарообразные наночастицы диаметром 20 нм. Водяной пар учёный откачивал при 27 °С в сосуд объёмом 1 м³, при этом конечное давление оказалось равным 500 Па, что в 7 раз меньше давления насыщенных паров.

Помогите юному экспериментатору определить концентрацию соли в исходном растворе, если плотность и масса раствора были равны 1.05 г/см³ и 3.83 г соответственно. Ответ приведите в моль/л. **(5 баллов)**

Сколько наночастиц он синтезировал? Плотность нитрата натрия равна 2.257 г/см³. **(3 балла)**

Задача 6. Углеродные композиты (20 баллов)

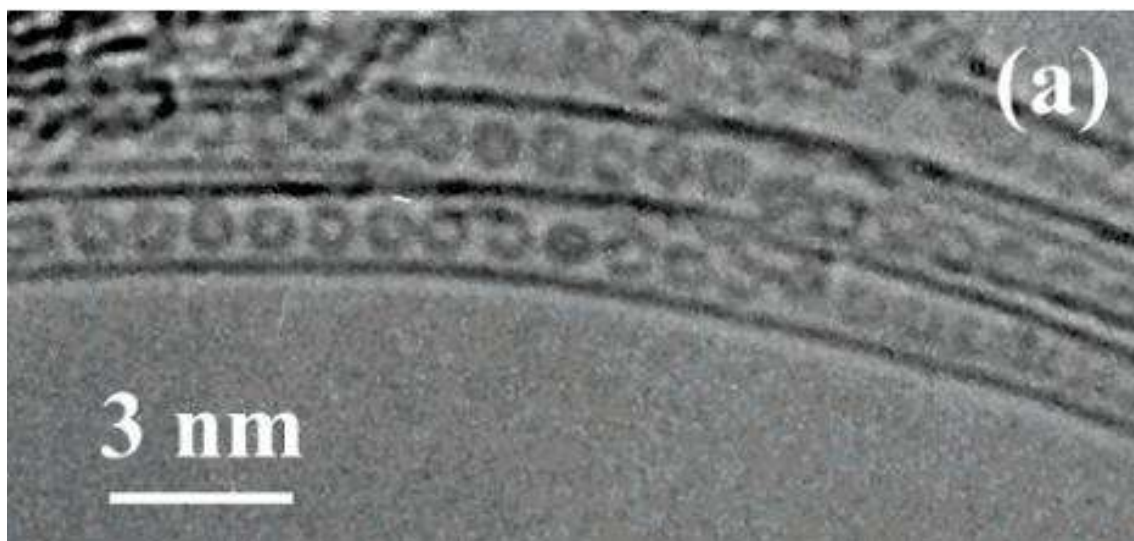


Рис. 1. Композит I

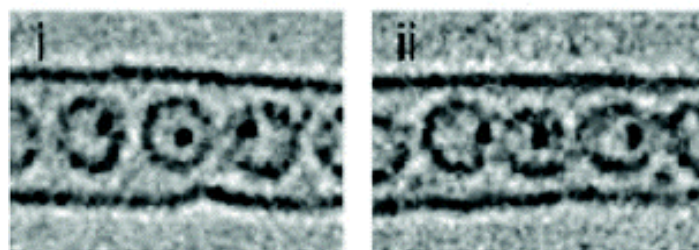
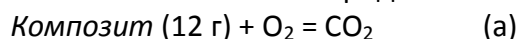


Рис. 2. Второй композит

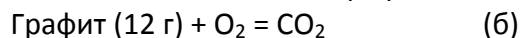
На рисунке 1 изображен композиционный материал (*композит*), состоящий из двух известных чисто углеродных наноматериалов.

1. Как называются эти два составляющих наноматериала? **(3 балла)**
2. Каким способом получены изображения на рис. 1? **(2 балла)**
3. Как получить *композит*, изображенный на рис. 1, если составляющие углеродные наноматериалы у нас имеются? **(6 баллов)**

Наш *композит* состоит только из атомов углерода. Возьмем 12 г этого *композита* и полностью сожжем его в кислороде:



Теперь сожжем 12 г обычного графита:



Условия сжигания одинаковы.

4. В каком случае, (а) или (б), выделится больше тепла? Свой ответ объясните. **(5 баллов)**
5. *Второй композит* (он изображен на рис. 2) отличается от *композита*, изображенного на рис. 1. В чем отличие? Найдите его на рис. 2. Из каких наноматериалов составлен *второй композит*? **(4 балла)**

Задача 7. Наносенсоры в пищевой промышленности (20 баллов)

Исследовательской группой из Массачусетского технологического института был создан портативный сенсор, определяющий свежесть мяса и выраженность процессов гниения в нем в случае длительных сроков хранения после убоя.

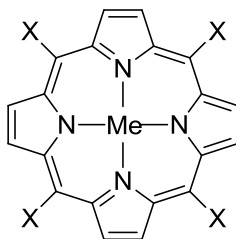
Сенсор состоит из нескольких золотых электродов, в миллиметровом зазоре между которыми находятся одностенные углеродные нанотрубки. К ним дополнительно привиты специально подобранные молекулы порфирина, обеспечивающие селективность к соединениям **А** и **В**.

Состав и отдельные сведения о соединениях **А** и **В** приведены в таблице.

Соединение	$\omega(\text{C}), \%$	$\omega(\text{N}), \%$	Число типов атомов N	Число типов атомов H
А	54.50	31.79	1	3
В	58.77	27.41	1	4

1. Установите все возможные структурные формулы соединений **А** и **В**, если их молярная масса не превышает 200 г/моль. Ответ обязательно подтвердите расчетом. **(4 балла)**
2. Однозначно выберите структурные формулы соединений **А** и **В**, если они содержат максимально возможное число связей C–C. **(1 балл)**
3. Соединение **А** образуется в мясе при участии бактерий с их ферментным аппаратом непосредственно из α -аминокислоты **С**, содержащей 45.44% C, 21.20% N по массе. Установите формулу и структуру **С**. **(3 балла)**
4. Соединение **А** получают в промышленности в две стадии из акрилонитрила. Предложите уравнения реакций, лежащих в основе данной схемы. **(2 балла)**
5. Решает ли проблему развития гнилостных процессов в парном мясе его вакуумирование для исключения доступа кислорода? Будет ли работать сенсор при вскрытии упаковки сохраненного подобным способом мяса? **(2 балла)**

Одним из вариантов молекулы порфирина, используемого в данном сенсоре, выступило соединение **D**, содержащее 51.23% С, 5.43% N, 0.78% H и 5.71% Me по массе (Me – неизвестный металл). Не полностью раскрытая структурная формула **D** представлена ниже (**X** – ароматическая группа, не содержащая азот).



6. Установите структурную формулу соединения **D**. (6 баллов)

Ранее эта исследовательская группа создала сенсор на основе одностенных углеродных нанотрубок для определения спелости фруктов по концентрации нециклического вещества **E**, содержащего 85.63% С (все атомы углерода эквивалентны).

7. Установите структурную формулу соединения **E**. (2 балла)

Задача 8. Бинарные наночастицы (20 баллов)

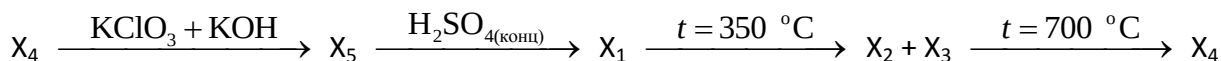
Серый металл **X** образует с элементом **Y** несколько бинарных соединений, 4 из которых приведены в таблице.

Соединение	$\omega(X)$, %	окраска
X_1	52.00	красно-фиолетовый
X_2	55.32	черный
X_3	57.52	черный
X_4	68.42	зеленый

При сплавлении вещества X_4 с хлоратом калия и щелочью образовался плав желтого цвета, содержащий соль X_5 . Полученный плав растворили в воде и осторожно, при перемешивании прилили концентрированную серную кислоту. Сначала раствор окрасился в оранжевый цвет, затем выпал красный осадок X_1 . При осторожном нагревании X_1 образуется смесь, в которой обнаружены X_2 и X_3 , которые при дальнейшем нагревании превращаются обратно в X_4 .

Для получения наночастиц X_4 вещество X_1 растворили в коллоидном растворе кремниевой кислоты и высушили при низкой температуре. Осторожное нагревание приводит последовательно к образованию наночастиц X_2 , X_3 и X_4 , которые, в отличие от порошка X_4 , полученного по первому способу, растворимы в воде.

1. Определите неизвестные вещества $X_1 - X_5$ (подтвердите расчетом) и запишите уравнения реакций, соответствующих схеме превращений. (18 баллов)



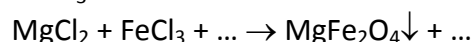
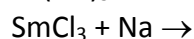
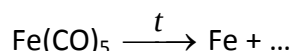
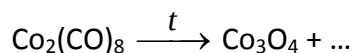
2. Сравните токсичность и каталитическую активность оксида X_4 , полученного разными способами. (2 балла)



Химия для школьников 7 – 11 класса (очный тур)
Задания. Вариант II

Задача 1. Синтез магнитных наночастиц (8 баллов)

Для синтеза магнитных наночастиц используют химические методы, основанные на реакциях разложения, восстановления или осаждения. Напишите уравнения реакций синтеза магнитных наночастиц по схемам:



Задача 2. Нанокластер золота (8 баллов)

Нанокластер состоит из атомов золота и остатков ароматического тиола $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_2\text{S}$. Масса кластера равна 10774 а.е.м., всего он содержит 470 атомов. Определите формулу кластера **(6 баллов)** и рассчитайте, во сколько раз масса золота в нем больше массы серы. **(2 балла)** Примите относительные атомные массы всех элементов целыми.

Задача 3. Фторографен (8 баллов)

При взаимодействии графена, нанесенного на медную фольгу, с XeF_2 образуется фторографен, в котором 75% атомов углерода находятся в sp^2 гибридном состоянии. Установите формулу фторографена. **(2 балла)** Сколько граммов XeF_2 потребуется для фторирования 10 г графена? **(2 балла)** Сколько граммов гидразина N_2H_4 потребуется для получения 10 г графена из фторографена, если один из продуктов реакции – молекулярный азот? **(4 балла)**

Задача 4. Наночислительные мембраны (8 баллов)

Для ионной фильтрации можно использовать нанопористые мембраны, изготовленные из оксида кремния. При этом эффективность таких мембран сильно зависит от их поверхностного заряда.

Объясните, почему при погружении подобных мембран в водный раствор на их поверхности возникает положительный или отрицательный заряд. Напишите уравнения соответствующих реакций. **(4 балла)**

Можно ли подобные наночислительные мембраны изготавливать из оксида стронция или оксида серы (IV), а не из оксида кремния? Ответ обоснуйте, приведя уравнения реакций. **(4 балла)**

Задача 5. Криотехнология (8 баллов)

Юный экспериментатор решил синтезировать наночастицы нитрата калия, однако забыл записать концентрацию соли в исходном растворе. В результате после сублимационной сушки он получил шарообразные наночастицы диаметром 24 нм. Водяной пар учёный откачивал при 27 °С в сосуд объёмом 1 м³, при этом конечное давление оказалось равным 700 Па, что в 5 раз меньше давления насыщенных паров.

Помогите юному экспериментатору определить концентрацию соли в исходном растворе, если плотность и масса раствора были равны 1.05 г/см³ и 5.46 г соответственно. Ответ приведите в моль/л. **(5 баллов)**

Сколько наночастиц он синтезировал? Плотность нитрата калия равна 2.109 г/см³. **(3 балла)**

Задача 6. Углеродные композиты (20 баллов)

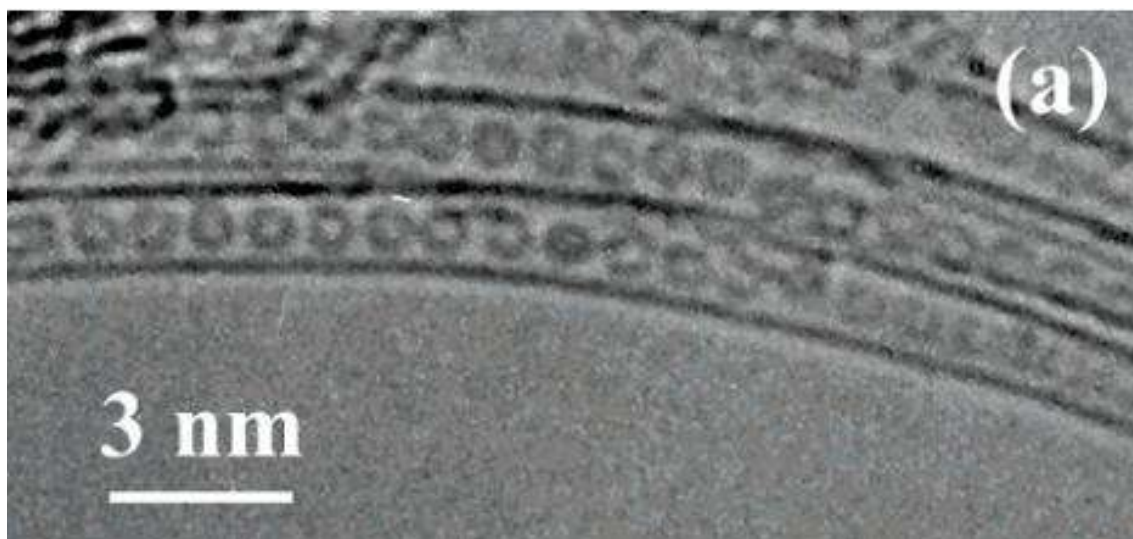


Рис. 1. Композит I

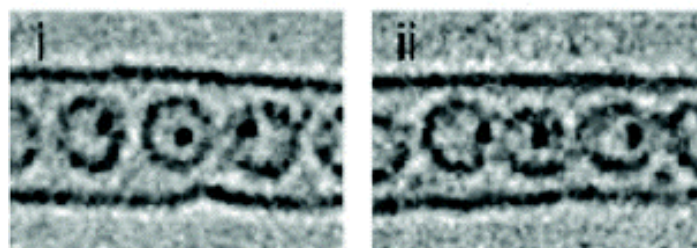
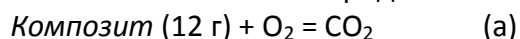


Рис. 2. Второй композит

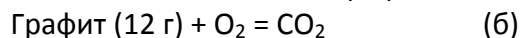
На рисунке 1 изображен композиционный материал (*композит*), состоящий из двух известных чисто углеродных наноматериалов.

1. Как называются эти два составляющих наноматериала? **(3 балла)**
2. Каким способом получены изображения на рис. 1? **(2 балла)**
3. Как получить *композит*, изображенный на рис. 1, если составляющие углеродные наноматериалы у нас имеются? **(6 баллов)**

Наш *композит* состоит только из атомов углерода. Возьмем 12 г этого *композита* и полностью сожжем его в кислороде:



Теперь сожжем 12 г обычного графита:



Условия сжигания одинаковы.

4. В каком случае, (а) или (б), выделится больше тепла? Свой ответ объясните. **(5 баллов)**
5. *Второй композит* (он изображен на рис. 2) отличается от *композита*, изображенного на рис. 1. В чем отличие? Найдите его на рис. 2. Из каких наноматериалов составлен *второй композит*? **(4 балла)**

Задача 7. Наносенсоры в пищевой промышленности (20 баллов)

Исследовательской группой из Массачусетского технологического института был создан портативный сенсор, определяющий свежесть мяса и выраженность процессов гниения в нем в случае длительных сроков хранения после убоя.

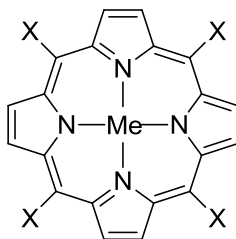
Сенсор состоит из нескольких золотых электродов, в миллиметровом зазоре между которыми находятся одностенные углеродные нанотрубки. К ним дополнительно привиты специально подобранные молекулы порфирина, обеспечивающие селективность к соединениям **A** и **B**.

Состав и отдельные сведения о соединениях **A** и **B** приведены в таблице.

Соединение	$\omega(\text{C}), \%$	$\omega(\text{N}), \%$	Число типов атомов N	Число типов атомов H
A	54.50	31.79	1	3
B	58.77	27.41	1	4

1. Установите все возможные структурные формулы соединений **A** и **B**, если их молярная масса не превышает 200 г/моль. Ответ обязательно подтвердите расчетом. **(4 балла)**
2. Однозначно выберите структурные формулы соединений **A** и **B**, если они содержат максимально возможное число связей C–C. **(1 балл)**
3. Соединение **A** образуется в мясе при участии бактерий с их ферментным аппаратом непосредственно из α -аминокислоты **C**, содержащей 45.44% C, 21.20% N по массе. Установите формулу и структуру **C**. **(3 балла)**
4. Соединение **A** получают в промышленности в две стадии из акрилонитрила. Предложите уравнения реакций, лежащих в основе данной схемы. **(2 балла)**
5. Решает ли проблему развития гнилостных процессов в парном мясе его вакуумирование для исключения доступа кислорода? Будет ли работать сенсор при вскрытии упаковки сохраненного подобным способом мяса? **(2 балла)**

Одним из вариантов молекулы порфирина, используемого в данном сенсоре, выступило соединение **D**, содержащее 51.23% С, 5.43% N, 0.78% H и 5.71% Me по массе (Me – неизвестный металл). Не полностью раскрытая структурная формула **D** представлена ниже (**X** – ароматическая группа, не содержащая азот).



6. Установите структурную формулу соединения **D**. (6 баллов)

Ранее эта исследовательская группа создала сенсор на основе одностенных углеродных нанотрубок для определения спелости фруктов по концентрации нециклического вещества **E**, содержащего 85.63% С (все атомы углерода эквивалентны).

7. Установите структурную формулу соединения **E**. (2 балла)

Задача 8. Бинарные наночастицы (20 баллов)

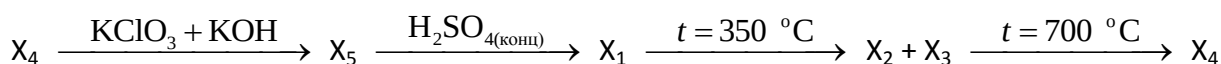
Серый металл **X** образует с элементом **Y** несколько бинарных соединений, 4 из которых приведены в таблице.

Соединение	$\omega(X)$, %	окраска
X_1	52.00	красно-фиолетовый
X_2	55.32	черный
X_3	57.52	черный
X_4	68.42	зеленый

При сплавлении вещества X_4 с хлоратом калия и щелочью образовался плав желтого цвета, содержащий соль X_5 . Полученный плав растворили в воде и осторожно, при перемешивании прилили концентрированную серную кислоту. Сначала раствор окрасился в оранжевый цвет, затем выпал красный осадок X_1 . При осторожном нагревании X_1 образуется смесь, в которой обнаружены X_2 и X_3 , которые при дальнейшем нагревании превращаются обратно в X_4 .

Для получения наночастиц X_4 вещество X_1 растворили в коллоидном растворе кремниевой кислоты и высушили при низкой температуре. Осторожное нагревание приводит последовательно к образованию наночастиц X_2 , X_3 и X_4 , которые, в отличие от порошка X_4 , полученного по первому способу, растворимы в воде.

1. Определите неизвестные вещества $X_1 - X_5$ (подтвердите расчетом) и запишите уравнения реакций, соответствующих схеме превращений. (18 баллов)



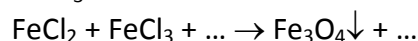
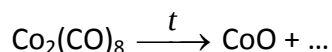
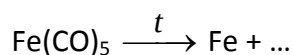
2. Сравните токсичность и каталитическую активность оксида X_4 , полученного разными способами. (2 балла)



Химия для школьников 7 – 11 класса (очный тур)
Задания. Вариант III

Задача 1. Синтез магнитных наночастиц (8 баллов)

Для синтеза магнитных наночастиц используют химические методы, основанные на реакциях разложения, восстановления или осаждения. Напишите уравнения реакций синтеза магнитных наночастиц по схемам:



Задача 2. Нанокластер золота (8 баллов)

Нанокластер состоит из атомов золота и остатков ароматического тиола $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_2\text{S}$. Масса кластера равна 7391 а.е.м., всего он содержит 349 атомов. Определите формулу кластера **(6 баллов)** и рассчитайте, во сколько раз масса золота в нем больше массы серы. **(2 балла)** Примите относительные атомные массы всех элементов целыми.

Задача 3. Фторографен (8 баллов)

При взаимодействии графена, нанесенного на медную фольгу, с XeF_2 образуется фторографен, в котором 75% атомов углерода находятся в sp^2 гибридном состоянии. Установите формулу фторографена. **(2 балла)** Сколько граммов XeF_2 потребуется для фторирования 5 г графена? **(2 балла)** Сколько граммов гидразина N_2H_4 потребуется для получения 5 г графена из фторографена, если один из продуктов реакции – молекулярный азот? **(4 балла)**

Задача 4. Наночислительные мембраны (8 баллов)

Для ионной фильтрации можно использовать нанопористые мембраны, изготовленные из оксида титана (IV). При этом эффективность таких мембран сильно зависит от их поверхностного заряда.

