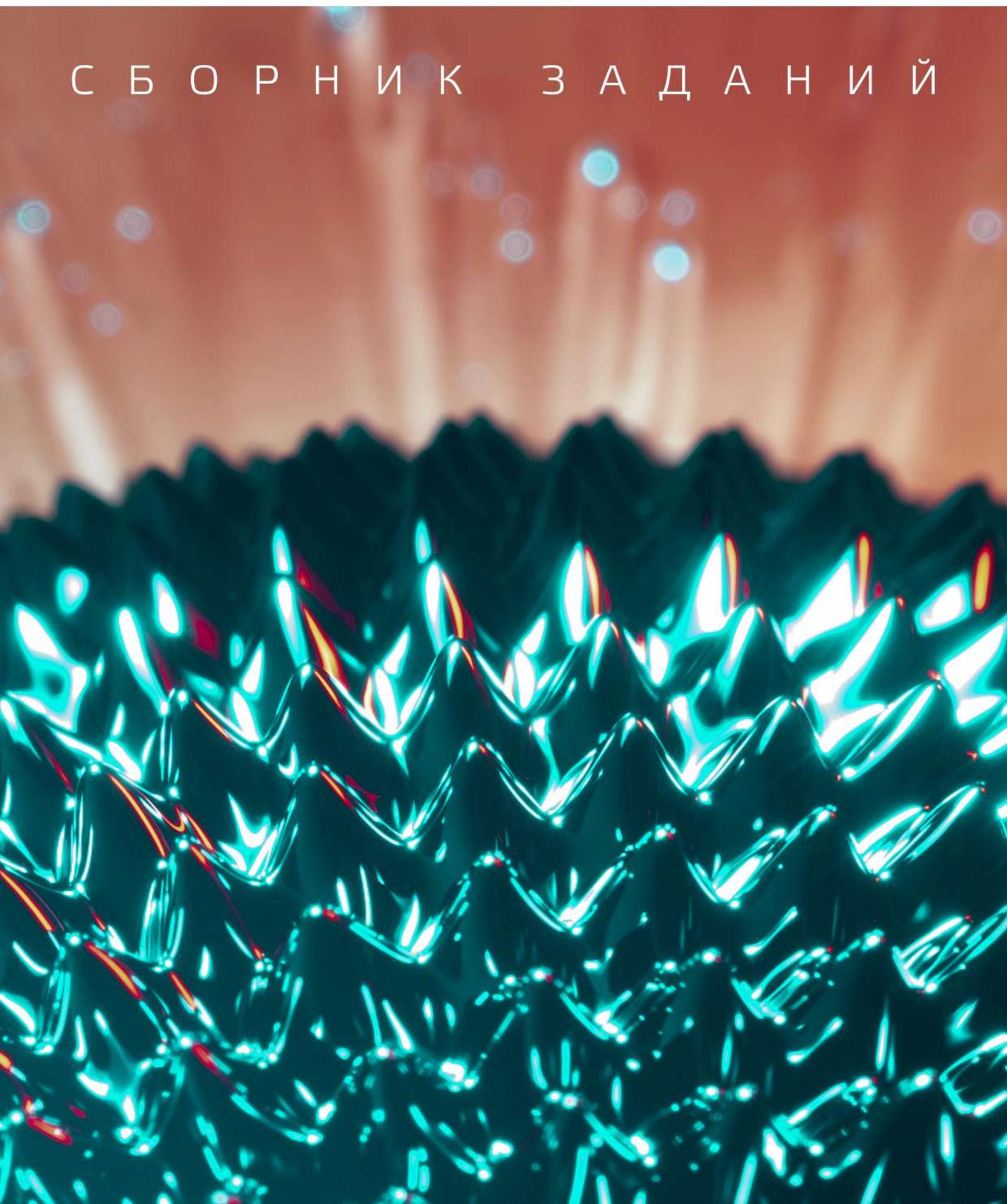




С Б О Р Н И К З А Д А Н И Й



Авторами заданий являются научные сотрудники и преподаватели химического, физического, биологического факультетов, факультета наук о материалах МГУ имени М.В.Ломоносова и других организаций, привлеченных 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
Браже Алексей Рудольфович
Браже Надежда Александровна
Григорьева Анастасия Вадимовна
Гудилин Евгений Алексеевич
Дроздов Андрей Анатольевич
Еремин Вадим Владимирович
Коробов Михаил Валерьевич
Жигунов Денис Михайлович
Макеева Екатерина Анатольевна
Никельшпарг Эвелина Ильинична
Павликов Александр Владимирович
Паршина Евгения Юрьевна
Слатинская Ольга Вадимовна
Юсипович Александр Иванович