Объясните, почему при погружении подобных мембран в водный раствор на их поверхности возникает положительный или отрицательный заряд. Напишите уравнения соответствующих реакций. **(4 балла)**

Можно ли подобные наночислительные мембраны изготавливать из оксида кальция или оксида серы (VI), а не из оксида титана? Ответ обоснуйте, приведя уравнения реакций. **(4 балла)**

Задача 5. Криотехнология (8 баллов)

Юный экспериментатор решил синтезировать наночастицы нитрата натрия, однако забыл записать концентрацию соли в исходном растворе. В результате после сублимационной сушки он получил шарообразные наночастицы диаметром 28 нм. Водяной пар учёный откачивал при 27 °С в сосуд объёмом 1 м³, при этом конечное давление оказалось равным 350 Па, что в 10 раз меньше давления насыщенных паров.

Помогите юному экспериментатору определить концентрацию соли в исходном растворе, если плотность и масса раствора были равны 1.05 г/см³ и 2.76 г соответственно. Ответ приведите в моль/л. **(5 баллов)**

Сколько наночастиц он синтезировал? Плотность нитрата натрия равна 2.257 г/см³. **(3 балла)**

Задача 6. Углеродные композиты (20 баллов)

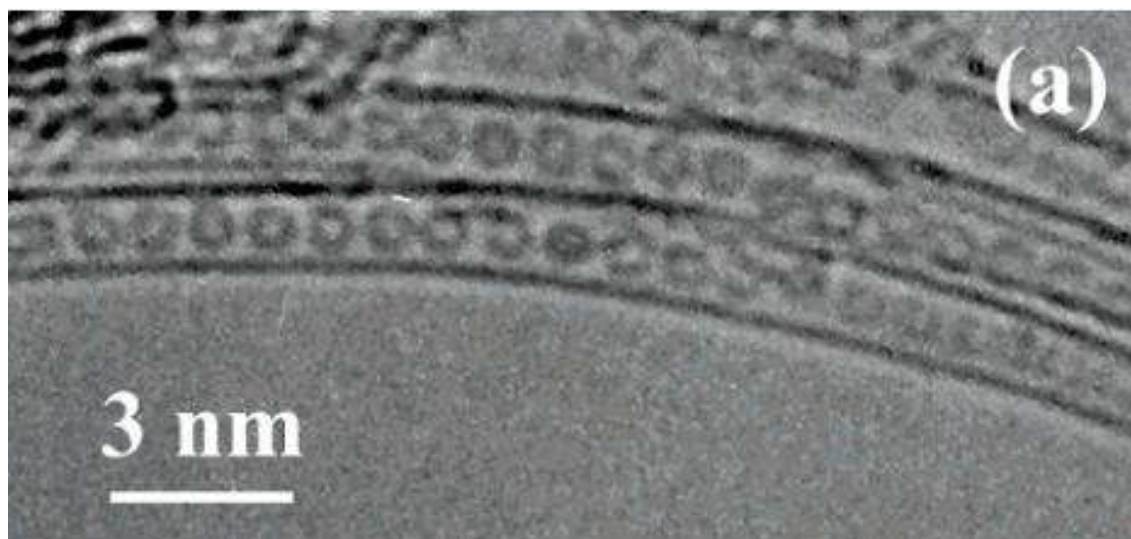


Рис. 1. Композит I

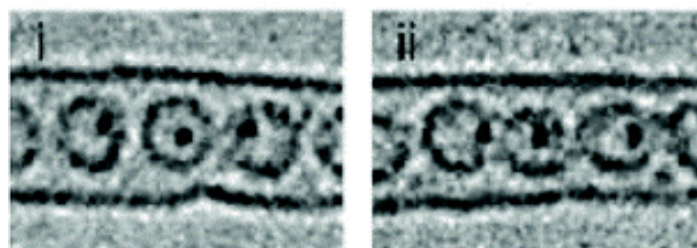
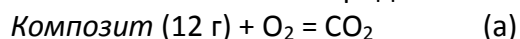


Рис. 2. Второй композит

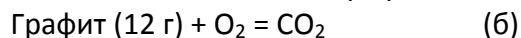
На рисунке 1 изображен композиционный материал (*композит*), состоящий из двух известных чисто углеродных наноматериалов.

1. Как называются эти два составляющих наноматериала? **(3 балла)**
2. Каким способом получены изображения на рис. 1? **(2 балла)**
3. Как получить *композит*, изображенный на рис. 1, если составляющие углеродные наноматериалы у нас имеются? **(6 баллов)**

Наш *композит* состоит только из атомов углерода. Возьмем 12 г этого *композита* и полностью сожжем его в кислороде:



Теперь сожжем 12 г обычного графита:



Условия сжигания одинаковы.

4. В каком случае, (а) или (б), выделится больше тепла? Свой ответ объясните. **(5 баллов)**
5. *Второй композит* (он изображен на рис. 2) отличается от *композита*, изображенного на рис. 1. В чем отличие? Найдите его на рис. 2. Из каких наноматериалов составлен *второй композит*? **(4 балла)**

Задача 7. Наносенсоры в пищевой промышленности (20 баллов)

Исследовательской группой из Массачусетского технологического института был создан портативный сенсор, определяющий свежесть мяса и выраженность процессов гниения в нем в случае длительных сроков хранения после убоя.

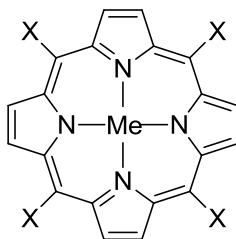
Сенсор состоит из нескольких золотых электродов, в миллиметровом зазоре между которыми находятся одностенные углеродные нанотрубки. К ним дополнительно привиты специально подобранные молекулы порфирина, обеспечивающие селективность к соединениям **A** и **B**.

Состав и отдельные сведения о соединениях **A** и **B** приведены в таблице.

Соединение	$\omega(\text{C}), \%$	$\omega(\text{N}), \%$	Число типов атомов N	Число типов атомов H
A	54.50	31.79	1	3
B	58.77	27.41	1	4

1. Установите все возможные структурные формулы соединений **A** и **B**, если их молярная масса не превышает 200 г/моль. Ответ обязательно подтвердите расчетом. **(4 балла)**
2. Однозначно выберите структурные формулы соединений **A** и **B**, если они содержат максимально возможное число связей C–C. **(1 балл)**
3. Соединение **A** образуется в мясе при участии бактерий с их ферментным аппаратом непосредственно из α -аминокислоты **C**, содержащей 45.44% C, 21.20% N по массе. Установите формулу и структуру **C**. **(3 балла)**
4. Соединение **A** получают в промышленности в две стадии из акрилонитрила. Предложите уравнения реакций, лежащих в основе данной схемы. **(2 балла)**
5. Решает ли проблему развития гнилостных процессов в парном мясе его вакуумирование для исключения доступа кислорода? Будет ли работать сенсор при вскрытии упаковки сохраненного подобным способом мяса? **(2 балла)**

Одним из вариантов молекулы порфирина, используемого в данном сенсоре, выступило соединение **D**, содержащее 51.23% С, 5.43% N, 0.78% H и 5.71% Me по массе (Me – неизвестный металл). Не полностью раскрытая структурная формула **D** представлена ниже (**X** – ароматическая группа, не содержащая азот).



6. Установите структурную формулу соединения **D**. (6 баллов)

Ранее эта исследовательская группа создала сенсор на основе одностенных углеродных нанотрубок для определения спелости фруктов по концентрации нециклического вещества **E**, содержащего 85.63% С (все атомы углерода эквивалентны).

7. Установите структурную формулу соединения **E**. (2 балла)

Задача 8. Бинарные наночастицы (20 баллов)

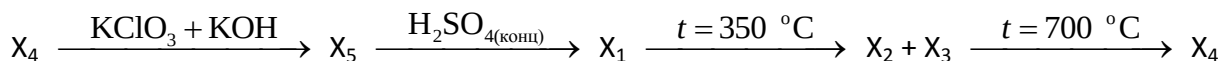
Серый металл **X** образует с элементом **Y** несколько бинарных соединений, 4 из которых приведены в таблице.

Соединение	$\omega(X)$, %	окраска
X_1	52.00	красно-фиолетовый
X_2	55.32	черный
X_3	57.52	черный
X_4	68.42	зеленый

При сплавлении вещества X_4 с хлоратом калия и щелочью образовался плав желтого цвета, содержащий соль X_5 . Полученный плав растворили в воде и осторожно, при перемешивании прилили концентрированную серную кислоту. Сначала раствор окрасился в оранжевый цвет, затем выпал красный осадок X_1 . При осторожном нагревании X_1 образуется смесь, в которой обнаружены X_2 и X_3 , которые при дальнейшем нагревании превращаются обратно в X_4 .

Для получения наночастиц X_4 вещество X_1 растворили в коллоидном растворе кремниевой кислоты и высушили при низкой температуре. Осторожное нагревание приводит последовательно к образованию наночастиц X_2 , X_3 и X_4 , которые, в отличие от порошка X_4 , полученного по первому способу, растворимы в воде.

1. Определите неизвестные вещества $X_1 - X_5$ (подтвердите расчетом) и запишите уравнения реакций, соответствующих схеме превращений. (18 баллов)



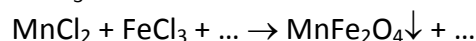
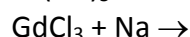
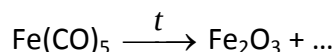
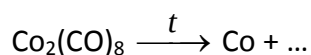
2. Сравните токсичность и каталитическую активность оксида X_4 , полученного разными способами. (2 балла)



Химия для школьников 7 – 11 класса (очный тур)
Задания. Вариант IV

Задача 1. Синтез магнитных наночастиц (8 баллов)

Для синтеза магнитных наночастиц используют преимущественно химические методы, основанные на реакциях разложения, восстановления или осаждения. Напишите уравнения реакций синтеза магнитных наночастиц по схемам:



Задача 2. Нанокластер золота (8 баллов)

Нанокластер состоит из атомов золота и остатков ароматического тиола $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_2\text{S}$. Масса кластера равна 6569 а.е.м., всего он содержит 241 атом. Определите формулу кластера. **(6 баллов)** и рассчитайте, во сколько раз масса золота в нем больше массы серы. **(2 балла)** Примите относительные атомные массы всех элементов целыми.

Задача 3. Фторографен (8 баллов)

При взаимодействии графена, нанесенного на медную фольгу, с XeF_2 образуется фторографен, в котором 25% атомов углерода находятся в sp^3 гибридном состоянии. Установите формулу фторографена. **(2 балла)** Сколько граммов XeF_2 потребуется для фторирования 20 г графена? **(2 балла)** Сколько граммов гидразина N_2H_4 потребуется для получения 20 г графена из фторографена, если один из продуктов реакции – молекулярный азот? **(4 балла)**

Задача 4. Наночислительные мембраны (8 баллов)

Для ионной фильтрации можно использовать нанопористые мембраны, изготовленные из оксида циркония (IV). При этом эффективность таких мембран сильно зависит от их поверхностного заряда.

Объясните, почему при погружении подобных мембран в водный раствор на их поверхности возникает положительный или отрицательный заряд. Напишите уравнения соответствующих реакций. **(4 балла)**

Можно ли подобные наночислительные мембраны изготавливать из оксида калия или оксида фосфора (V), а не из оксида циркония? Ответ обоснуйте, приведя уравнения реакций. **(4 балла)**

Задача 5. Криотехнология (8 баллов)

Юный экспериментатор решил синтезировать наночастицы нитрата калия, однако забыл записать концентрацию соли в исходном растворе. В результате после сублимационной сушки он получил шарообразные наночастицы диаметром 32 нм. Водяной пар учёный откачивал при 27 °С в сосуд объёмом 1 м³, при этом конечное давление оказалось равным 437 Па, что в 8 раз меньше давления насыщенных паров.

Помогите юному экспериментатору определить концентрацию соли в исходном растворе, если плотность и масса раствора были равны 1.05 г/см³ и 3.47 г соответственно. Ответ приведите в моль/л. **(5 баллов)**

Сколько наночастиц он синтезировал? Плотность нитрата калия равна 2.109 г/см³. **(3 балла)**

Задача 6. Углеродные композиты (20 баллов)

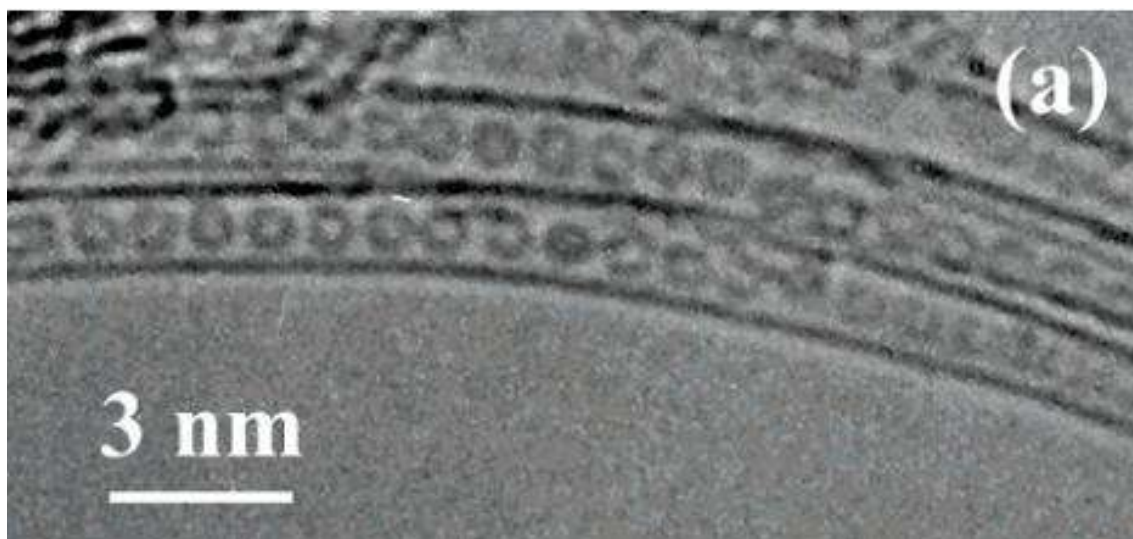


Рис. 1. Композит I

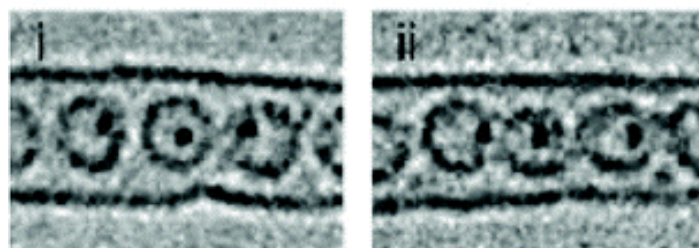
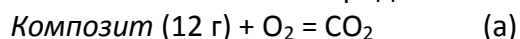


Рис. 2. Второй композит

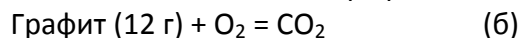
На рисунке 1 изображен композиционный материал (*композит*), состоящий из двух известных чисто углеродных наноматериалов.

1. Как называются эти два составляющих наноматериала? **(3 балла)**
2. Каким способом получены изображения на рис. 1? **(2 балла)**
3. Как получить *композит*, изображенный на рис. 1, если составляющие углеродные наноматериалы у нас имеются? **(6 баллов)**

Наш *композит* состоит только из атомов углерода. Возьмем 12 г этого *композита* и полностью сожжем его в кислороде:



Теперь сожжем 12 г обычного графита:



Условия сжигания одинаковы.

4. В каком случае, (а) или (б), выделится больше тепла? Свой ответ объясните. **(5 баллов)**
5. *Второй композит* (он изображен на рис. 2) отличается от *композита*, изображенного на рис. 1. В чем отличие? Найдите его на рис. 2. Из каких наноматериалов составлен *второй композит*? **(4 балла)**

Задача 7. Наносенсоры в пищевой промышленности (20 баллов)

Исследовательской группой из Массачусетского технологического института был создан портативный сенсор, определяющий свежесть мяса и выраженность процессов гниения в нем в случае длительных сроков хранения после убоя.

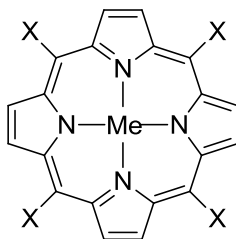
Сенсор состоит из нескольких золотых электродов, в миллиметровом зазоре между которыми находятся одностенные углеродные нанотрубки. К ним дополнительно привиты специально подобранные молекулы порфирина, обеспечивающие селективность к соединениям **А** и **В**.

Состав и отдельные сведения о соединениях **А** и **В** приведены в таблице.

Соединение	$\omega(\text{C}), \%$	$\omega(\text{N}), \%$	Число типов атомов N	Число типов атомов H
А	54.50	31.79	1	3
В	58.77	27.41	1	4

1. Установите все возможные структурные формулы соединений **А** и **В**, если их молярная масса не превышает 200 г/моль. Ответ обязательно подтвердите расчетом. **(4 балла)**
2. Однозначно выберите структурные формулы соединений **А** и **В**, если они содержат максимально возможное число связей C–C. **(1 балл)**
3. Соединение **А** образуется в мясе при участии бактерий с их ферментным аппаратом непосредственно из α -аминокислоты **С**, содержащей 45.44% C, 21.20% N по массе. Установите формулу и структуру **С**. **(3 балла)**
4. Соединение **А** получают в промышленности в две стадии из акрилонитрила. Предложите уравнения реакций, лежащих в основе данной схемы. **(2 балла)**
5. Решает ли проблему развития гнилостных процессов в парном мясе его вакуумирование для исключения доступа кислорода? Будет ли работать сенсор при вскрытии упаковки сохраненного подобным способом мяса? **(2 балла)**

Одним из вариантов молекулы порфирина, используемого в данном сенсоре, выступило соединение **D**, содержащее 51.23% С, 5.43% N, 0.78% H и 5.71% Me по массе (Me – неизвестный металл). Не полностью раскрытая структурная формула **D** представлена ниже (**X** – ароматическая группа, не содержащая азот).



6. Установите структурную формулу соединения **D**. (6 баллов)

Ранее эта исследовательская группа создала сенсор на основе одностенных углеродных нанотрубок для определения спелости фруктов по концентрации нециклического вещества **E**, содержащего 85.63% С (все атомы углерода эквивалентны).

7. Установите структурную формулу соединения **E**. (2 балла)

Задача 8. Бинарные наночастицы (20 баллов)

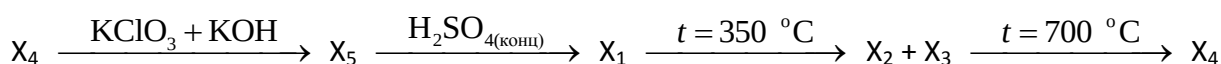
Серый металл **X** образует с элементом **Y** несколько бинарных соединений, 4 из которых приведены в таблице.

Соединение	$\omega(X)$, %	окраска
X_1	52.00	красно-фиолетовый
X_2	55.32	черный
X_3	57.52	черный
X_4	68.42	зеленый

При сплавлении вещества X_4 с хлоратом калия и щелочью образовался плав желтого цвета, содержащий соль X_5 . Полученный плав растворили в воде и осторожно, при перемешивании прилили концентрированную серную кислоту. Сначала раствор окрасился в оранжевый цвет, затем выпал красный осадок X_1 . При осторожном нагревании X_1 образуется смесь, в которой обнаружены X_2 и X_3 , которые при дальнейшем нагревании превращаются обратно в X_4 .

Для получения наночастиц X_4 вещество X_1 растворили в коллоидном растворе кремниевой кислоты и высушили при низкой температуре. Осторожное нагревание приводит последовательно к образованию наночастиц X_2 , X_3 и X_4 , которые, в отличие от порошка X_4 , полученного по первому способу, растворимы в воде.

1. Определите неизвестные вещества X_1 – X_5 (подтвердите расчетом) и запишите уравнения реакций, соответствующих схеме превращений. (18 баллов)

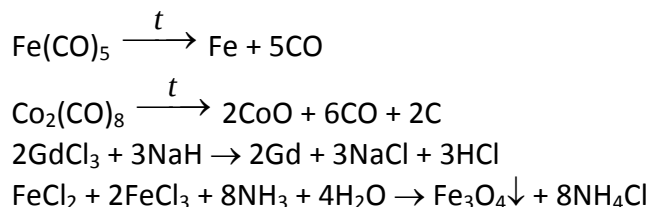


2. Сравните токсичность и каталитическую активность оксида X_4 , полученного разными способами. (2 балла)



Химия для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Решения. Вариант III

Решение задачи 1. Синтез магнитных наночастиц (8 баллов)



(2 балла за каждое уравнение, 1 балл – если неправильные коэффициенты)

Решение задачи 2. Нанокластер золота (8 баллов)

Пусть в кластере – x атомов золота ($A_r = 197$) и y остатков $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_2\text{S}$ ($M_r = 137$, содержит 18 атомов), тогда из условий на массу и число атомов получаем систему двух уравнений:

$$\begin{aligned} 197x + 137y &= 7391 \\ x + 18y &= 349 \end{aligned}$$

$x = 25$, $y = 18$. Формула кластера – $\text{Au}_{25}(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_2\text{S})_{18}$.

Отношение масс: $m(\text{Au}) / m(\text{S}) = 25 \cdot 197 / (18 \cdot 32) = 8.55$.

Решение задачи 3. Фторографен (8 баллов)

В sp^2 -гибридном состоянии находятся атомы углерода, не связанные с фтором. Из каждых 4-х атомов С со фтором связан один. Простейшая формула фторографена – C_4F .

Уравнение реакции образования фторографена: $8\text{C} + \text{XeF}_2 \rightarrow 2\text{C}_4\text{F} + \text{Xe}$.

$\nu(\text{C}) = 5 / 12 = 0.417$ моль, $\nu(\text{XeF}_2) = 0.417 / 8 = 0.0521$ моль, $m(\text{XeF}_2) = 0.0521 \cdot 169 = \mathbf{8.80 \text{ г}}$.

Уравнение восстановления фторографена: $4\text{C}_4\text{F} + \text{N}_2\text{H}_4 \rightarrow 16\text{C} + \text{N}_2 + 4\text{HF}$.

$\nu(\text{C}) = 5 / 12 = 0.417$ моль, $\nu(\text{N}_2\text{H}_4) = 0.417 / 16 = 0.0260$ моль, $m(\text{N}_2\text{H}_4) = 0.0260 \cdot 32 = \mathbf{0.83 \text{ г}}$.

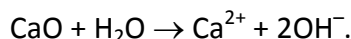
Решение задачи 4. Наночелнофтрационные мембраны (8 баллов)

На поверхности оксида титана (IV) в водном растворе присутствуют ОН-группы, которые могут быть либо протонированы (заряд поверхности положительный), либо депротонированы (заряд поверхности отрицательный).

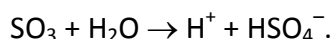
Уравнение реакции протонирования: $\text{HO} - \text{Ti}(\text{O}) - \text{OH} + \text{H}^+ \rightarrow \text{HO} - \text{Ti}(\text{O}) - \text{OH}_2^+$.

Уравнение реакции депротонирования: $\text{HO} - \text{Ti}(\text{O}) - \text{OH} \rightarrow \text{HO} - \text{Ti}(\text{O}) - \text{O}^- + \text{H}^+$.

Наночислительные мембраны из оксида кальция изготавливать нельзя, так как он взаимодействует с водой с образованием растворимого гидроксида кальция:



Из оксида серы (VI) также изготавливать нельзя, так как это жидкость, которая к тому же взаимодействует с водой с образованием растворимой серной кислоты:



Решение задачи 5. Криотехнология (8 баллов)

Давление насыщенных паров воды в 10 раз больше установившегося давления. Значит, в рамках описанного эксперимента водяной пар не мог сконденсироваться. Более того, его свойства оказываются близкими к свойствам идеального газа. Тогда, в соответствии с уравнением Клапейрона- Менделеева, получим

$$p_{\text{пара}} V_{\text{пара}} = \frac{m_{\text{воды}}}{M_{\text{воды}}} RT$$

$$m_{\text{воды}} = \frac{p_{\text{пара}} V_{\text{пара}} M_{\text{воды}}}{RT}$$

$$m_{\text{воды}} = \frac{350 \text{ Па} \cdot 1 \text{ м}^3 \cdot 0,018 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot (273 + 27) \text{ К}} = 2,53 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 2,53 \text{ г}$$

Так как масса раствора была равна 2,76 г, то масса растворённого нитрата натрия составляла $m_{\text{соли}} = 2,76 \text{ г} - 2,53 \text{ г} = 0,23 \text{ г}$. При этом объём раствора был равен:

$$V_{\text{раствора}} = \frac{m_{\text{раствора}}}{\rho_{\text{раствора}}} = \frac{2,76 \text{ г}}{1,05 \frac{\text{г}}{\text{мл}}} = 2,63 \text{ мл} = 2,63 \cdot 10^{-3} \text{ л}$$

Концентрация соли составляла

$$C = \frac{v_{\text{соли}}}{V_{\text{раствора}}} = \frac{m_{\text{соли}}}{M_{\text{соли}} V_{\text{раствора}}} = \frac{0,23 \text{ г}}{85 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot 2,63 \cdot 10^{-3} \text{ л}} = 1,03 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

Объём одной наночастицы можно определить по формуле $V_1 = \frac{4}{3} \pi R^3$. Значит, объём N

наночастиц равен $V_N = V_1 N = \frac{4}{3} \pi R^3 N$. С другой стороны, суммарный объём равен $V_N = \frac{m_{\text{соли}}}{\rho_{\text{соли}}}$.

Тогда

$$\frac{4}{3}\pi R^3 N = \frac{m_{\text{соли}}}{\rho_{\text{соли}}}$$

$$N = \frac{3m_{\text{соли}}}{4\pi R^3 \rho_{\text{соли}}} = \frac{3 \cdot 0,23 \cdot 10^{-3} \text{ кг}}{4 \cdot 3,14 \cdot (14 \cdot 10^{-9} \text{ м})^3 \cdot 2257 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 8,9 \cdot 10^{15}$$

Решение задачи 6. Углеродные композиты (20 баллов)

1. Композит состоит из одностенной нанотрубки и фуллерена. Молекулы фуллеренов – это окружности внутри, между двумя параллельными линиями (стенки трубки).
2. Снимок сделан с помощью электронного микроскопа высокого разрешения.
3. Фуллерены – единственный относительно летучий углеродный материал. Смесь трубок и фуллеренов нагревают в вакууме до высокой температуры ($T \sim 800 \text{ К}$). Молекулы фуллеренов «перелетают» внутрь трубок.
4. Больше тепла (энергии) выделяется в случае (а). Графит стабильнее любого чисто углеродного композита. Энтальпии образования фуллерена и нанотрубок – величины положительные.
5. Обратите внимание на черные точки внутри окружностей на рис. 2. Это атомы металлов внутри фуллереновых сфер. Во *втором композите* внутри нанотрубки не фуллерены, а эндо-фуллерены.

Решение задачи 7. Наносенсоры в пищевой промышленности (20 баллов)

1. Рассчитаем мольное соотношение С, N и H (остаток атомов, исходя из малой массовой доли, скорее всего приходится именно на водород) в соединениях **A** и **B**:

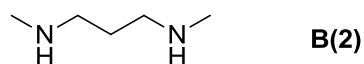
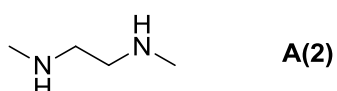
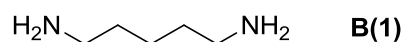
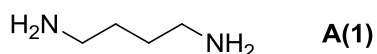
Соединение **A**

$$n(C):n(N):n(H) = \frac{\omega(C)}{A_r(C)} : \frac{\omega(N)}{A_r(N)} : \frac{\omega(H)}{A_r(H)} = 2:1:6 = 4:2:12$$

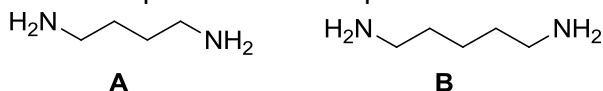
Соединение **B**

$$n(C):n(N):n(H) = \frac{\omega(C)}{A_r(C)} : \frac{\omega(N)}{A_r(N)} : \frac{\omega(H)}{A_r(H)} = 5:2:14$$

С учетом ограничения по молярной массе простейшая формула соединений **A** и **B** совпадет с истинной. Тогда для такого количества типов атомов N и H можно предложить следующие структурные формулы:



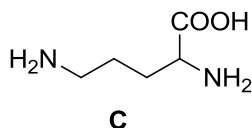
2. Так как корректные структуры содержат максимально возможное число связей С–С легко осуществить окончательный выбор (**A** – путресцин, **B** – кадаверин, продукты гнилостного распада белков с чрезвычайно неприятным запахом):



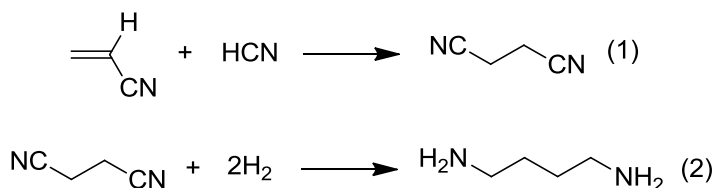
3. Рассчитаем мольное соотношение С и N в соединении **C**:

$$n(\text{C}):n(\text{N}) = \frac{\omega(\text{C})}{A_r(\text{C})} : \frac{\omega(\text{N})}{A_r(\text{N})} = 5:2$$

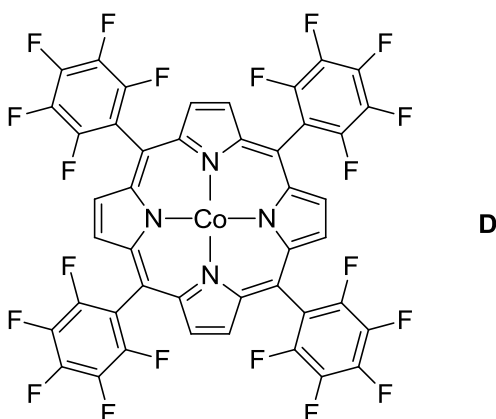
Если предположить наличие двух атомов кислорода в **C** (так как мы имеем дело с α-аминокислотой), то остаток молярной массы приходится на водород, и простейшая формула соединения **C** выглядит как $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_2$. При переходе **C** в **A** теряется группа атомов $1\text{C} + 2\text{O}$ ($\text{C}_5\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_2 - \text{C}_4\text{H}_{12}\text{N}_2$), что соответствует декарбоксилированию. Тогда с учетом симметричности путресцина соединению **C** соответствует аминокислота орнитин:



4.



5. Образование путресцина и кадаверина как маркеров гнилостных процессов в мясе может протекать в отсутствие кислорода в присутствии анаэробных бактерий. Тем самым, сенсор может определять возможность использования в пищу мяса, предварительно подвергнутого вакуумированию.
6. Число атомов азота в молекуле **D** с учетом того, что **X** не содержит N, составляет 4. Тогда нетрудно посчитать, что число атомов водорода в **D** равно восьми, число атомов С равно 44, а молярная масса металла равна 58.93, что соответствует кобальту. Чтобы определить заместитель X, рассчитаем число атомов углерода в нем: $(44-20) / 4 = 6$. Остаток молярной массы, приходящийся на неизвестный заместитель, равен $380 / 4 = 95$ г/моль. С учетом ароматичности X можно предположить, что он содержит 5 атомов фтора, и тогда структура **D**:



7. Нетрудно видеть, что общая формула соединения **Е** равна CH_2 . С учетом числа типа атомов **С** и отсутствия цикла в молекуле мы имеем дело с этиленом $\text{CH}_2=\text{CH}_2$.

Решение задачи 8. Бинарные наночастицы (20 баллов)

1. По цвету соединений (красно-фиолетовый, желтый, оранжевый, красный и зеленый) можно сделать вывод, что речь в задаче идет о соединениях хрома. Таким образом, желтый X_5 – это хромат калия, K_2CrO_4 , который при подкислении превращается сначала в дихромат, а затем в хромовый ангидрид CrO_3 (вещество X_1). При нагревании CrO_3 могут образоваться только соединения хрома с кислородом ($\text{X} - \text{Cr}$, $\text{Y} - \text{O}$). Зная массовую долю хрома в них, определим состав:

X_2 : $n(\text{Cr}) : n(\text{O}) = 55.32/52 : 44.68/16 = 1.0638 : 2.7925 = 1 : 2.625 = 8 : 21$.
 Cr_8O_{21} , или дихромат хрома (III) $\text{Cr}_2(\text{Cr}_2\text{O}_7)_3$.

X_3 : $n(\text{Cr}) : n(\text{O}) = 57.52/52 : 42.48/16 = 1.0615 : 2.655 = 1 : 2.4 = 5 : 12$
 Cr_5O_{12} , или хромат хрома (III) $\text{Cr}_2(\text{CrO}_4)_3$.

Конечный продукт термического разложения этих оксидов – Cr_2O_3 (X_4).

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
CrO_3	Cr_8O_{21}	Cr_5O_{12}	Cr_2O_3	K_2CrO_4

Уравнения реакций:

- 1) $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{KClO}_3 + 4\text{KOH} = 2\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{KCl} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 2а) $2\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- 2б) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{CrO}_3 + 2\text{KHSO}_4$
- 3а) $16\text{CrO}_3 = 2\text{Cr}_8\text{O}_{21} + 3\text{O}_2$
- 3б) $10\text{CrO}_3 = 2\text{Cr}_5\text{O}_{12} + 3\text{O}_2$
- 4а) $2\text{Cr}_8\text{O}_{21} = 8\text{Cr}_2\text{O}_3 + 9\text{O}_2$
- 4б) $4\text{Cr}_5\text{O}_{12} = 10\text{Cr}_2\text{O}_3 + 9\text{O}_2$

2. Наноразмерный Cr_2O_3 обладает высокой каталитической активностью и повышенной токичностью

Система оценивания:

5 веществ по 2 балла	10 баллов
4 реакции по 2 балла	8 баллов
Свойства X_4	2 балла



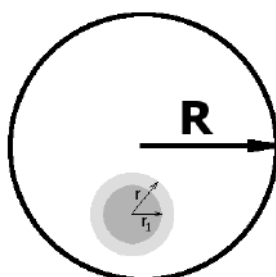
Математика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)

Задания. Вариант I

Задача 1. Нанореакторы и наночастицы (8 баллов)

Синтез в мицеллах позволяет эффективно контролировать размер наночастиц, ограничивая количество реагента.

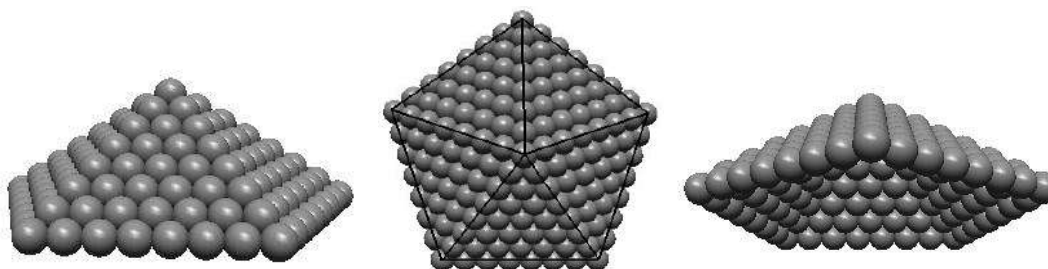
Раствор, 1 литр которого содержит c_1 граммов серебра и c_2 граммов меди, был включен во внутреннюю полость мицелл радиуса $R = 20$ нм. Затем, в ходе химической реакции, в этих мицеллах образовались сферические наночастицы, сердцевина которых состоит из серебра, а оболочка – из меди (см. рис).



1. Рассчитайте c_1 (г/л), если радиус серебряной сердцевины составляет $r_1 = 2$ нм. **(4 балла)**
2. Рассчитайте итоговый радиус наночастиц r (нм), если $c_2 = 21$ г/л. **(4 балла)**

Плотность серебра считать равной $\rho_1 = 11$ г/см³, плотность меди – $\rho_2 = 9$ г/см³.

Задача 2. Нанотарелка (8 баллов)



Нанокластер из золота имеет форму пятиугольной тарелки с ребром, состоящим из n атомов (на рисунке показан пример для $n = 8$).

1. Рассчитайте, сколько атомов золота содержит нанотарелка, если $n = 13$. **(4 балла)**

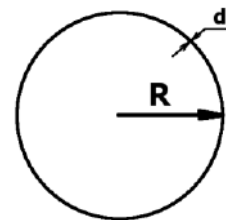
Если взять один атом золота и последовательно «накрыть» его нанотарелками, на ребро которых приходится 2, 3, 4 ... n атомов золота, то получится нанокластер в форме пятиугольной бипирамиды с ребром, состоящим из n атомов.

2. Сколько атомов золота содержит такой нанокластер, если $n = 13$? **(4 балла)**

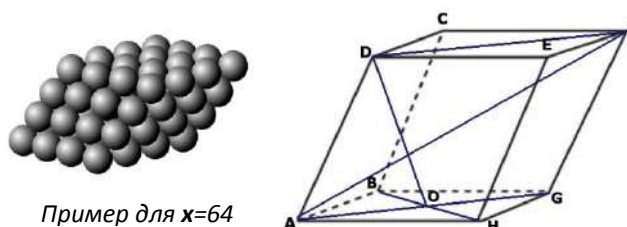
Задача 3. Получение липосом (8 баллов)

Липосомы – сферические «пузырьки», заполненные жидкостью, стенки которых состоят из липидов.

В стакан с водой объемом $V = 100$ мл добавили $V_0 = 0,1$ мл некоторого липида, затем обработали полученную смесь ультразвуком с образованием липосом. Найдите их радиус R (нм), если толщина их стенок составляет $d = 1$ нм (рис.), а расстояние между центрами липосом равно $L = 169$ нм. Считать, что центры липосом в растворе расположены друг относительно друга как вершины куба.



Задача 4. Ромбоэдр (8 баллов)



Ромбоэдрический кластер «построен» из атомов как показано на рисунке. Рассчитайте размер кластера Cu_{125} как диаметр описанной вокруг него сферы, если радиус атома меди равен $r = 0,128$ нм.

Задача 5. Разбираем нанотрубку (8 баллов)

Углеродную нанотрубку (УНТ) можно представить сложенной из зигзагообразных цепочек углеродных атомов: как в виде поперечных «колец», так и в виде опоясывающих трубку продольных «спиралей» (рис. 1).

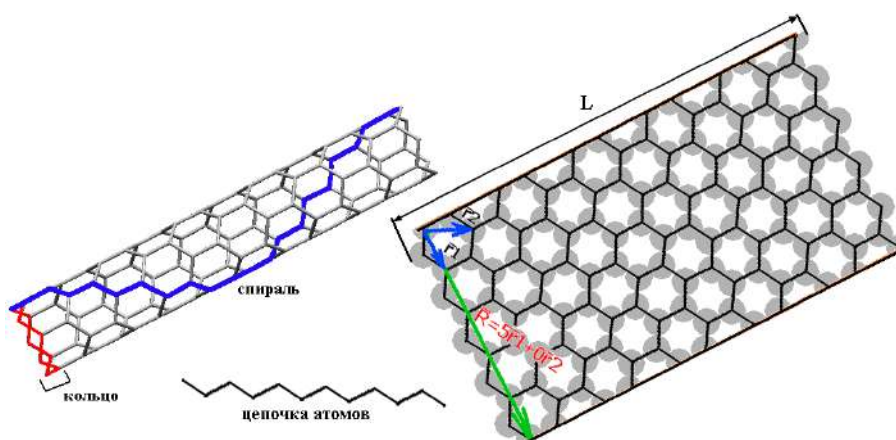


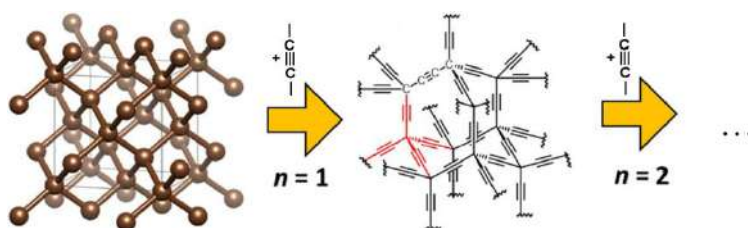
Рис. 1. УНТ с индексами хиральности (n, m) можно представить как фрагмент графенового листа, ограниченный параллельными линиями и свернутый вдоль направления радиус-вектора $\vec{R} = n\vec{r}_1 + m\vec{r}_2$. Показан пример зигзагообразной УНТ с индексами хиральности $(5,0)$ и ее развертки.

Для УНТ с индексами хиральности (15, 0) и длиной $L = 4,83$ нм найдите число:

- 1) поперечных «колец», на которые можно разделить УНТ; **(2,5 балла)**
- 2) атомов углерода в трубке; **(1 балл)**
- 3) продольных «спиралей», на которые можно разделить УНТ **(1 балл)**. Какова при этом длина одной спирали? **(3,5 балла)**

Радиус атома углерода считать равным $b = 0,07$ нм.

Задача 6. n-Диамондин – ажурный углеродный материал (20 баллов)



Каждый атом углерода в структуре алмаза связан с четырьмя ближайшими соседями, которые расположены в вершинах тетраэдра. При этом элементарная ячейка алмаза, повторением в пространстве которой получается объемный кристалл, имеет форму куба (рис. а).

Строение алмаза (формально являющегося 0-диамондином) повторяют его нанопористые аналоги – **n**-диамондины, структуры которых получаются, если между всеми связанными атомами углерода алмаза поместить дополнительно **n** пар атомов углерода – цепочку – $(C\equiv C)_n$ – (рис. б).

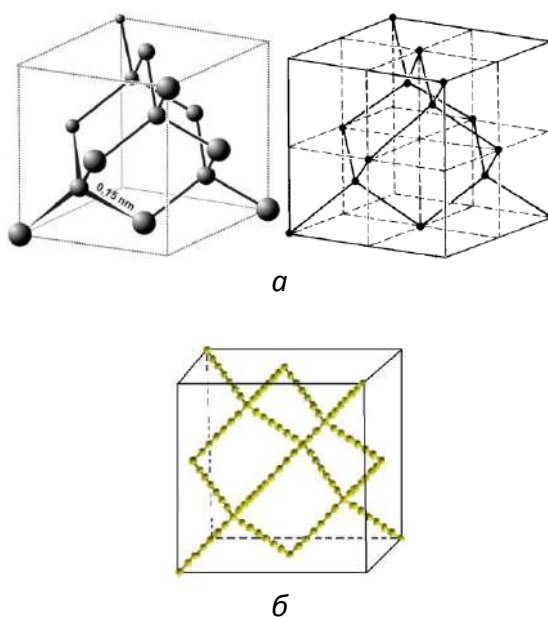


Рис. Структура элементарной ячейки: а) алмаза, б) 3-диамондина ($n = 3$).