Содержание

Конкурс тьюторов	7
Задание	8
National Student Team Contest	9
Задание	10
Просто о сложном	12
Задание	14
Гениальные мысли	15
Задание	16
Юный эрудит	18
Нанотрубки в стихах	21
Решение (Нанотрубки в стихах)	22
Углеродный многоугольник	23
Решение (Углеродный многоугольник)	24
Фуллереновая матрешка	25
Решение (Фуллереновая матрешка)	26
Удивительный Лунтик	27
Решение (Удивительный Лунтик)	28
Окраска стекол	29
Решение (Окраска стекол)	31
Структура определяет свойства	32
Решение (Структура определяет свойства)	34
Целочисленная наноматематика	36
Решение (Целочисленная наноматематика)	37
Сокровища маленького гнома	38
Решение (Сокровища маленького гнома)	40
Кто быстрее?	41
Решение (Кто быстрее?)	42
Золото в стекле	43
Решение (Золото в стекле)	44
Животные - нанотехнологи	45
Решение (Животные - нанотехнологи)	46
Кое-что общее	48
Решение (Кое-что общее)	49
Прививка для друзей	50
Решение (Прививка для друзей)	51
Нанокроссворд	52
Решение (Нанокроссворд)	54
Физика для школьников	56
Разобрать фуллерен за 50 фемтосекунд	59
Решение (Разобрать фуллерен за 50 фемтосекунд)	60

Нанопропеллер	61
Решение (Нанопропеллер)	62
Наноприемники ИК-излучения	63
Решение (Наноприемники ИК-излучения)	64
Масс-спектрометрия	65
Решение (Масс-спектрометрия)	66
Сопротивление нанотрубки	68
Решение (Сопротивление нанотрубки)	69
Ток через конденсатор	70
Решение (Ток через конденсатор)	71
Что прочнее?	72
Решение (Что прочнее?)	73
Подвижные наночастицы	75
Решение (Подвижные наночастицы)	76
Лазерный перенос наночастиц	77
Решение (Лазерный перенос наночастиц)	78
Наномяч	79
Решение (Наномяч)	80
Математика для школьников	83
Практические нанотехнологии 18 века: опыт Бенджамин Франклина	86
Решение (Практические нанотехнологии 18 века: опыт Бенджамин Франклина)	87
Полимеразная цепная реакция	88
Решение (Полимеразная цепная реакция)	89
Рассматривая двумерный углерод - net-Y	91
Решение (Рассматривая двумерный углерод - net-Y)	92
Симметричные фуллерены: C ₂₀ , C ₂₀₀₀ и C ₂₀₂₀	95
Решение (Симметричные фуллерены: C ₂₀ , C ₂₀₀₀ и C ₂₀₂₀)	96
От фуллеренов к боросференам	99
Решение (От фуллеренов к боросференам)	100
Нанопружинка	101
Решение (Нанопружинка)	102
Строим полые кластеры из металла	103
Решение (Строим полые кластеры из металла)	105
Моделирование металлических нанотрубок	111
Решение (Моделирование металлических нанотрубок)	113
Золотое веретено	115
Решение (Золотое веретено)	116
Закрытые углеродные нанотрубки	119
Решение (Закрытые углеродные нанотрубки)	121
Химия для школьников	123
Синтез нанопорошка	126
Решение (Синтез нанопорошка)	127