1. Определите, сколько атомов углерода N_0 и связей С–С приходится на одну элементарную ячейку алмаза. **(2 балла)** Учтите, что лежащие в вершинах и на гранях куба атомы принадлежат одновременно нескольким ячейкам.
2. Рассчитайте, сколько атомов углерода N_n приходится на ячейку n -диамондина. **(2 балла)**
3. Чему равен объем элементарной ячейки рис. (а), если расстояние между соседними тетраэдрическими узлами в ней равно l ? **(4 балла)**
4. Выведите формулу зависимости соотношения плотностей алмаза и n -диамондина (ρ_0/ρ_n) от n . **(3 балла)** Рассчитайте это соотношение для $n = 3$. **(1 балл)**

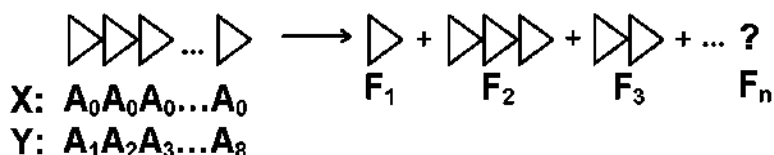
Благодаря наличию большого числа наноразмерных пустот n -диамондины можно рассматривать как «наногубку». Одним из перспективных направлений применения подобных материалов является сбор разлившейся нефти.

5. Оцените объемную долю пустот в 3-диамондине. **(3 балла)** Атомы углерода считать шарами.
6. Рассчитайте, во сколько раз масса поглощенной нефти превышает массу 3-диамондина, если нефть может занимать не менее 80% свободного объема в порах. **(5 баллов)**

Считать, что:

- расстояние между любыми соседними атомами углерода равно $a = 0,14$ нм,
- радиус атома углерода равен $0,5a$ нм,
- масса атома углерода равна $M_C = 2 \cdot 10^{-23}$ г,
- плотность нефти составляет $\rho_n = 0,9$ г/см³.

Задача 7. Фрагментация полипептидов (20 баллов)



Рассмотрим два полипептида*: X , который состоит из m одинаковых аминокислот, и Y , состоящий из 8 разных аминокислот.

В некоторых условиях происходит фрагментация полипептидов, при которой реализуются все возможные варианты разбиения молекул полипептидов на фрагменты.

* Полипептид – полимерная молекула, последовательно образованная из аминокислот, имеет начало и конец. Фрагментами полипептида являются любые последовательности аминокислот, входящие в состав исходного полипептида, кроме него самого.

1. Найдите m , если фрагментация полипептида X приводит к $N_{\max} = 9$ разным фрагментам. **(1 балл)**
2. Рассчитайте $N_{\max}$ для полипептида Y . **(3 балла)**

В иных условиях, при фрагментации в каждой молекуле полипептида случайным образом разрываются k связей между аминокислотами.

Для полипептида X и $k = 2$:

3. Найдите общее число возможных способов (M) фрагментации молекулы в описанных условиях. **(3 балла)**
4. Сколько разных фрагментов (N) получится, если реализовать все эти способы на M молекулах полипептида X ? **(2 балла)** Свой ответ обоснуйте.
5. Рассчитайте, в каком соотношении будут получаться фрагменты $F_1 \dots F_N$ при такой реализации фрагментации полипептида X . **(6 баллов)**

Для полипептида Y при варьировании k от 1 до $k_{\max}$:

6. Найдите N для каждого значения k **(4 балла)**.
7. При каком значении k число фрагментов полипептида Y максимально? **(1 балл)**

Задача 8. Тетраэдрические фуллерены (20 баллов)

Решая задачи заочного тура, вы познакомились с одним из семейств фуллеренов, имеющих симметрию тетраэдра (семейство I, рис. 1а). Кроме него можно выделить еще два семейства тетраэдрических **Т** фуллеренов – II и III (рис. 1б и 1в), – в которых пятиугольники разбиты на группы по три, имеющие одну общую вершину. Также существуют фуллерены, в которых пятиугольники лежат в вершинах усеченного тетраэдра **ТТ** (семейства IV и V, рис. 1г и 1д).

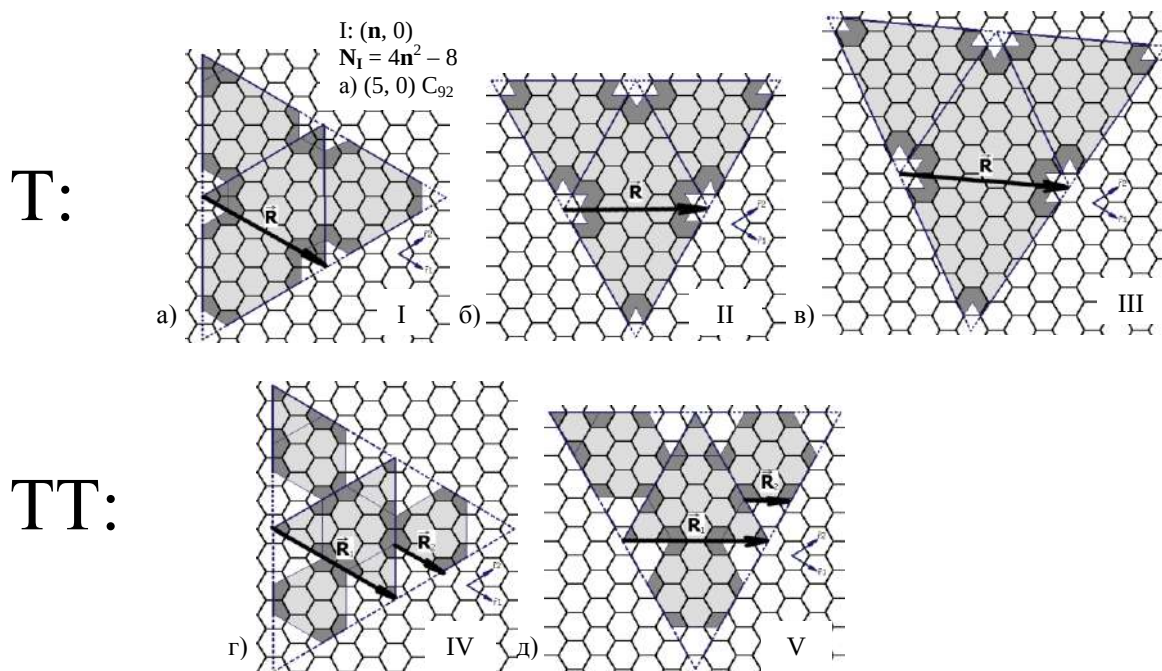


Рис. 1. Примеры выкроек тетраэдрических **Т** (семейства I-III) и усеченных тетраэдрических **ТТ** (семейства IV-V) фуллеренов $C_{N_{I,V}}$ (N – число атомов в молекулах) на графеновой плоскости. Вырезаемая область для наглядности затенена; области выкройки, складывающиеся в 12 пятиугольников, отмечены более темным цветом. Отрезок, соединяющий центры шестиугольников на графеновой плоскости, можно задать как сумму единичных векторов $\vec{r}_1$ и $\vec{r}_2$, взятых с коэффициентами (n, m) : $\vec{R} = n\vec{r}_1 + m\vec{r}_2$, $n, m \in N_0$ – индексы хиральности.

1. Для фуллеренов, приведенных на рисунках 1б-д, определите значение индексов хиральности для задающих их векторов. **(2 балла)**
2. Для семейств I и IV края развертки располагаются перпендикулярно связям С–С, а для семейств II и V – вдоль них. Какие ограничения накладываются при этом на индексы хиральности, задающие эти семейства? **(1 балл)**
3. Выведите формулу, описывающую зависимость числа атомов N (см. рис.):
 - а) от (n, m) для произвольного тетраэдрического фуллерена **Т**; **(2 балла)**
 - б) от (n_1, m_1) и (n_2, m_2) для усеченного тетраэдрического фуллерена **ТТ**. **(2 балла)**
4. Для каких значений (n_2, m_2) семейство фуллеренов IV превращается в семейство II, а семейство V в III? **(1 балл)**

5. Рассчитайте числа атомов $N_{II} - N_V$ для приведенных на рисунках 1б-д фуллеренов. **(3 балла)**
6. Выведите формулу общего числа (k) фуллеренов семейства IV, которые можно получить путем усечения некоторого фуллерена $(n, 0)$ I семейства? **(3 балла)**
7. Найдите индексы хиральности для первых пар фуллеренов, имеющих равное число атомов и принадлежащих к:
 - а) семействам I и II; **(2 балла)**
 - б) семействам I и III. **(4 балла)** Свой ответ обоснуйте.

Вспомогательная информация:

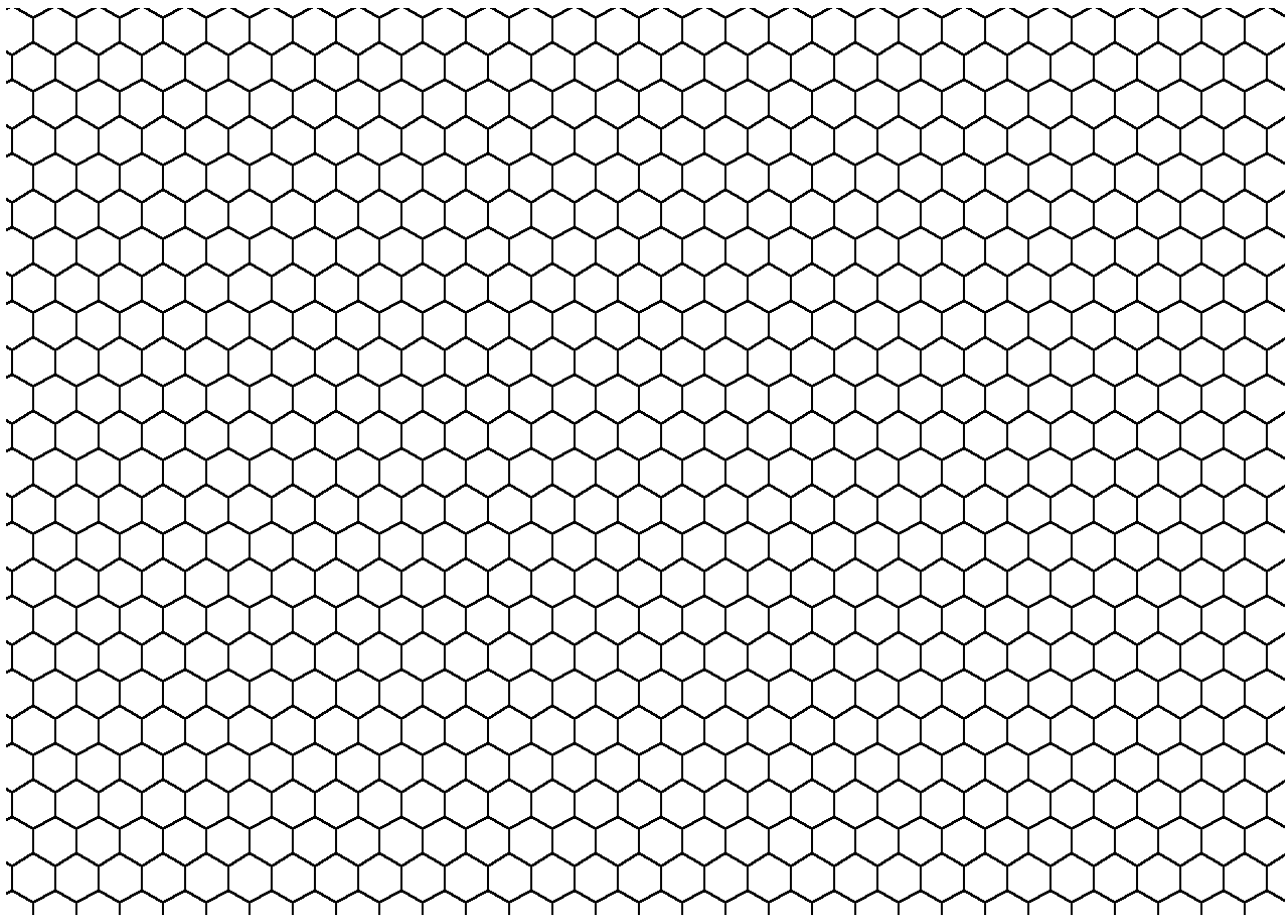
Теорема Эйлера для выпуклого многогранника: $V - E + F = 2$, где V , E , F – это, соответственно, число вершин, ребер и граней многогранника.

$$\sqrt{2} \approx 1,4, \sqrt{3} \approx 1,7, \sqrt{5} \approx 2,2, \sqrt{7} \approx 2,7, \sqrt{11} \approx 3,3, \sqrt{13} \approx 3,6, \sqrt{17} \approx 4,1.$$

При расчетах π считать равным 3,1.

Формула суммы квадратов последовательности натуральных чисел 1, 2, ..., n :

$$\sum_{m=1}^{m=n} m^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}.$$



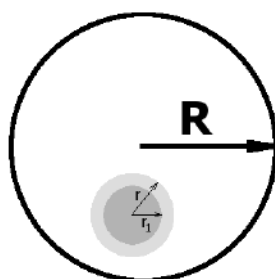


Математика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)
Задания. Вариант II

Задача 1. Нанореакторы и наночастицы (8 баллов)

Синтез в мицеллах позволяет эффективно контролировать размер наночастиц, ограничивая количество реагента.

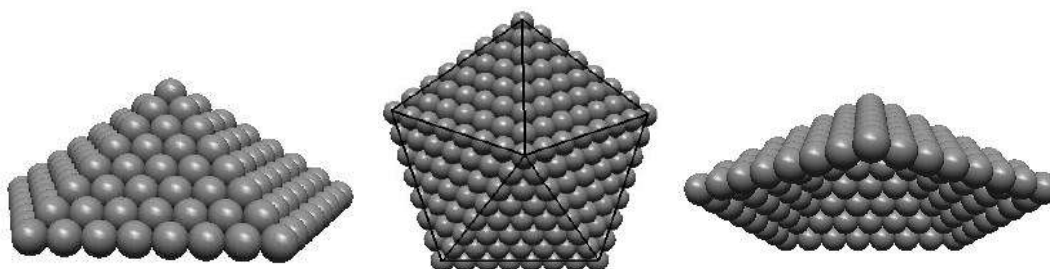
Раствор, 1 литр которого содержит c_1 граммов серебра и c_2 граммов меди, был включен во внутреннюю полость мицелл радиуса $R = 25$ нм. Затем, в ходе химической реакции, в этих мицеллах образовались сферические наночастицы, сердцевина которых состоит из серебра, а оболочка – из меди (см. рис).



1. Рассчитайте c_1 (г/л), если радиус серебряной сердцевины составляет $r_1 = 2$ нм. **(4 балла)**
2. Рассчитайте итоговый радиус наночастиц r (нм), если $c_2 = 11$ г/л. **(4 балла)**

Плотность серебра считать равной $\rho_1 = 11$ г/см³, плотность меди – $\rho_2 = 9$ г/см³.

Задача 2. Нанотарелка (8 баллов)



Нанокластер из золота имеет форму пятиугольной тарелки с ребром, состоящим из n атомов (на рисунке показан пример для $n = 8$).

1. Рассчитайте, сколько атомов золота содержит нанотарелка, если $n = 14$. **(4 балла)**

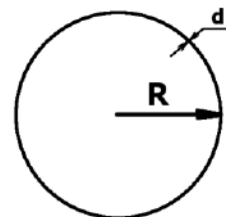
Если взять один атом золота и последовательно «накрыть» его нанотарелками, на ребро которых приходится 2, 3, 4 ... n атомов золота, то получится нанокластер в форме пятиугольной бипирамиды с ребром, состоящим из n атомов.

2. Сколько атомов золота содержит такой нанокластер, если $n = 14$? **(4 балла)**

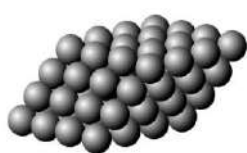
Задача 3. Получение липосом (8 баллов)

Липосомы – сферические «пузырьки», заполненные жидкостью, стенки которых состоят из липидов.

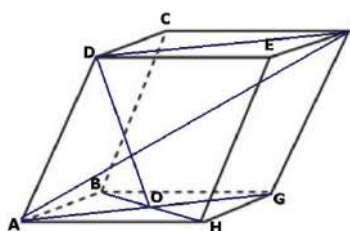
В стакан с водой объемом $V = 100$ мл добавили $V_0 = 0,1$ мл некоторого липида, затем обработали полученную смесь ультразвуком с образованием липосом. Найдите их радиус R (нм), если толщина их стенок составляет $d = 1$ нм (рис.), а расстояние между центрами липосом равно $L = 196$ нм. Считать, что центры липосом в растворе расположены друг относительно друга как вершины куба.



Задача 4. Ромбоэдр (8 баллов)



Пример для $x=64$



Ромбоэдрический кластер «построен» из атомов как показано на рисунке. Рассчитайте размер кластера Pt_{125} как диаметр описанной вокруг него сферы, если радиус атома платины равен $r = 0,139$ нм.

Задача 5. Разбираем нанотрубку (8 баллов)

Углеродную нанотрубку (УНТ) можно представить сложенной из зигзагообразных цепочек углеродных атомов: как в виде поперечных «колец», так и в виде опоясывающих трубку продольных «спиралей» (рис. 1).

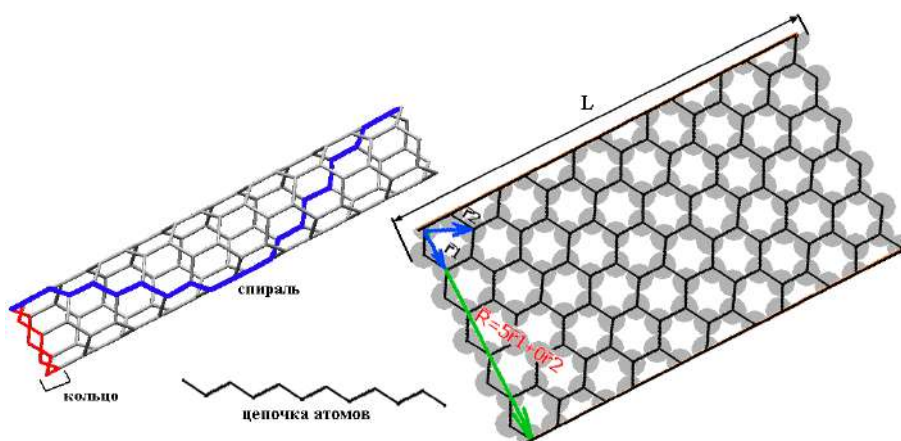


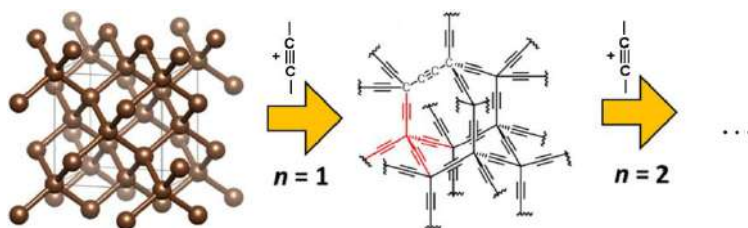
Рис. 1. УНТ с индексами хиральности (n, m) можно представить как фрагмент графенового листа, ограниченный параллельными линиями и свернутый вдоль направления радиус-вектора $\vec{R} = n\vec{r}_1 + m\vec{r}_2$. Показан пример зигзагообразной УНТ с индексами хиральности $(5,0)$ и ее развертки.

Для УНТ с индексами хиральности $(16, 0)$ и длиной $L = 4,83$ нм найдите число:

- 1) поперечных «колец», на которые можно разделить УНТ; (2,5 балла)
- 2) атомов углерода в трубке; (1 балл)
- 3) продольных «спиралей», на которые можно разделить УНТ (1 балл). Какова при этом длина одной спирали? (3,5 балла)

Радиус атома углерода считать равным $b = 0,07$ нм.

Задача 6. n-Диамондин – ажурный углеродный материал (20 баллов)



Каждый атом углерода в структуре алмаза связан с четырьмя ближайшими соседями, которые расположены в вершинах тетраэдра. При этом элементарная ячейка алмаза, повторением в пространстве которой получается объемный кристалл, имеет форму куба (рис. а).

Строение алмаза (формально являющегося 0-диамондином) повторяют его нанопористые аналоги – n -диамондины, структуры которых получаются, если между всеми связанными атомами углерода алмаза поместить дополнительно n пар атомов углерода – цепочку – $(C\equiv C)_n$ – (рис. б).

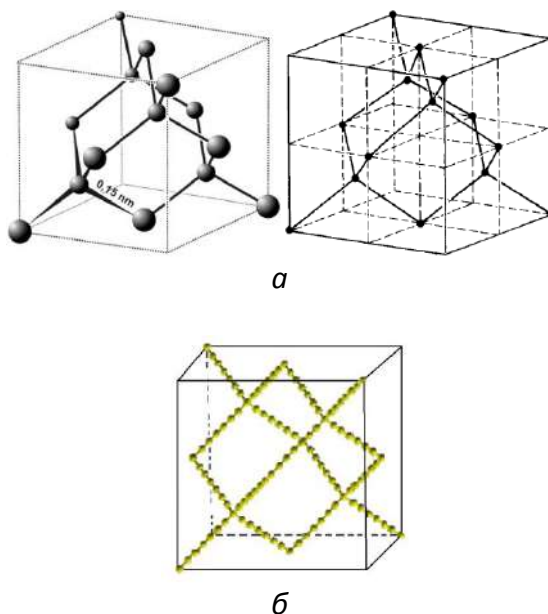


Рис. Структура элементарной ячейки: а) алмаза, б) 3-диамондина ($n = 3$).

1. Определите, сколько атомов углерода N_0 и связей С–С приходится на одну элементарную ячейку алмаза. (2 балла) Учтите, что лежащие в вершинах и на гранях куба атомы принадлежат одновременно нескольким ячейкам.

2. Рассчитайте, сколько атомов углерода N_n приходится на ячейку n -диамондина. **(2 балла)**
3. Чему равен объем элементарной ячейки рис. (а), если расстояние между соседними тетраэдрическими узлами в ней равно l ? **(4 балла)**
4. Выведите формулу зависимости соотношения плотностей алмаза и n -диамондина (ρ_0/ρ_n) от n . **(3 балла)** Рассчитайте это соотношение для $n = 3$. **(1 балл)**

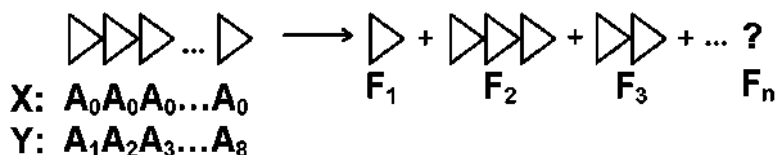
Благодаря наличию большого числа наноразмерных пустот n -диамондины можно рассматривать как «наногубку». Одним из перспективных направлений применения подобных материалов является сбор разлившейся нефти.

5. Оцените объемную долю пустот в 3-диамондине. **(3 балла)** Атомы углерода считать шарами.
6. Рассчитайте, во сколько раз масса поглощенной нефти превышает массу 3-диамондина, если нефть может занимать не менее 80% свободного объема в порах. **(5 баллов)**

Считать, что:

- расстояние между любыми соседними атомами углерода равно $a = 0,14$ нм,
- радиус атома углерода равен $0,5a$ нм,
- масса атома углерода равна $M_C = 2 \cdot 10^{-23}$ г,
- плотность нефти составляет $\rho_n = 0,9$ г/см³.

Задача 7. Фрагментация полипептидов (20 баллов)



Рассмотрим два полипептида*: X , который состоит из m одинаковых аминокислот, и Y , состоящий из 8 разных аминокислот.

В некоторых условиях происходит фрагментация полипептидов, при которой реализуются все возможные варианты разбиения молекул полипептидов на фрагменты.

1. Найдите m , если фрагментация полипептида X приводит к $N_{\max} = 9$ разным фрагментам. **(1 балл)**
2. Рассчитайте $N_{\max}$ для полипептида Y . **(3 балла)**

* Полипептид – полимерная молекула, последовательно образованная из аминокислот, имеет начало и конец. Фрагментами полипептида являются любые последовательности аминокислот, входящие в состав исходного полипептида, кроме него самого.

В иных условиях, при фрагментации в каждой молекуле полипептида случайным образом разрываются k связей между аминокислотами.

Для полипептида X и $k = 2$:

3. Найдите общее число возможных способов (M) фрагментации молекулы в описанных условиях. **(3 балла)**
4. Сколько разных фрагментов (N) получится, если реализовать все эти способы на M молекулах полипептида X ? **(2 балла)** Свой ответ обоснуйте.
5. Рассчитайте, в каком соотношении будут получаться фрагменты $F_1 \dots F_N$ при такой реализации фрагментации полипептида X . **(6 баллов)**

Для полипептида Y при варьировании k от 1 до $k_{\max}$:

6. Найдите N для каждого значения k . **(4 балла)**
7. При каком значении k число фрагментов полипептида Y максимально? **(1 балл)**

Задача 8. Тетраэдрические фуллерены (20 баллов)

Решая задачи заочного тура, вы познакомились с одним из семейств фуллеренов, имеющих симметрию тетраэдра (семейство I, рис. 1а). Кроме него можно выделить еще два семейства тетраэдрических **Т** фуллеренов – II и III (рис. 1б и 1в), – в которых пятиугольники разбиты на группы по три, имеющие одну общую вершину. Также существуют фуллерены, в которых пятиугольники лежат в вершинах усеченного тетраэдра **ТТ** (семейства IV и V, рис. 1г и 1д).

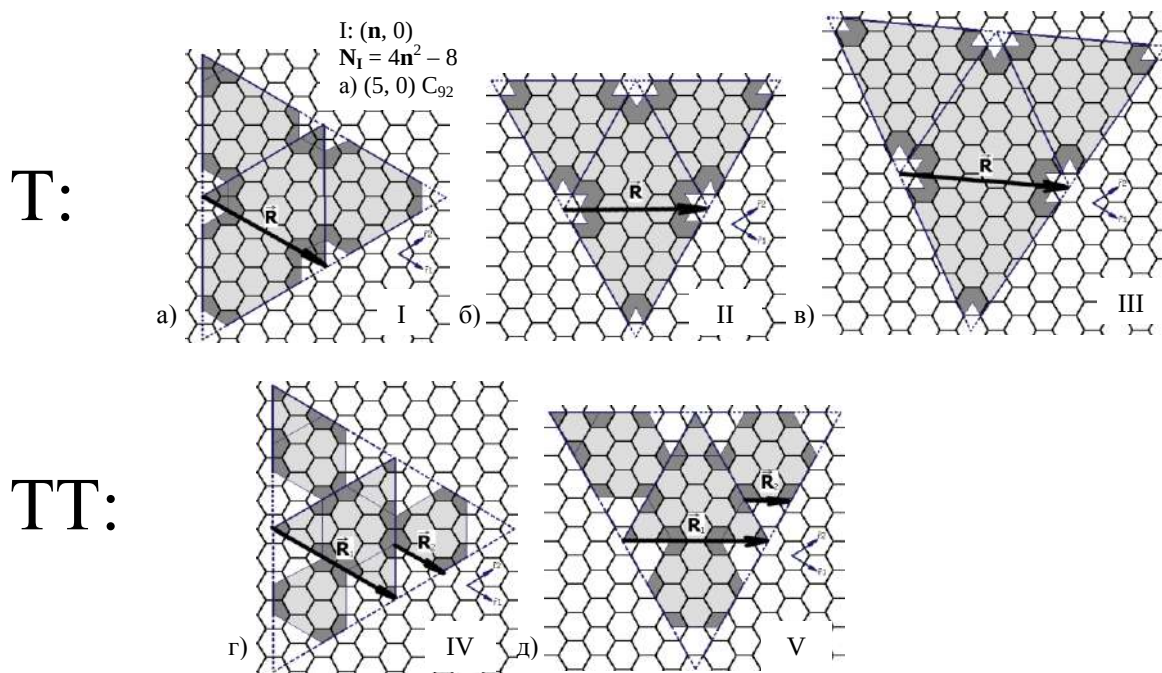


Рис. 1. Примеры выкроек тетраэдрических **Т** (семейства I-III) и усеченных тетраэдрических **ТТ** (семейства IV-V) фуллеренов $C_{N_{I,V}}$ (N – число атомов в молекулах) на графеновой плоскости. Вырезаемая область для наглядности затенена; области выкройки, складывающиеся в 12 пятиугольников, отмечены более темным цветом. Отрезок, соединяющий центры шестиугольников на графеновой плоскости, можно задать как сумму единичных векторов $\vec{r}_1$ и $\vec{r}_2$, взятых с коэффициентами (n, m) : $\vec{R} = n\vec{r}_1 + m\vec{r}_2$, $n, m \in N_0$ – индексы хиральности.

1. Для фуллеренов, приведенных на рисунках 1б-д, определите значение индексов хиральности для задающих их векторов. **(2 балла)**
2. Для семейств I и IV края развертки располагаются перпендикулярно связям C–C, а для семейств II и V – вдоль них. Какие ограничения накладываются при этом на индексы хиральности, задающие эти семейства? **(1 балл)**
3. Выведите формулу, описывающую зависимость числа атомов N (см. рис.):
 - а) от (n, m) для произвольного тетраэдрического фуллерена **Т**; **(2 балла)**
 - б) от (n_1, m_1) и (n_2, m_2) для усеченного тетраэдрического фуллерена **ТТ**. **(2 балла)**
4. Для каких значений (n_2, m_2) семейство фуллеренов IV превращается в семейство II, а семейство V в III? **(1 балл)**

5. Рассчитайте числа атомов $N_{II} - N_V$ для приведенных на рисунках 1б-д фуллеренов. **(3 балла)**
6. Выведите формулу общего числа (k) фуллеренов семейства IV, которые можно получить путем усечения некоторого фуллерена $(n, 0)$ I семейства? **(3 балла)**
7. Найдите индексы хиральности для первых пар фуллеренов, имеющих равное число атомов и принадлежащих к:
 - а) семействам I и II **(2 балла)**;
 - б) семействам I и III **(4 балла)**. Свой ответ обоснуйте.

Вспомогательная информация:

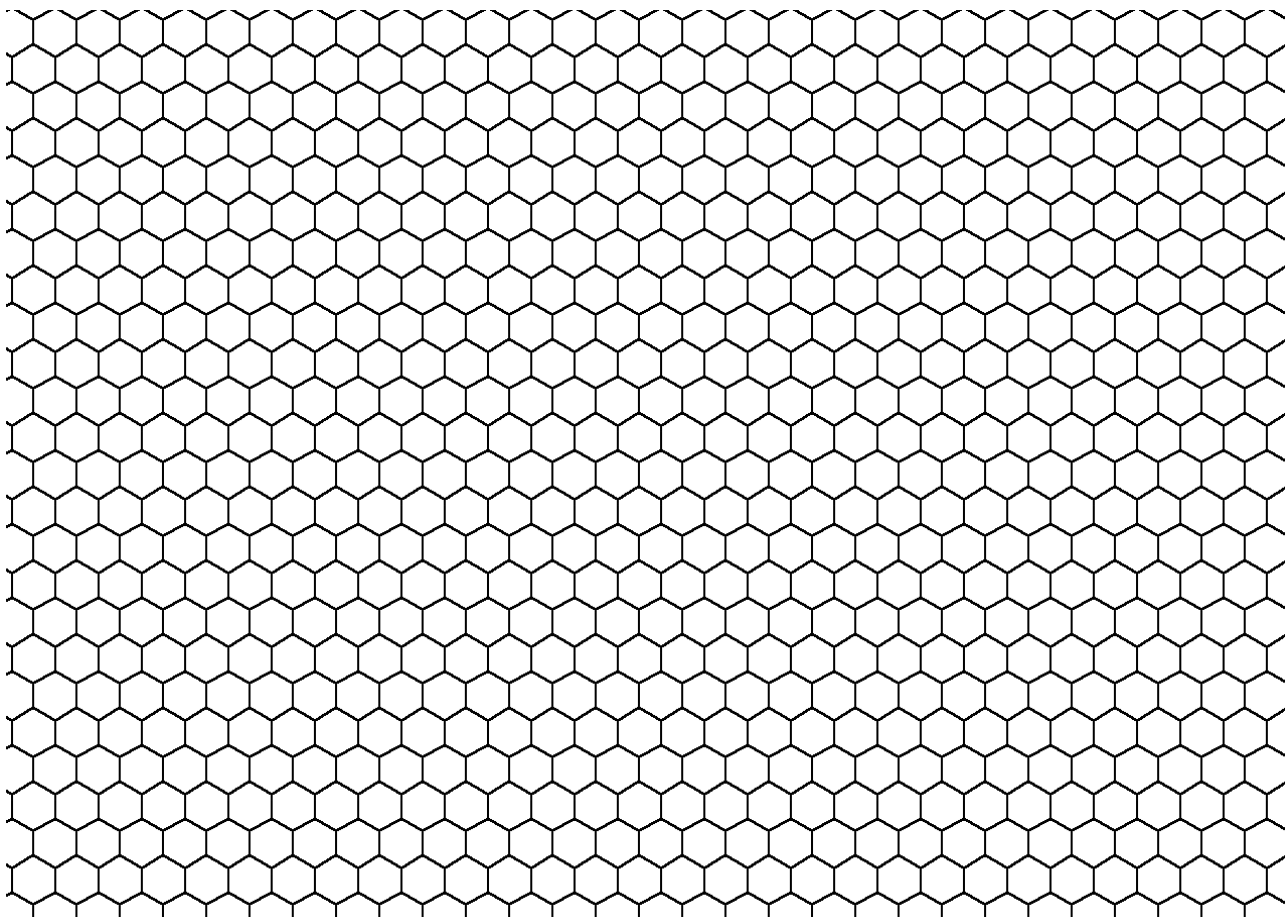
Теорема Эйлера для выпуклого многогранника: $V - E + F = 2$, где V, E, F – это, соответственно, число вершин, ребер и граней многогранника.

$$\sqrt{2} \approx 1,4, \sqrt{3} \approx 1,7, \sqrt{5} \approx 2,2, \sqrt{7} \approx 2,7, \sqrt{11} \approx 3,3, \sqrt{13} \approx 3,6, \sqrt{17} \approx 4,1.$$

При расчетах π считать равным 3,1.

Формула суммы квадратов последовательности натуральных чисел 1, 2, ..., n :

$$\sum_{m=1}^{m=n} m^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}.$$



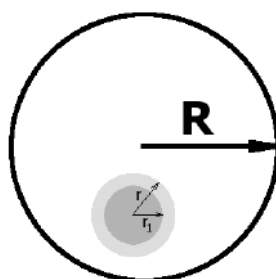


Математика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)
Задания. Вариант III

Задача 1. Нанореакторы и наночастицы (8 баллов)

Синтез в мицеллах позволяет эффективно контролировать размер наночастиц, ограничивая количество реагента.

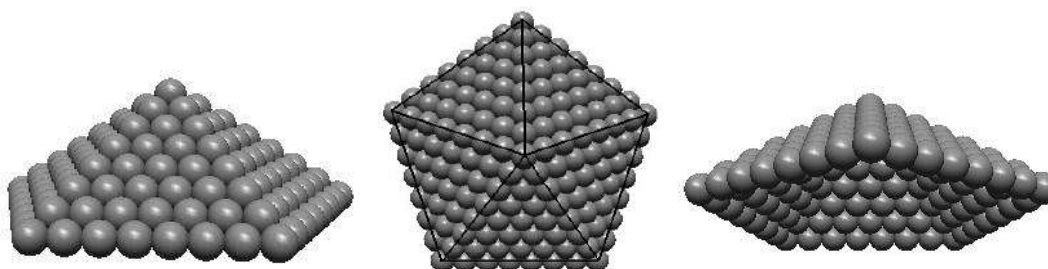
Раствор, 1 литр которого содержит c_1 граммов серебра и c_2 граммов меди, был включен во внутреннюю полость мицелл радиуса $R = 30$ нм. Затем, в ходе химической реакции, в этих мицеллах образовались сферические наночастицы, сердцевина которых состоит из серебра, а оболочка – из меди (см. рис).



1. Рассчитайте c_1 (г/л), если радиус серебряной сердцевины составляет $r_1 = 3$ нм. **(4 балла)**
2. Рассчитайте итоговый радиус наночастиц r (нм), если $c_2 = 12$ г/л. **(4 балла)**

Плотность серебра считать равной $\rho_1 = 11$ г/см³, плотность меди – $\rho_2 = 9$ г/см³.

Задача 2. Нанотарелка (8 баллов)



Нанокластер из золота имеет форму пятиугольной тарелки с ребром, состоящим из n атомов (на рисунке показан пример для $n = 8$).

1. Рассчитайте, сколько атомов золота содержит нанотарелка, если $n = 15$. **(4 балла)**

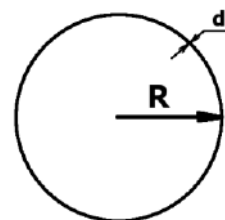
Если взять один атом золота и последовательно «накрыть» его нанотарелками, на ребро которых приходится 2, 3, 4 ... n атомов золота, то получится нанокластер в форме пятиугольной бипирамиды с ребром, состоящим из n атомов.

2. Сколько атомов золота содержит такой нанокластер, если $n = 15$? **(4 балла)**

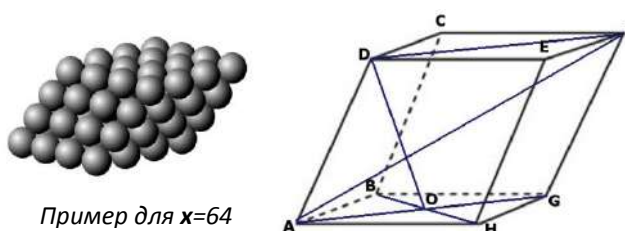
Задача 3. Получение липосом (8 баллов)

Липосомы – сферические «пузырьки», заполненные жидкостью, стенки которых состоят из липидов.

В стакан с водой объемом $V = 50$ мл добавили $V_0 = 0,05$ мл некоторого липида, затем обработали полученную смесь ультразвуком с образованием липосом. Найдите их радиус R (нм), если толщина их стенок составляет $d = 1$ нм (рис.), а расстояние между центрами липосом равно $L = 169$ нм. Считать, что центры липосом в растворе расположены друг относительно друга как вершины куба.



Задача 4. Ромбоэдр (8 баллов)



Ромбоэдрический кластер «построен» из атомов как показано на рисунке. Рассчитайте размер кластера Cu_{343} как диаметр описанной вокруг него сферы, если радиус атома меди равен $r = 0,128$ нм.

Задача 5. Разбираем нанотрубку (8 баллов)

Углеродную нанотрубку (УНТ) можно представить сложенной из зигзагообразных цепочек углеродных атомов: как в виде поперечных «колец», так и в виде опоясывающих трубку продольных «спиралей» (рис. 1).

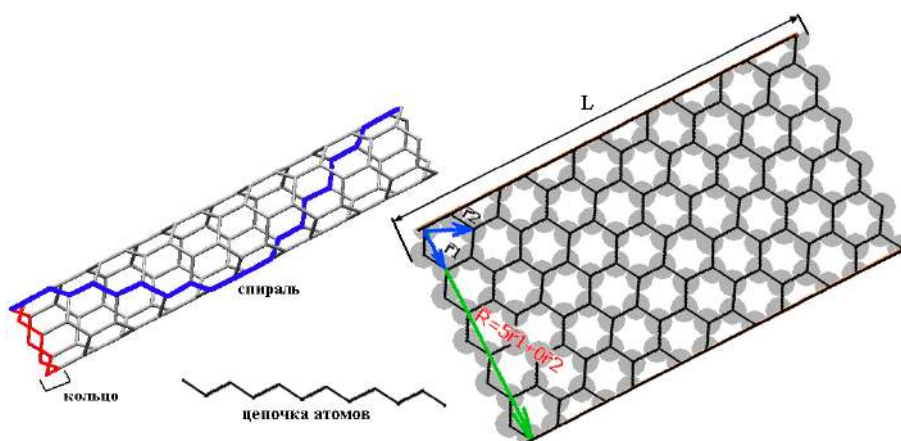


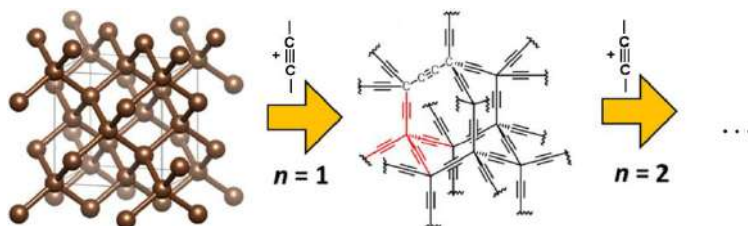
Рис. 1. УНТ с индексами хиральности (n, m) можно представить как фрагмент графенового листа, ограниченный параллельными линиями и свернутый вдоль направления радиус-вектора $\vec{R} = n\vec{a}_1 + m\vec{a}_2$. Показан пример зигзагообразной УНТ с индексами хиральности $(5,0)$ и ее развертки.

Для УНТ с индексами хиральности $(15, 0)$ и длиной $L = 5,25$ нм найдите число:

- 1) поперечных «колец», на которые можно разделить УНТ; **(2,5 балла)**
- 2) атомов углерода в трубке; **(1 балл)**
- 3) продольных «спиралей», на которые можно разделить УНТ **(1 балл)**. Какова при этом длина одной спирали? **(3,5 балла)**

Радиус атома углерода считать равным $b = 0,07$ нм.

Задача 6. n-Диамондин – ажурный углеродный материал (20 баллов)



Каждый атом углерода в структуре алмаза связан с четырьмя ближайшими соседями, которые расположены в вершинах тетраэдра. При этом элементарная ячейка алмаза, повторением в пространстве которой получается объемный кристалл, имеет форму куба (рис. а).

Строение алмаза (формально являющегося 0-диамондином) повторяют его нанопористые аналоги – n -диамондины, структуры которых получаются, если между всеми связанными атомами углерода алмаза поместить дополнительно n пар атомов углерода – цепочку – $(C\equiv C)_n$ – (рис. б).