Синтез в сверхкритической воде	128
Решение (Синтез в сверхкритической воде)	129
Превращение минерала в наночастицы	130
Решение (Превращение минерала в наночастицы)	131
Нитрид кремния	132
Решение (Нитрид кремния)	133
Нанонити	136
Решение (Нанонити)	137
Графеновые мембраны	139
Решение (Графеновые мембраны)	140
Желтое вещество	141
Решение (Желтое вещество)	142
Золотое безумие	143
Решение (Золотое безумие)	144
Древнерусские пигменты	145
Решение (Древнерусские пигменты)	146
Синтез двух фуллеренов	147
Решение (Синтез двух фуллеренов)	148
Биология для школьников	151
Как заглянуть в клетку	154
Решение (Как заглянуть в клетку)	156
Болезни кентавров	157
Решение (Болезни кентавров)	158
Зуб отшельника	159
Решение (Зуб отшельника)	160
Группы крови. Люди и их питомцы	161
Решение (Группы крови. Люди и их питомцы)	163
Сел и поехал	165
Решение (Сел и поехал)	166
Волшебный Зверь Оця	167
Решение (Волшебный Зверь Оця)	168
Минипут или лилипут?	169
Решение (Минипут или лилипут?)	170
Клинические испытания	172
Решение (Клинические испытания)	173
Кроссворд «Аллель»	174
Решение (Кроссворд «Аллель»)	175
Бактерии-переростки	176
Решение (Бактерии-переростки)	177
Конкурс наставников "Наноэлементы"	178
Конкурс наставников "Наноэлементы"	178
Решение (Конкурс наставников "Наноэлементы")	182
Викторина по математике для школьников	185

Викторина по математике для школьников	185
Решение (Викторина по математике для школьников)	192
Викторина по физике для школьников	194
Викторина по физике для школьников	194
Решение (Викторина по физике для школьников)	200
Викторина по биологии для школьников	205
Викторина по биологии для школьников	205
Решение (Викторина по биологии для школьников)	211
Викторина по химии для школьников	216
Викторина по химии для школьников	216
Решение (Викторина по химии для школьников)	223
Задания заключительного этапа	226



Конкурс тьюторов

Конкурс Тьюторов

Категория участников: педагоги общеобразовательных организаций и организаций дополнительного образования детей, преподаватели высшей школы

Конкурс тьюторов проектной деятельности школьников. Конкурс проводится совместно с Автономной некоммерческой организацией «Электронное образование для наноиндустрии» и проектом «Стемфорд» (eNANO, ФИОП, группа РОСНАНО).

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.

Условиями участия в конкурсе являются:

1. Прохождение трека курсов на платформе онлайн-обучения Стемфорд: <https://stemford.org/contest?id=6410690722451354516>
2. Подготовка и сопровождение участников конкурса проектных работ школьников XIV Олимпиады по нанотехнологиям "[Гениальные мысли](#)"
3. Загрузка заявки по форме, размещенной ниже в файле с заданием.



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

Файл заявки в формате pdf необходимо загрузить на сайт Олимпиады <http://enanos.nanometer.ru> в раздел Конкурсы – «Конкурс тьюторов», предварительно создав личный профиль на сайте Олимпиады или отредактировав (обновив) существующий.

- 1. Автор-руководитель проекта (не оценивается)**
Фамилия, имя, отчество куратора проекта полностью.
- 2. Организация, должность, ученая степень (не оценивается)**
Указывается текущий статус в настоящий момент, место работы, должность и ученая степень (при наличии).
- 3. Перечень достижений в науке, технике, образовании, работе со школьниками, опыт образовательной деятельности (до 10 баллов)**
Краткое жизнеописание. Объем – до 1000 знаков.
- 4. Координаты для связи (не оценивается)**
Телефон, адрес электронной почты, сайт, соцсети (при наличии).
- 5. Наличие сертификата о прохождении специального трека курсов на платформе онлайн-обучения Стемфорд (20 баллов)**
Участнику необходимо загрузить сертификат, полученный после прохождения специального трека курсов на платформе онлайн-обучения Стемфорд <https://stemford.org/contest?id=6410690722451354516>.
- 6. Подготовка и сопровождение участников конкурса проектных работ школьников «Гениальные мысли» (до 20 баллов)**
Предоставить список школьников, подготовленных для участия в конкурсе проектных работ «Гениальные мысли» XIV Олимпиады по нанотехнологиям. Учитель / преподаватель, который подготовил школьников, загрузивших авторефераты своих работ на конкурс «Гениальные мысли» (<http://enanos.nanometer.ru/contest/47>), будет отмечен дополнительными баллами, но не более 5 баллов за каждую заявку школьника, отправленную на конкурс. Школьники при подаче заявки на конкурс проектных работ в п.1 автореферата указывают ФИО подготовившего их учителя / преподавателя. Информация, указанная школьником при подаче заявки на конкурс «Гениальные мысли» и учителем / преподавателем при загрузке заявки на конкурс тьюторов, должна совпадать.