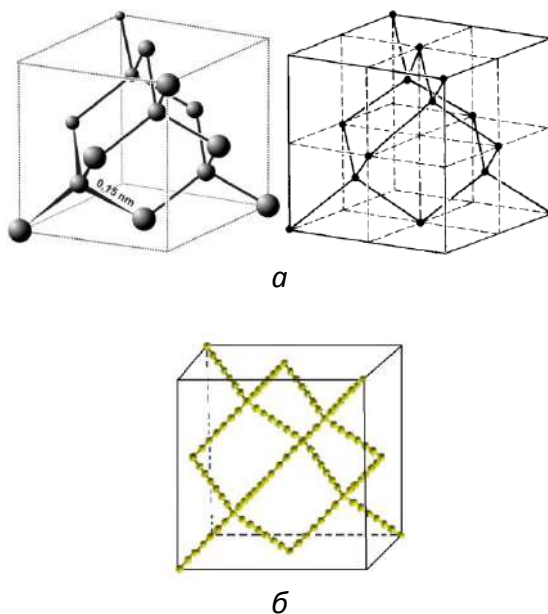


Рис. Структура элементарной ячейки: а) алмаза, б) 3-диамондина ($n = 3$).

1. Определите, сколько атомов углерода N_0 и связей С–С приходится на одну элементарную ячейку алмаза. **(2 балла)** Учтите, что лежащие в вершинах и на гранях куба атомы принадлежат одновременно нескольким ячейкам.
2. Рассчитайте, сколько атомов углерода N_n приходится на ячейку n -диамондина. **(2 балла)**
3. Чему равен объем элементарной ячейки рис. (а), если расстояние между соседними тетраэдрическими узлами в ней равно l ? **(4 балла)**
4. Выведите формулу зависимости соотношения плотностей алмаза и n -диамондина (ρ_0/ρ_n) от n . **(3 балла)** Рассчитайте это соотношение для $n = 3$. **(1 балл)**

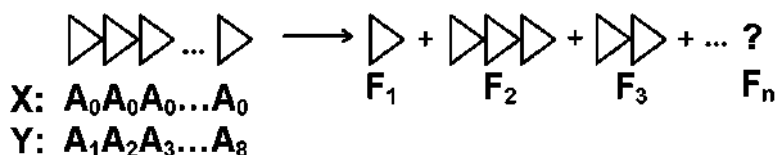
Благодаря наличию большого числа наноразмерных пустот n -диамондины можно рассматривать как «наногубку». Одним из перспективных направлений применения подобных материалов является сбор разлившейся нефти.

5. Оцените объемную долю пустот в 3-диамондине. **(3 балла)** Атомы углерода считать шарами.
6. Рассчитайте, во сколько раз масса поглощенной нефти превышает массу 3-диамондина, если нефть может занимать не менее 80% свободного объема в порах. **(5 баллов)**

Считать, что:

- расстояние между любыми соседними атомами углерода равно $a = 0,14$ нм,
- радиус атома углерода равен $0,5a$ нм,
- масса атома углерода равна $M_C = 2 \cdot 10^{-23}$ г,
- плотность нефти составляет $\rho_n = 0,9$ г/см³.

Задача 7. Фрагментация полипептидов (20 баллов)



Рассмотрим два полипептида^{1*}: X , который состоит из m одинаковых аминокислот, и Y , состоящий из 8 разных аминокислот.

В некоторых условиях происходит фрагментация полипептидов, при которой реализуются все возможные варианты разбиения молекул полипептидов на фрагменты.

* Полипептид – полимерная молекула, последовательно образованная из аминокислот, имеет начало и конец. Фрагментами полипептида являются любые последовательности аминокислот, входящие в состав исходного полипептида, кроме него самого.

1. Найдите m , если фрагментация полипептида X приводит к $N_{\max} = 9$ разным фрагментам. **(1 балл)**
2. Рассчитайте $N_{\max}$ для полипептида Y . **(3 балла)**

В иных условиях, при фрагментации в каждой молекуле полипептида случайным образом разрываются k связей между аминокислотами.

Для полипептида X и $k = 2$:

3. Найдите общее число возможных способов (M) фрагментации молекулы в описанных условиях. **(3 балла)**
4. Сколько разных фрагментов (N) получится, если реализовать все эти способы на M молекулах полипептида X ? **(2 балла)** Свой ответ обоснуйте.
5. Рассчитайте, в каком соотношении будут получаться фрагменты $F_1 \dots F_N$ при такой реализации фрагментации полипептида X . **(6 баллов)**

Для полипептида Y при варьировании k от 1 до $k_{\max}$:

6. Найдите N для каждого значения k . **(4 балла)**
7. При каком значении k число фрагментов полипептида Y максимально? **(1 балл)**

Задача 8. Тетраэдрические фуллерены (20 баллов)

Решая задачи заочного тура, вы познакомились с одним из семейств фуллеренов, имеющих симметрию тетраэдра (семейство I, рис. 1а). Кроме него можно выделить еще два семейства тетраэдрических **Т** фуллеренов – II и III (рис. 1б и 1в), – в которых пятиугольники разбиты на группы по три, имеющие одну общую вершину. Также существуют фуллерены, в которых пятиугольники лежат в вершинах усеченного тетраэдра **ТТ** (семейства IV и V, рис. 1г и 1д).

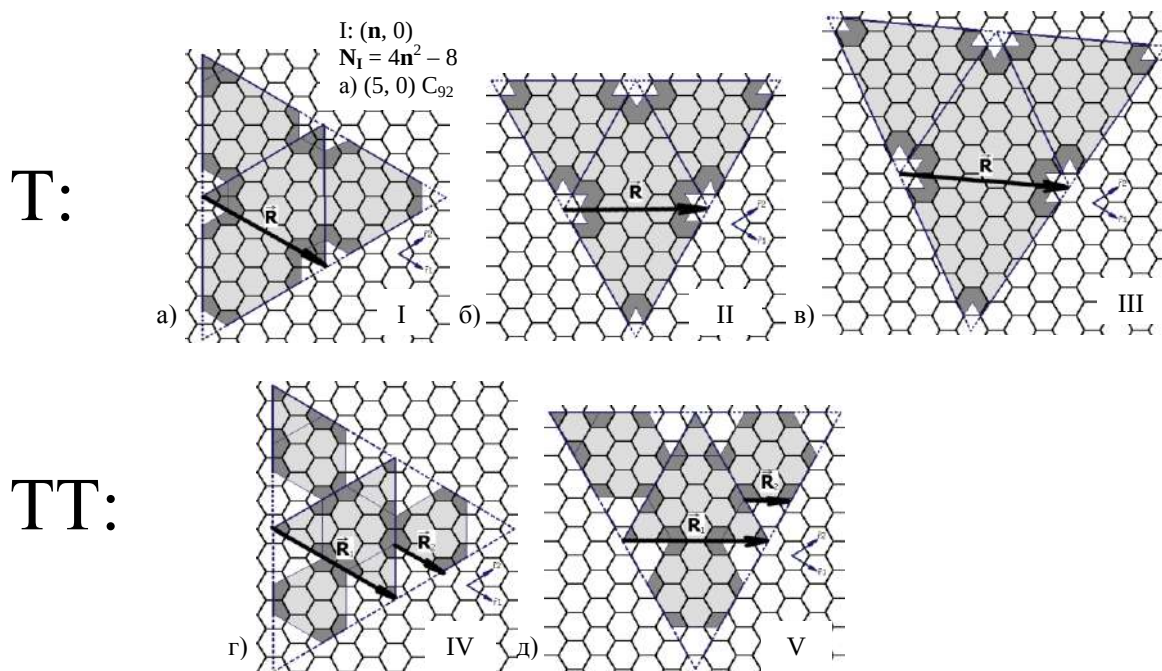


Рис. 1. Примеры выкроек тетраэдрических **Т** (семейства I-III) и усеченных тетраэдрических **ТТ** (семейства IV-V) фуллеренов $C_{N_{I,V}}$ (N – число атомов в молекулах) на графеновой плоскости. Вырезаемая область для наглядности затенена; области выкройки, складывающиеся в 12 пятиугольников, отмечены более темным цветом. Отрезок, соединяющий центры шестиугольников на графеновой плоскости, можно задать как сумму единичных векторов $\vec{t}_1$ и $\vec{t}_2$, взятых с коэффициентами (n, m) : $\vec{R} = n\vec{t}_1 + m\vec{t}_2$, $n, m \in N_0$ – индексы хиральности.

1. Для фуллеренов, приведенных на рисунках 1б-д, определите значение индексов хиральности для задающих их векторов. **(2 балла)**
2. Для семейств I и IV края развертки располагаются перпендикулярно связям С–С, а для семейств II и V – вдоль них. Какие ограничения накладываются при этом на индексы хиральности, задающие эти семейства? **(1 балл)**
3. Выведите формулу, описывающую зависимость числа атомов N (см. рис.):
 - а) от (n, m) для произвольного тетраэдрического фуллерена **Т** **(2 балла)**;
 - б) от (n_1, m_1) и (n_2, m_2) для усеченного тетраэдрического фуллерена **ТТ** **(2 балла)**.
4. Для каких значений (n_2, m_2) семейство фуллеренов IV превращается в семейство II, а семейство V в III? **(1 балл)**

5. Рассчитайте числа атомов $N_{II} - N_V$ для приведенных на рисунках 1б-д фуллеренов. **(3 балла)**
6. Выведите формулу общего числа (k) фуллеренов семейства IV, которые можно получить путем усечения некоторого фуллерена $(n, 0)$ I семейства? **(3 балла)**
7. Найдите индексы хиральности для первых пар фуллеренов, имеющих равное число атомов и принадлежащих к:
 - а) семействам I и II **(2 балла)**;
 - б) семействам I и III **(4 балла)**. Свой ответ обоснуйте.

Вспомогательная информация:

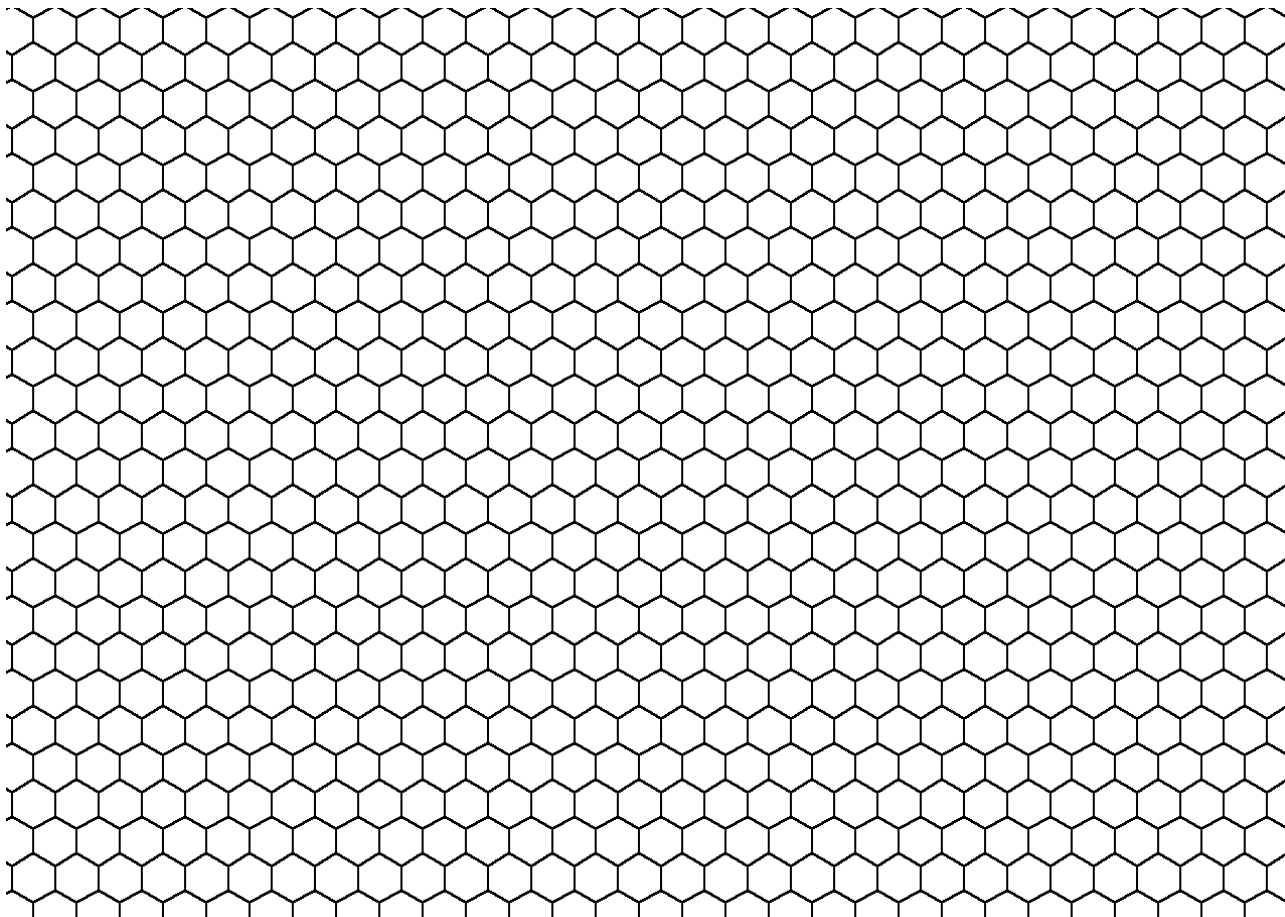
Теорема Эйлера для выпуклого многогранника: $V - E + F = 2$, где V, E, F – это, соответственно, число вершин, ребер и граней многогранника.

$$\sqrt{2} \approx 1,4, \sqrt{3} \approx 1,7, \sqrt{5} \approx 2,2, \sqrt{7} \approx 2,7, \sqrt{11} \approx 3,3, \sqrt{13} \approx 3,6, \sqrt{17} \approx 4,1.$$

При расчетах π считать равным 3,1.

Формула суммы квадратов последовательности натуральных чисел 1, 2, ..., n :

$$\sum_{m=1}^{m=n} m^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}.$$



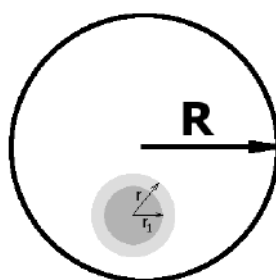


Математика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)
Задания. Вариант IV

Задача 1. Нанореакторы и наночастицы (8 баллов)

Синтез в мицеллах позволяет эффективно контролировать размер наночастиц, ограничивая количество реагента.

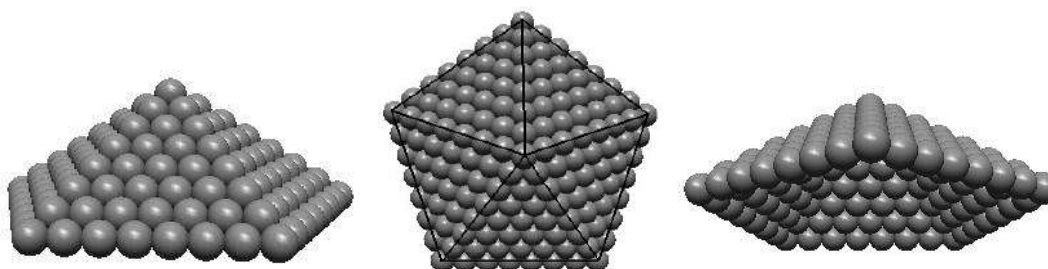
Раствор, 1 литр которого содержит c_1 граммов серебра и c_2 граммов меди, был включен во внутреннюю полость мицелл радиуса $R = 33$ нм. Затем, в ходе химической реакции, в этих мицеллах образовались сферические наночастицы, сердцевина которых состоит из серебра, а оболочка – из меди (см. рис).



1. Рассчитайте c_1 (г/л), если радиус серебряной сердцевинки составляет $r_1 = 3$ нм. **(4 балла)**
2. Рассчитайте итоговый радиус наночастиц r (нм), если $c_2 = 9$ г/л. **(4 балла)**

Плотность серебра считать равной $\rho_1 = 11$ г/см³, плотность меди – $\rho_2 = 9$ г/см³.

Задача 2. Нанотарелка (8 баллов)



Нанокластер из золота имеет форму пятиугольной тарелки с ребром, состоящим из n атомов (на рисунке показан пример для $n = 8$).

1. Рассчитайте, сколько атомов золота содержит нанотарелка, если $n = 16$. **(4 балла)**

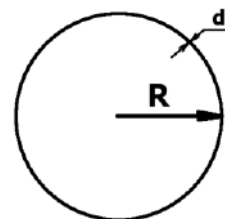
Если взять один атом золота и последовательно «накрыть» его нанотарелками, на ребро которых приходится 2, 3, 4 ... n атомов золота, то получится нанокластер в форме пятиугольной бипирамиды с ребром, состоящим из n атомов.

2. Сколько атомов золота содержит такой нанокластер, если $n = 16$? **(4 балла)**

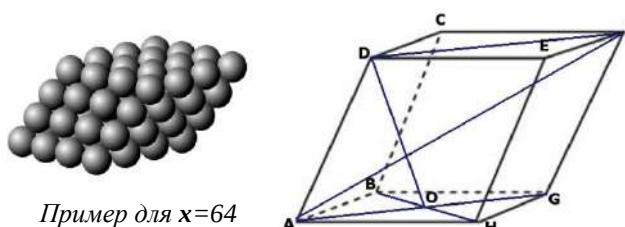
Задача 3. Получение липосом (8 баллов)

Липосомы – сферические «пузырьки», заполненные жидкостью, стенки которых состоят из липидов.

В стакан с водой объемом $V = 50$ мл добавили $V_0 = 0,05$ мл некоторого липида, затем обработали полученную смесь ультразвуком с образованием липосом. Найдите их радиус R (нм), если толщина их стенок составляет $d = 1$ нм (рис.), а расстояние между центрами липосом равно $L = 196$ нм. Считать, что центры липосом в растворе расположены друг относительно друга как вершины куба.



Задача 4. Ромбоэдр (8 баллов)



Ромбоэдрический кластер «построен» из атомов как показано на рисунке. Рассчитайте размер кластера Pt_{343} как диаметр описанной вокруг него сферы, если радиус атома платины равен $r = 0,139$ нм.

Задача 5. Разбираем нанотрубку (8 баллов)

Углеродную нанотрубку (УНТ) можно представить сложенной из зигзагообразных цепочек углеродных атомов: как в виде поперечных «колец», так и в виде опоясывающих трубку продольных «спиралей» (рис. 1).

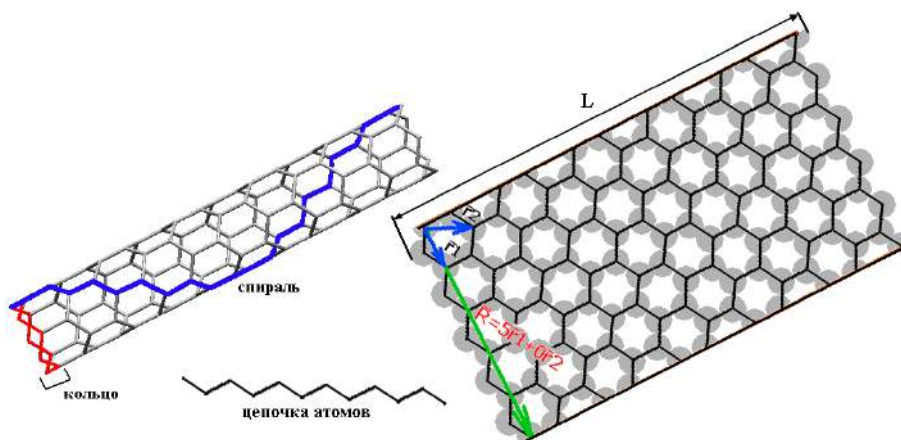


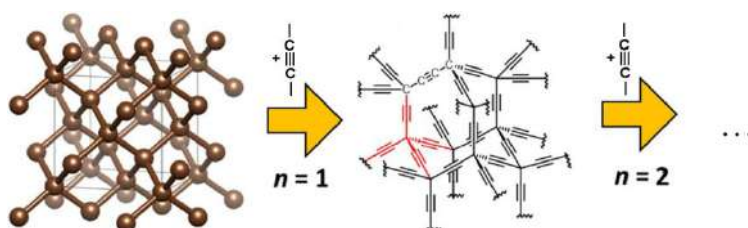
Рис. 1. УНТ с индексами хиральности (n, m) можно представить как фрагмент графенового листа, ограниченный параллельными линиями и свернутый вдоль направления радиус-вектора $\vec{R} = n\vec{r}_1 + m\vec{r}_2$. Показан пример зигзагообразной УНТ с индексами хиральности $(5, 0)$ и ее развертки.

Для УНТ с индексами хиральности (16, 0) и длиной $L = 5,25$ нм найдите число:

- 1) поперечных «колец», на которые можно разделить УНТ; **(2,5 балла)**
- 2) атомов углерода в трубке; **(1 балл)**
- 3) продольных «спиралей», на которые можно разделить УНТ **(1 балл)**. Какова при этом длина одной спирали? **(3,5 балла)**

Радиус атома углерода считать равным $b = 0,07$ нм.

Задача 6. n-Диамондин – ажурный углеродный материал (20 баллов)



Каждый атом углерода в структуре алмаза связан с четырьмя ближайшими соседями, которые расположены в вершинах тетраэдра. При этом элементарная ячейка алмаза, повторением в пространстве которой получается объемный кристалл, имеет форму куба (рис. а).

Строение алмаза (формально являющегося 0-диамондином) повторяют его нанопористые аналоги – n -диамондины, структуры которых получаются, если между всеми связанными атомами углерода алмаза поместить дополнительно n пар атомов углерода – цепочку – $(C \equiv C)_n$ – (рис. б).

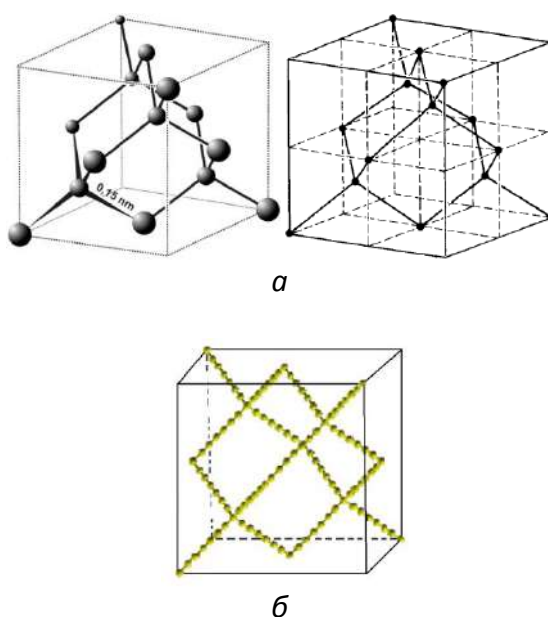


Рис. Структура элементарной ячейки: а) алмаза, б) 3-диамондина ($n = 3$).

1. Определите, сколько атомов углерода N_0 и связей С–С приходится на одну элементарную ячейку алмаза. **(2 балла)** Учтите, что лежащие в вершинах и на гранях куба атомы принадлежат одновременно нескольким ячейкам.
2. Рассчитайте, сколько атомов углерода N_n приходится на ячейку n -диамондина. **(2 балла)**
3. Чему равен объем элементарной ячейки рис. (а), если расстояние между соседними тетраэдрическими узлами в ней равно l ? **(4 балла)**
4. Выведите формулу зависимости соотношения плотностей алмаза и n -диамондина (ρ_0/ρ_n) от n . **(3 балла)** Рассчитайте это соотношение для $n = 3$. **(1 балл)**

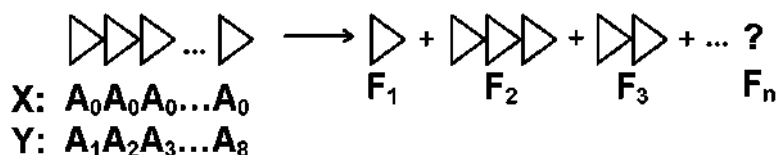
Благодаря наличию большого числа наноразмерных пустот n -диамондины можно рассматривать как «наногубку». Одним из перспективных направлений применения подобных материалов является сбор разлившейся нефти.

5. Оцените объемную долю пустот в 3-диамондине. **(3 балла)** Атомы углерода считать шарами.
6. Рассчитайте, во сколько раз масса поглощенной нефти превышает массу 3-диамондина, если нефть может занимать не менее 80% свободного объема в порах. **(5 баллов)**

Считать, что:

- расстояние между любыми соседними атомами углерода равно $a = 0,14$ нм,
- радиус атома углерода равен $0,5a$ нм,
- масса атома углерода равна $M_C = 2 \cdot 10^{-23}$ г,
- плотность нефти составляет $\rho_n = 0,9$ г/см³.

Задача 7. Фрагментация полипептидов (20 баллов)



Рассмотрим два полипептида^{1*}: X , который состоит из m одинаковых аминокислот, и Y , состоящий из 8 разных аминокислот.

В некоторых условиях происходит фрагментация полипептидов, при которой реализуются все возможные варианты разбиения молекул полипептидов на фрагменты.

* Полипептид – полимерная молекула, последовательно образованная из аминокислот, имеет начало и конец. Фрагментами полипептида являются любые последовательности аминокислот, входящие в состав исходного полипептида, кроме него самого.

1. Найдите m , если фрагментация полипептида X приводит к $N_{\max} = 9$ разным фрагментам. **(1 балл)**
2. Рассчитайте $N_{\max}$ для полипептида Y . **(3 балла)**

В иных условиях, при фрагментации в каждой молекуле полипептида случайным образом разрываются k связей между аминокислотами.

Для полипептида X и $k = 2$:

3. Найдите общее число возможных способов (M) фрагментации молекулы в описанных условиях. **(3 балла)**
4. Сколько разных фрагментов (N) получится, если реализовать все эти способы на M молекулах полипептида X ? **(2 балла)** Свой ответ обоснуйте.
5. Рассчитайте, в каком соотношении будут получаться фрагменты $F_1 \dots F_N$ при такой реализации фрагментации полипептида X . **(6 баллов)**

Для полипептида Y при варьировании k от 1 до $k_{\max}$:

6. Найдите N для каждого значения k . **(4 балла)**
7. При каком значении k число фрагментов полипептида Y максимально? **(1 балл)**

Задача 8. Тетраэдрические фуллерены (20 баллов)

Решая задачи заочного тура, вы познакомились с одним из семейств фуллеренов, имеющих симметрию тетраэдра (семейство I, рис. 1а). Кроме него можно выделить еще два семейства тетраэдрических **Т** фуллеренов – II и III (рис. 1б и 1в), – в которых пятиугольники разбиты на группы по три, имеющие одну общую вершину. Также существуют фуллерены, в которых пятиугольники лежат в вершинах усеченного тетраэдра **ТТ** (семейства IV и V, рис. 1г и 1д).

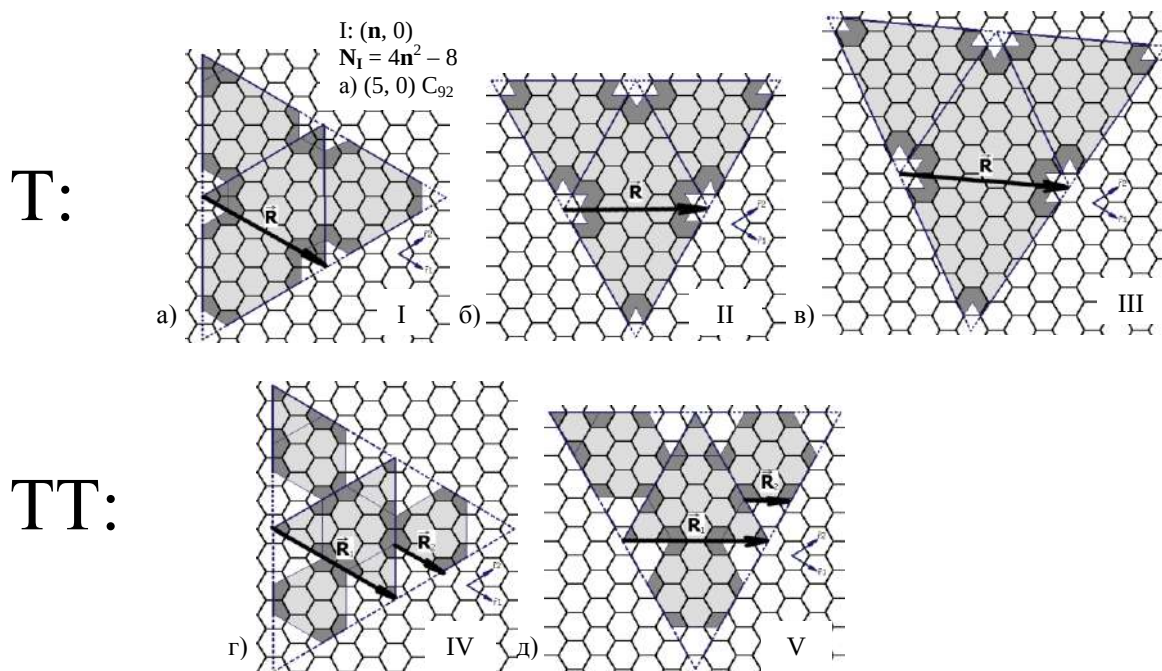


Рис. 1. Примеры выкроек тетраэдрических **Т** (семейства I-III) и усеченных тетраэдрических **ТТ** (семейства IV-V) фуллеренов $C_{N_{I,V}}$ (N – число атомов в молекулах) на графеновой плоскости. Вырезаемая область для наглядности затенена; области выкройки, складывающиеся в 12 пятиугольников, отмечены более темным цветом. Отрезок, соединяющий центры шестиугольников на графеновой плоскости, можно задать как сумму единичных векторов $\vec{r}_1$ и $\vec{r}_2$, взятых с коэффициентами (n, m) : $\vec{R} = n\vec{r}_1 + m\vec{r}_2$, $n, m \in N_0$ – индексы хиральности.

1. Для фуллеренов, приведенных на рисунках 1б-д, определите значение индексов хиральности для задающих их векторов. **(2 балла)**
2. Для семейств I и IV края развертки располагаются перпендикулярно связям C–C, а для семейств II и V – вдоль них. Какие ограничения накладываются при этом на индексы хиральности, задающие эти семейства? **(1 балл)**
3. Выведите формулу, описывающую зависимость числа атомов N (см. рис.):
 - а) от (n, m) для произвольного тетраэдрического фуллерена **Т**; **(2 балла)**
 - б) от (n_1, m_1) и (n_2, m_2) для усеченного тетраэдрического фуллерена **ТТ**. **(2 балла)**
4. Для каких значений (n_2, m_2) семейство фуллеренов IV превращается в семейство II, а семейство V в III? **(1 балл)**

5. Рассчитайте числа атомов $N_{II} - N_V$ для приведенных на рисунках 1б-д фуллеренов. **(3 балла)**
6. Выведите формулу общего числа (k) фуллеренов семейства IV, которые можно получить путем усечения некоторого фуллерена $(n, 0)$ I семейства? **(3 балла)**
7. Найдите индексы хиральности для первых пар фуллеренов, имеющих равное число атомов и принадлежащих к:
 - а) семействам I и II; **(2 балла)**
 - б) семействам I и III. **(4 балла)** Свой ответ обоснуйте.

Вспомогательная информация:

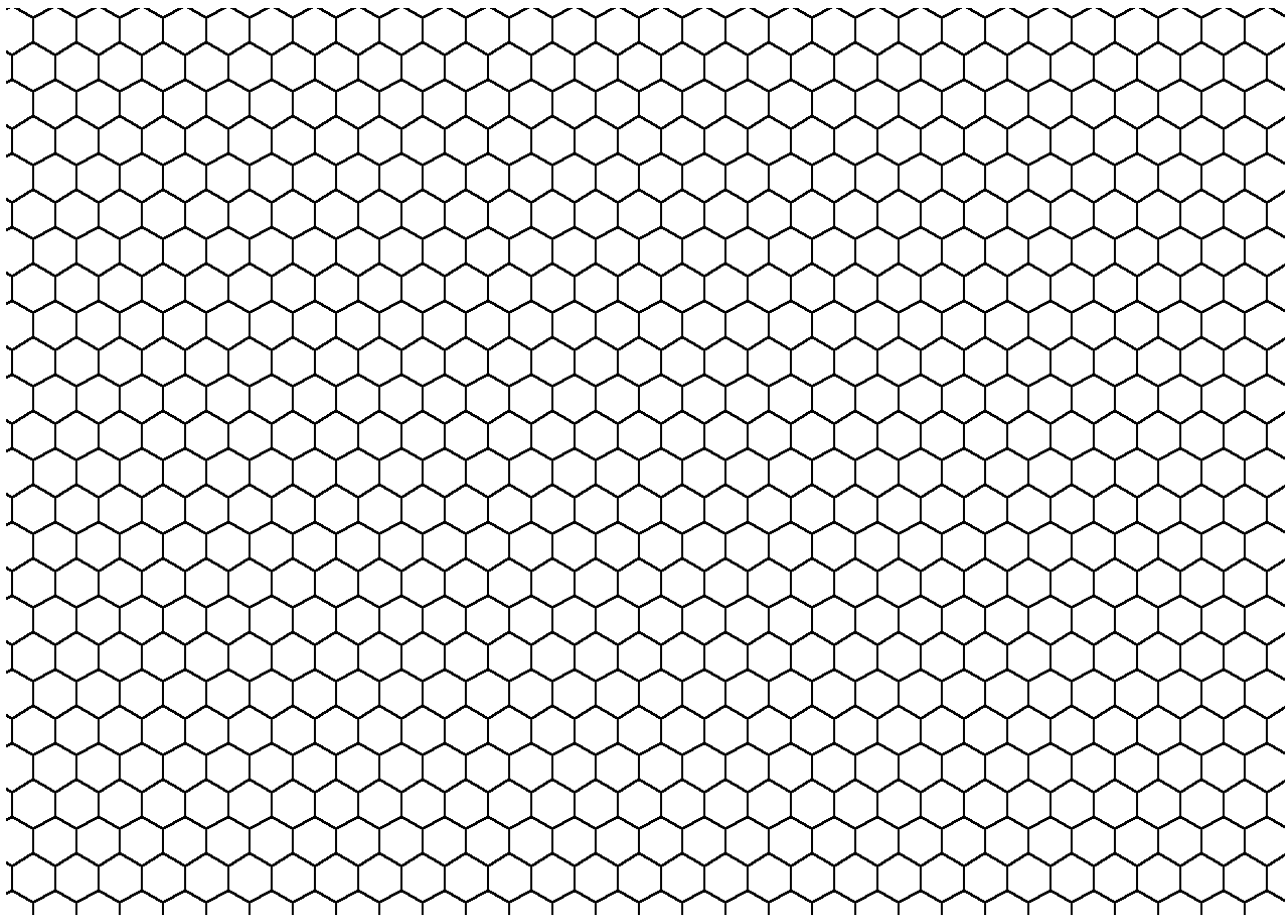
Теорема Эйлера для выпуклого многогранника: $V - E + F = 2$, где V , E , F – это, соответственно, число вершин, ребер и граней многогранника.

$$\sqrt{2} \approx 1,4, \sqrt{3} \approx 1,7, \sqrt{5} \approx 2,2, \sqrt{7} \approx 2,7, \sqrt{11} \approx 3,3, \sqrt{13} \approx 3,6, \sqrt{17} \approx 4,1.$$

При расчетах π считать равным 3,1.

Формула суммы квадратов последовательности натуральных чисел 1, 2, ..., n :

$$\sum_{m=1}^{m=n} m^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}.$$





Математика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)
Решения. Вариант III

Решение задачи 1. Нанореакторы и наночастицы (8 баллов)

1. В сферической мицелле радиуса R объемом $V_m = \frac{4}{3}\pi R^3$ содержатся ионы серебра

массой $m_1 = c_1 V_m = c_1 \frac{4}{3}\pi R^3$. Объем этого серебра в виде металла составляет

$$V_1 = \frac{m_1}{\rho_1} = \frac{4c_1\pi R^3}{3\rho_1}. \text{ В то же время, } V_1 = \frac{4}{3}\pi r_1^3. \text{ Следовательно, } c_1 = \frac{r_1^3 \rho_1}{R^3} \text{ (г/см}^3\text{)} =$$

$$10^3 \frac{r_1^3 \rho_1}{R^3} = 10^3 \frac{3^3 \cdot 11}{30^3} = \underline{11} \text{ (г/л)}.$$

2. Итоговый объем наночастицы равен $V = \frac{4}{3}\pi r^3 = V_1 + V_2$, где объем слоя меди можно

найти как $V_2 = \frac{m_2}{\rho_2} = \frac{c_2 V_m}{\rho_2} = \frac{4c_2\pi R^3}{3\rho_2}$.

$$\frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi r_1^3 + \frac{4c_2\pi R^3}{3\rho_2}, \quad r^3 = r_1^3 + \frac{c_2 R^3}{\rho_2}, \quad r = \sqrt[3]{r_1^3 + \frac{c_2 R^3}{\rho_2}} = \sqrt[3]{3^3 + \frac{12 \cdot 10^{-24} \cdot 30^3}{9 \cdot 10^{-21}}} \approx \underline{4} \text{ нм}$$

$$\text{или } \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4c_1\pi R^3}{3\rho_1} + \frac{4c_2\pi R^3}{3\rho_2}, \quad r^3 = \frac{c_1 R^3}{\rho_1} + \frac{c_2 R^3}{\rho_2},$$

$$r = R \sqrt[3]{\frac{c_1}{\rho_1} + \frac{c_2}{\rho_2}} = 30 \sqrt[3]{\frac{11 \cdot 10^{-3}}{11} + \frac{12 \cdot 10^{-3}}{9}} \approx \underline{4} \text{ нм}$$

Решение задачи 2. Нанотарелка (8 баллов)

1. Число атомов в одном треугольнике с ребром, состоящим из n атомов, представляет собой сумму ряда натуральных чисел от 1 до n : $T(n) = \sum_{k=1}^n k = 0,5n(n+1)$.

Нанотарелка состоит из соединенных по ребрам пяти треугольников, следовательно, общее число атомов равно:

$N = 5 \cdot 0,5n(n+1)$ (пять треугольных граней) – $5n$ (пять общих ребер) + 1 (вершина фигуры, «вычитаемая» вместе с $5n$ атомами ребер)

$$N = 2,5(n^2 - n) + 1 = 2,5(15^2 - 15) + 1 = \underline{526}.$$

2. Пятиугольную бипирамиду с ребром, состоящим из n атомов, согласно построению можно рассматривать как стопку из n тарелок, вложенных одна в другую:

$$P(n) = \sum_1^n N = 2,5 \sum_1^n (k^2 - k) + n = 2,5 \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} - 2,5 \frac{n(n+1)}{2} + n = \frac{10n^3 + 2n}{12} = \frac{5n^3 + n}{6}$$

$$P(n) = \frac{5 \cdot 15^3 + 15}{6} = \underline{\underline{2815}}.$$

Решение задачи 3. Получение липосом (8 баллов)

Приближенный метод расчета, при толщине оболочки липосомы много меньше радиуса липосомы.

- 1) Площадь поверхности липосомы $S_1 = 4\pi R^2$ – это отношение площади поверхности всех липосом к их количеству: $S_1 = S_0/n$.
- 2) Площадь поверхности всех липосом при таком приближении можно оценить как $S_0 = V_0/d$.
- 3) Общее число липосом равно $n = V/L^3$, следовательно, радиус липосомы равен:

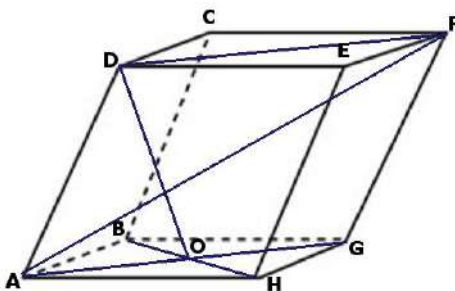
$$R \approx 0,5 \sqrt{\frac{V_0/d}{V/L^3 \cdot \pi}} = 0,5 \sqrt{\frac{V_0 L^3}{\pi V d}} = 0,5 \sqrt{\frac{50 \cdot 169^3}{3,1 \cdot 0,05 \cdot 1}} = 0,5 \sqrt{1557} \approx 0,5 \cdot 39 = \underline{\underline{19,5}} \text{ нм}.$$

Точный метод расчета:

- 1) Общее число липосом равно $n = V/L^3$.
- 2) Объем липида, приходящийся на одну липосому: $V_1 = V_0/n = V_0 L^3/V$.
- 3) В то же время, $V_1 = 4\pi/3 \cdot (R^3 - (R-d)^3)$
 $4 \cdot 3,1/3 \cdot (R^3 - R^3 + 3R^2 d - 3Rd^2 - d^3) = V_0 L^3/V$
 $4(3R^2 d - 3Rd^2 - d^3) - 3,1 V_0 L^3/V = 0$
 Приблизительно: $R^2 - R - (1/3 + 0,001 \cdot 169^3) = 0$
 $R \approx \underline{\underline{20,6}} \text{ нм}.$

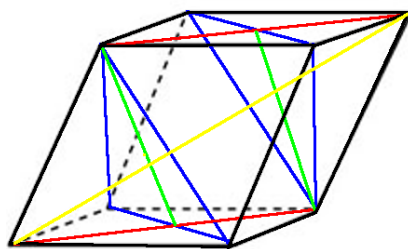
Решение задачи 4. Ромбоэдр (8 баллов)

Рассмотрим ромбоэдр, вершинами которого являются центры атомов, которые находятся в вершинах кластера (см. рис.).



- 1) Сфера, описанная вокруг многогранника, – это сфера такого диаметра, что любая точка, принадлежащая многограннику, лежит либо внутри сферы, либо принадлежит ей. То есть, диаметром сферы, описанной вокруг этого ромбоэдра, будет равен максимальному расстоянию между двумя точками, принадлежащими ромбоэдру – длине его большой диагонали **AF**. Найдем **AF** по теореме косинусов для $\triangle ADF$:

$AF^2 = AD^2 + DF^2 - 2 \cdot AD \cdot DF \cdot \cos(\angle ADF)$, где **AD** – ребро ромбоэдра, **DF** – большая диагональ его грани, $\angle ADF$ – угол между ребром ромбоэдра и большой диагональю его грани.



- 2) Найдем длину большой диагонали ромба **DF**. Диагонали ромба перпендикулярны друг другу, следовательно, $\triangle AOH$ – прямоугольный. Найдем его гипотенузу: $AO = AH \cdot \sin(\angle AHO) = AH \cdot \sin 60^\circ = 0,5\sqrt{3} \cdot AH$. ($\angle AHO = 60^\circ$, так как $\triangle ABH$ – равносторонний, что, в свою очередь, следует из способа построения кластера).

Тогда $DF = AG = 2AO = 2 \cdot 0,5\sqrt{3} \cdot AH = \sqrt{3} \cdot AD$.