Всего – 50 баллов



National Student Team Contest

National Student Team Contest

Категория участников: студенты и аспиранты

The competition among bachelor, master and PhD 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 or other related events.

Задание

The National Student Team Contest is a national stage of the International Olympiad on Nanotechnology (International NanoOlympiad, INO) having a goal to select a winner 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 1st INO has been conducted in April of 2018 in Tehran by Iran, Russia, South Korea, Germany, Great Britain, Malaysia, Taiwan with a growing number of new countries joining the INO society. According to a decision of the INO Steering Committee, the INO takes place once in each two years with an intermediate training of the student teams within a special international event associated with INO. In 2019, the International young scientist forum IYSF has been selected as such an event within the 12th Conference on Particle Nanotoxicology in Salzburg, Austria. The Second INO is scheduled to be held in Sultan Qaboos University (SQU) in Oman in January of 2021 and the theme of the event will be "Energy and Environment". Correspondingly, a preselection to INO2021 and selection to intermediate international training event will be performed in 2020 in the frame of NSTC competition of the XIV Russian National Olympiad on Nanotechnology.

The INO is a complex mixed annual collaborative international event which holds an international competition among university level students (Appendix 1 and 2) and could combine a pre-olympic scientific conference for young scientists (Appendix 3) 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



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).



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, 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, информация о руководителе. (1 балл)

Укажите название работы, а также сведения о научном руководителе работы (ФИО полностью, должность, место работы). 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 в Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова.

Задания

1. Нанотрубки в стихах

Завершите каждое четверостишие. 1. Нанотрубке она Придаёт уникальность. Это свёртки длина, Что зовётся 2. Как на свойства влияет Можно выразить так: Слабо ток пропускает - Тип у трубки - ... 3. Проводимость металла Детектируют если, Про источник сигнала Говорят как о

2. Углеродный многоугольник

Ученые из Оксфордского университета и лаборатории IBM в Цюрихе экспериментально обнаружили новую модификацию углерода: карбиновое кольцо, о чем сообщили в статье, опубликованной в журнале Science. Эта модификация представляет собой 18-угольник из атомов углерода...

3. Фуллереновая матрешка

Рассмотрим некоторое семейство высокосимметричных фуллеренов, общее число атомов углерода в которых можно представить в виде $N = 20(n^2 + nm + m^2)$, где n и m - некоторые целые неотрицательные числа. На рис. в файле задачи представлена фуллереновая матрешка...

4. Удивительный Лунтик

Сказочное существо Лунтик — герой мультиков, любимый многими детьми. Он родился (вылупился из яйца) на Луне и свалился на Землю, где и остался жить. Кроме того, что он

очень добрый, он обладает рядом удивительных качеств, которые делают его совершенно уникальным существом...

5. Окраска стекол

Окраска стекол в желтый, оранжевый и красный цвет может быть достигнута образованием в них наночастиц металлов и полупроводников. Стекла, окрашиваемые наночастицами сульфида и селенида кадмия, стали массово производить только в XX веке...

6. Структура определяет свойства

Перед вами два списка: первый содержит микрофотографии структуры неких материалов, а второй демонстрирует свойства, определяемые этой микроструктурой. Соотнесите объекты из двух списков, опишите взаимосвязь между демонстрируемым свойством и структурой...

7. Целочисленная наноматематика

Дайте ответ в виде натурального числа на следующие вопросы (рисунки в начале задачи помогут вам вспомнить необходимые геометрические формы). а) Какова сумма двух чисел x и y , зашифрованных в выражении $1 \text{ м} = 10^x \text{ мкм} = 10^y \text{ нм}$? б) Сколько десятков ангстрем в нанометре?...

8. Сокровища маленького гнома

Наногномик Вася добыл нанокристаллы золота и серебра и, прежде чем поместить их в сокровищницу, решил узнать, нанокристаллы какой формы у него есть. Для этого он при помощи электронного микроскопа сделал микрофотографии новой партии...

9. Кто быстрее?