- 3) Найдем косинус угла $\angle ADF$.

В параллелограмме **ADFG** рассмотрим углы, прилежащие к стороне **AD**:
 $\angle ADF = 180^\circ - \angle DAG$.

Заметим, что $\angle DAG = \angle DAO$.

Рассмотрим $\triangle ADO$: **AD** – ребро ромбоэдра; **AO** – половина большой диагонали грани ромбоэдра и высота правильного $\triangle ABH$, $AO = 0,5\sqrt{3} \cdot AD$; **DO** – высота правильного $\triangle DBH$, $DO = 0,5\sqrt{3} \cdot AD = AO$. Таким образом, $\triangle ADO$ – равнобедренный и, следовательно, $\angle DAO = \angle ADO$.

Следовательно, $\cos(\angle DAO) = 0,5AD/DO = 0,5AD/(0,5\sqrt{3} \cdot AD) = 1/\sqrt{3}$.

Тогда $\cos(\angle ADF) = \cos(180^\circ - \angle DAG) = \cos(180^\circ - \angle DAO) = -\cos(\angle DAO) = -1/\sqrt{3}$.

- 4) Выразим **AF** из теоремы косинусов:

$$\begin{aligned} AF^2 &= AD^2 + DF^2 - 2 \cdot AD \cdot DF \cdot \cos(\angle ADF) \\ AF^2 &= AD^2 + 3AD^2 - 2 \cdot AD \cdot \sqrt{3}AD \cdot (-1/\sqrt{3}) \\ AF^2 &= 6AD^2 \Rightarrow AF = \sqrt{6} \cdot AD \approx 2,45AD \end{aligned}$$

- 5) Если нанокластер содержит 343 атомов, то согласно построению, его ребро будет содержать $y = \sqrt[3]{343} = 7$ атомов.
- 6) Длина ребра ромбоэдра, на ребро которого приходится y атомов металла радиусом r нм, составляет $AD = 2yr - 2r$ (поскольку вершины ромбоэдра лежат в центрах атомов).

Диаметр сферы, описанной вокруг кластера, будет отличаться от диагонали рассматриваемого ромбоэдра на $2r$, что составит: $D = AF + 2r = 2,45AD + 2r = 2,45(2yr - 2r) + 2r = 4,9yr - 2,9r = 4,9 \cdot 7 \cdot 0,128 - 2,9 \cdot 0,128 = \underline{4,0}$ нм.

Решение задачи 5. Разбираем нанотрубку (8 баллов)

1. Если число «колец» z , то их суммарная длина $L = 3bz$ (ширина одного кольца равна полутора диаметрам атома углерода, см. рис. условия).

Тогда $z = L/(3b) = 5,25/(3 \cdot 0,07) = \underline{25}$.

2. Каждый пояс состоит из $2n$ атомов углерода.

Значит, общее число атомов $y = 2nz = 2 \cdot 15 \cdot 25 = \underline{750}$.

3. УНТ можно разрезать на $n = \underline{15}$ «спиралей».

Каждая такая «спираль» состоит из $y/n = 2z = 50$ атомов углерода. Длина такой зигзагообразной цепочки равна $L_1 = 2\sqrt{3}b(z-1) + 2b$, то есть, произведению длины малой диагонали шестиугольника $2\sqrt{3}b$ на число «промежутков» между углеродными «кольцами» в УНТ ($z-1$) плюс удвоенный радиус углерода $2b$:

$$L_1 = 2\sqrt{3} \cdot 0,07(25-1) + 2 \cdot 0,07 \approx \underline{5,85} \text{ нм.}$$

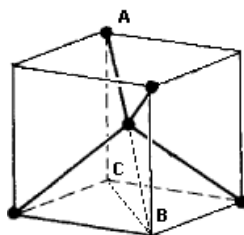
Решение задачи 6. n-Диамондин – ажурный углеродный материал (20 баллов)

1. Рассмотрим структуру элементарной ячейки алмаза. На ячейку алмаза приходится:

$1/8 \cdot 4$ (атомы в вершинах, каждый принадлежит одновременно 8 ячейкам)
 $+ 6 \cdot 1/2$ (атомы на гранях, каждый одновременно принадлежит двум ячейкам)
 $+ 4$ (атомы в объеме)

Итого $N_0 = \underline{7,5}$ атомов углерода.

Число связей, соединяющих атомы углерода (они все находятся целиком внутри ячейки), равно $\underline{16}$ (можно сосчитать по рисунку, либо умножить число атомов углерода на 4).



- В элементарной ячейке **n**-диамондина, по сравнению с алмазом, на каждую С-С связь алмаза (между соседними тетраэдрическими узлами) добавляется **n** пар атомов углерода; общее количество атомов составит **$N_n = 7,5 + 32n$** .
- Рассмотрим один из 4-х кубов элементарной ячейки (рис. а условия, см. рисунок), в который вписан тетраэдр.

Обозначив ребро малого куба как **c**, тогда: $CB^2 = c^2 + c^2$, $AB^2 = c^2 + CB^2 = 3c^2$.

$AB = 2l$ (l – расстояние между тетраэдрическими узлами), $\Rightarrow 4l^2 = 3c^2$, $c = 2l / \sqrt{3}$.

Объем одного малого куба равен $8l^3 / (3\sqrt{3})$, а элементарной ячейки, которая состоит из 8 малых кубов:

$$V = 64l^3 / (3\sqrt{3}) \approx \underline{12,5 l^3}.$$

- Из способа построения для алмаза $l_0 = a$, расстояние между тетраэдрическими центрами **n**-диамондина: $l_n = (1 + 2n)a$

$$\rho_0 / \rho_n = \frac{m_0 / V_0}{m_n / V_n} = \frac{N_0 \cdot M_c / (64l_0^3 / 3\sqrt{3})}{N_n \cdot M_c / (64l_n^3 / 3\sqrt{3})} = \frac{N_0 \cdot l_n^3}{N_n \cdot l_0^3} = \frac{7,5 \cdot (1 + 2n)^3}{7,5 + 32n}$$

Для **n = 3**: $\rho_0 / \rho_3 = \frac{7,5 \cdot (1 + 2 \cdot 3)^3}{7,5 + 32 \cdot 3} = 24,8 \approx \underline{25}$.

- $V_3 = 64(1 + 2 \cdot 3)^3 0,14^3 / (3\sqrt{3}) = 11,6 \text{ нм}^3$. $V_c = 103,5 \cdot 4 / 3 \cdot 3,1 \cdot 0,07^3 = 0,15 \text{ нм}^3$.

$$\omega = \frac{V_{\text{пор}}}{V_3} \cdot 100\% = 1 - \frac{V_c}{V_3} \cdot 100\% = 1 - \frac{0,15}{11,6} \cdot 100 \approx \underline{99\%}.$$

- Максимальная объемная доля поглощенной нефти равна $0,8 \cdot 99\% = 79,2\%$.

Тогда максимальный объем нефти, поглощенной 3-диамондином (в расчете на одну элементарную ячейку последнего), равен $V_n = V_3 \cdot 0,792 = 11,6 \cdot 0,792 = 9,2 \text{ нм}^3$.

Масса этой нефти равна $m_n = 9,2 \cdot 10^{-21} \cdot 0,9 = 8,3 \cdot 10^{-21} \text{ г}$.

В тоже время, масса углерода, приходящегося на одну элементарную ячейку 3-диамондина, равна $m_c = 103,5 \cdot 2 \cdot 10^{-23} = 2,1 \cdot 10^{-21} \text{ г}$.

Масса поглощенной нефти может превышать массу 3-диамондина в

$$\delta = \frac{m_n}{m_c} = \frac{8,3}{2,1} = 3,95 \approx \underline{4 \text{ раза}}.$$

Решение задачи 7. Фрагментация полипептидов (20 баллов)

- Поскольку, по условию, в ходе фрагментации реализуются все возможные варианты разбиений на фрагменты, а полипептид **X** состоит из одинаковых аминокислот (а/к), полученные фрагменты отличаются только длиной: 1 а/к, 2 а/к и т.д. Поскольку **N = 9**, то максимальная длина фрагмента – 9 а/к.

Следовательно, длина полипептида **X** составляет $9 + 1 = \underline{10}$ а/к (так как реализуются все способы разбиений, то фрагмент максимальной длины можно получить, только отрезав от исходной молекулы фрагмент минимальной длины).

2. Поскольку исходный полипептид **Y** состоит из 8 разных аминокислот, то, разрезая его молекулу всеми возможными способами, мы можем получить:

8 фрагментов длиной 1 а/к (режутся все связи между отдельными аминокислотами);
 $8 - 1 = 7$ фрагментов длиной 2 а/к (число способов выбрать 2 рядом стоящих символа в последовательности из 8 элементов);
 $8 - 2 = 6$ фрагментов длиной 3 а/к (по аналогии);
 $8 - 3 = 5$ фрагментов длиной 4 а/к (по аналогии);
 $8 - 4 = 4$ фрагмента длиной 5 а/к (по аналогии);
 $8 - 5 = 3$ фрагментов длиной 6 а/к (по аналогии);
 $8 - 6 = 2$ фрагментов длиной 7 а/к (по аналогии).

Таким образом, общее число вариантов фрагментов равно

$$N_{\max} = 8 + 7 + 6 + 5 + 4 + 3 + 2 = 8(8 + 1)/2 - 1 = \underline{35} = \sum_2^8 k.$$

3. В молекуле полипептида **X** длиной 10 а/к всего 9 связей между последовательно соединенными аминокислотами. По условию, одновременно могут разорваться только 2 из них. Следовательно, существует $C_9^2 = 9! / ((9 - 2)!2!) = 8 \cdot 9 / 2 = \underline{36}$ способов выбрать 2 неразличимых позиции из 9 возможных.
4. При реализации всех способов фрагментации **X** при $k = 2$ получаются **8** отличающихся по длине фрагментов: минимальный фрагмент содержит 1 а/к, максимальный – 8 (так как при условии разрыва двух связей мы не можем отрезать менее, чем 2 а/к).
5. Рассмотрим все возможные способы фрагментации молекулы полипептида **X**, при которых одновременно происходит разрыв 2 связей. Обозначим далее индексом фрагмента его длину: F_1 – 1 а/к, F_2 – 2 а/к и т.д. Тогда:

Итоговые фрагменты	Способы	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8
$F_8 + F_1 + F_1$	3	6							3
$F_7 + F_2 + F_1$	6	6	6					6	
$F_6 + F_2 + F_2$	3		6				3		
$F_6 + F_3 + F_1$	6	6		6			6		
$F_5 + F_3 + F_2$	6		6	6		6			
$F_5 + F_4 + F_1$	6	6			6	6			
$F_4 + F_3 + F_3$	3			6	3				
$F_4 + F_4 + F_2$	3		3		6				
Итого									
$F_8 + \dots + F_1$	36	24	21	18	15	12	9	6	3

Таким образом, $F_1:F_2:F_3:F_4:F_5:F_6:F_7:F_8 = \underline{8:7:6:5:4:3:2:1}$.

6. Для полипептида **Y**

k = 1 Молекулу из 8 разных аминокислот мы можем разрезать в 7 местах, при этом получим

N = 7·2 = 14 разных по длине и/или составу фрагментов.

$$N = 2(F_7) + 2(F_6) + 2(F_5) + 2(F_4) + 2(F_3) + 2(F_2) + 2(F_1) = \underline{14}.$$

k = 2 При реализации всех способов фрагментации минимальный по длине фрагмент содержит 1 а/к, максимальный – 6 (т. к. при условии разрыва 2 связей мы не можем отрезать менее, чем 2 а/к), и получаются все возможные по составу фрагменты таких длин (см. ответ на вопрос 2):

$$N = 3(F_6) + 4(F_5) + 5(F_4) + 6(F_3) + 7(F_2) + 8(F_1) = \sum_3^8 k = 8 \cdot 9/2 - 2 \cdot 3/2 = \underline{33}.$$

$$\underline{k = 3} \quad \text{По аналогии, } N = 4(F_5) + 5(F_4) + 6(F_3) + 7(F_2) + 8(F_1) = \sum_4^8 k = 8 \cdot 9/2 - 3 \cdot 4/2 = \underline{30}.$$

$$\underline{k = 4} \quad \text{По аналогии, } N = 5(F_4) + 6(F_3) + 7(F_2) + 8(F_1) = \sum_5^8 k = 8 \cdot 9/2 - 4 \cdot 5/2 = \underline{26}.$$

$$\underline{k = 5} \quad \text{По аналогии, } N = 6(F_3) + 7(F_2) + 8(F_1) = \sum_6^8 k = 8 \cdot 9/2 - 5 \cdot 6/2 = \underline{21}.$$

$$\underline{k = 6} \quad \text{По аналогии, } N = 7(F_2) + 8(F_1) = \sum_7^8 k = 8 \cdot 9/2 - 6 \cdot 7/2 = \underline{15}.$$

k = 7 Молекулу из 8 разных аминокислот мы можем разрезать в 7 местах одновременно только одним способом, получая при этом фрагменты длиной 1 а/к: **N** = 8.

7. Число фрагментов, на которые распадается полипептид **Y**, максимально при **k** = 2.

Решение задачи 8. Тетраэдрические фуллерены (20 баллов)

1. 1б (3,3); 1в (4,3); 1г (5,0), (2,0); 1д (3,3), (1,1).

2. Семейство I: **m**₁ = 0. Семейство IV: **m**₁ = **m**₂ = 0.

Семейство II: **n**₁ = **m**₁ = **n**. Семейство V: **n**₁ = **m**₁, **n**₂ = **m**₂.

3.

1) Длина вектора $R_1 = r\sqrt{n_1^2 + m_1 n_1 + m_1^2}$ (здесь **r** – длина единичного радиус-вектора). Значит, «большой» треугольник имеет площадь $S_{R_1} = 0,5R_1^2 \sin 60^\circ$.

2) Длина вектора $R_2 = r\sqrt{n_2^2 + m_2 n_2 + m_2^2}$. Значит, «малый» треугольник имеет площадь $S_{R_2} = 0,5R_2^2 \sin 60^\circ$.

3) Следовательно, общая площадь усеченного тетраэдра составляет $S = 0,5 \sin 60^\circ (4R_1^2 - 8R_2^2)$ (4 площади «больших» треугольников минус (12 – 4 = 8) площадей «малых» треугольников, принадлежащих отсекаемым тетраэдрам).

4) В свою очередь, один атом углерода в графене приходится на площадь, равную $S_C = 0,5r^2 \sin 60^\circ$.

5) Тогда общее число атомов в фуллере любого типа составляет
 $N = S/S_C = 4R_1^2 - 8R_2^2 = 4(n_1^2 + m_1n_1 + m_1^2) - 8(n_2^2 + m_2n_2 + m_2^2)$. => (6) ТТ)

а) Т как частный случай ТТ: $n_2 = 1, m_2 = 0$ $N = 4(n^2 + nm + m^2) - 8$.

4. $n_2 = 1, m_2 = 0$

5. 16 (3,3): $N = 12 \cdot 3^2 - 8 = \underline{100}$.

1в (4,3): $N = 4(4^2 + 4 \cdot 3 + 3^2) - 8 = \underline{140}$.

1г (5,0), (2,0): $N = 4 \cdot (5^2 + 5 \cdot 0 + 0^2) - 8 \cdot (2^2 + 2 \cdot 0 + 0^2) = \underline{68}$.

1д (3,3), (1,1): $N = 12 \cdot 3^2 - 24 \cdot 1^2 = \underline{84}$.

6. Фуллерены семейства IV получаются отсечением малых тетраэдров, задаваемых парой коэффициентов $(n_2, 0)$, от тетраэдрических фуллеренов семейства I, задаваемых парой коэффициентов $(n_1, 0)$. Причем, от ребра «большого» треугольника мы всегда отнимаем два ребра «малых» треугольников. Чтобы фуллерен IV семейства существовал, необходимо, чтобы оставшийся фрагмент ребра «большого» треугольника имел длину как минимум $1r$ (приходится на сопряженные пятиугольники): $n_1 - 2n_2 \geq 1$. Следовательно, $n_2 \leq 0,5(n_1 - 1)$.

Поскольку $n_2 \geq 2$ (при $n_2 = 1$ – семейство I), то «породить» фуллерены IV семейства могут только фуллерены I семейства с $n_1 \geq 5$.

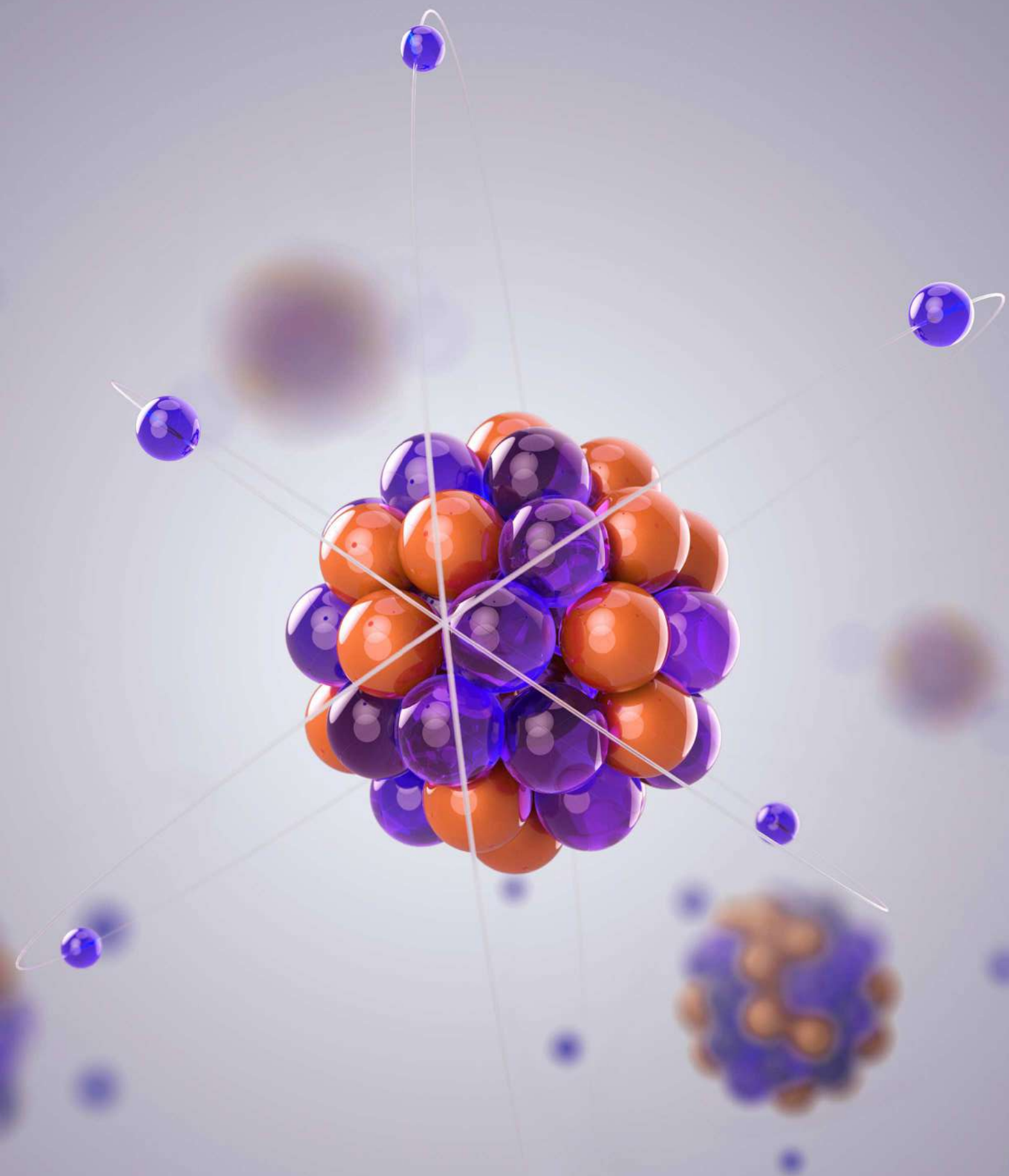
Каждому такому фуллерену соответствует $k = \left\lfloor \frac{n_1 - 1}{2} \right\rfloor - 1$ фуллеренов IV семейства.

7.

а) а) $N = 4a^2 - 8 = 12b^2 - 8$, где a – параметр, задающий фуллерен семейства I, b – фуллерен семейства II. $a^2 = 3b^2$ – данное уравнение решения в целых неотрицательных числах не имеет.

б) $N = 4a^2 - 8 = 4(b^2 + bc + c^2) - 8$, где a – параметр, задающий фуллерен семейства I, b, c – фуллерен семейства III.

$a^2 = b^2 + bc + c^2$ $a^2 = (b + c)^2 - bc$ $a^2 - (b + c)^2 + bc = 0$ $(a - b - c)(a + b + c) + bc = 0$	Пусть $b + c = a$, тогда $bc = 0$. Пусть $b + c < a$, тогда $bc < 0$. Пусть $b + c > a$ – есть решения. Пусть $b + c = a + 1$, тогда $a + b + c = bc$ $2a + 1 = bc$ $a = (bc - 1)/2$	$b + c = (bc - 1)/2 + 1$ $b = (1 - 2c)/(2 - c)$ $c = 1, b = -1$ $c = 2, b = -3/0$ <u>$c = 3, b = 5, a = 7, N = 188$</u>
---	---	--



XIII Всероссийская Интернет-олимпиада по нанотехнологиям
"Нанотехнологии – прорыв в будущее!"
2018-2019