Какая из двух наночастиц, помещенных одновременно в пробирку с водой, быстрее осядет на дно: золотая ($\rho_1 = 19.3 \text{ г/см}^3$) радиусом $r_1 = 60 \text{ нм}$ или кремниевая ($\rho_2 = 2.3 \text{ г/см}^3$) радиусом $r_2 = 240 \text{ нм}$? Можно ли изменить порядок осаждения этих наночастиц путем замены жидкости в пробирке?..

10. Золото в стекле

В стекле "золотой рубин" по данным химического анализа обнаружено золото в количестве 50 ppm (50 частей на миллион) по массе. Используя фотографию одной из

наночастиц и считая ее сферической, оцените: а) число наночастиц в одном кубическом сантиметре стекла...

11. Животные - нанотехнологи

1. Какие из указанных на рисунке животных используют «нанотехнологические» приспособления? 2. Укажите, какие именно это приспособления (структуры частей тела) и как они используются животными...

12. Кое-что общее

В файле задачи представлено 4 изображения А - Г. 1. Напишите, что изображено на каждой из размещенных картинок. 2. Подумайте, что общего у этих объектов в названии? Почему они называются именно так?..

13. Прививка для друзей

Изобретение прививок позволило человечеству справиться со многими болезнями, значительно улучшив качество жизни и продлив ее срок. Несмотря на всю пользу прививок многие дети их боятся, в результате чего писатели и мультипликаторы создают различные рассказы и мультфильмы...

14. Нанокроссворд

По горизонтали. 3. Рис. 3г, самый легкий металл, основа для 11г. 4. Рис. 4г, лауреат Нобелевской премии по химии 2019 года, автор 12в для 11г. 6. Рис. 6г, материал для электрода в 11г, противоположного 12в. 11. Рис. 11г, неотъемлемый элемент большинства современных гаджетов...



Юный эрудит (заочный тур)
Задача 1. Нанотрубки в стихах

Завершите каждое четверостишие.

1. Нанотрубке она
Придаёт уникальность.
Это свёртки длина,
Что зовётся
(1 балл)
2. Как на свойства влияет
Можно выразить так:
Слабо ток пропускает –
Тип у трубки –
(1 балл)
3. Проводимость металла
Детектируют если,
Про источник сигнала
Говорят как о
(1 балл)
4. Если трубки послойно
Сидят как одёжка,
То конструкция стройно
Зовётся
(1 балл)
5. Если лист графена скручен
Как ракушка у улиток,
Нанотрубку мы получим
Со структурой типа
(1 балл)

Всего – 5 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 1. Нанотрубки в стихах

Завершите каждое четверостишие.

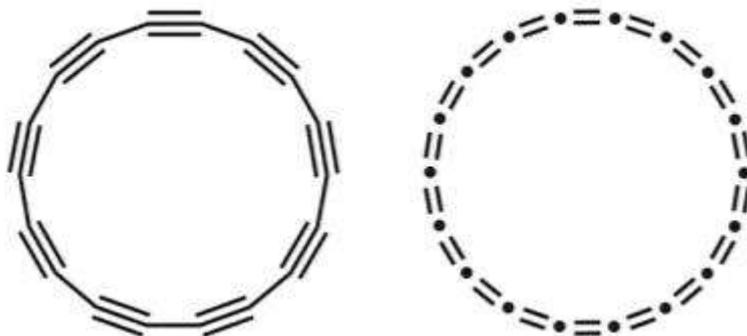
1. Нанотрубке она
Придаёт уникальность.
Это свёртки длина,
Что зовётся **хиральность**.
2. Как на свойства влияет
Можно выразить так:
Слабо ток пропускает –
Тип у трубки – **зигзаг**.
3. Проводимость металла
Детектируют если,
Про источник сигнала
Говорят, как о **кресле**.
4. Если трубки послойно
Сидят как одежда,
То конструкция стройно
Зовётся **матрёшка**.
5. Если лист графена скручен
Как ракушка у улиток,
Нанотрубку мы получим
Со структурой типа **свиток**.



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 2. Углеродный многоугольник

Ученые из Оксфордского университета и лаборатории IBM в Цюрихе экспериментально обнаружили новую модификацию углерода: карбиновое кольцо, о чем сообщили в [статье](#), опубликованной в журнале Science. Эта модификация представляет собой 18-угольник из атомов углерода. Авторы предложили две возможные структуры для молекулы – полииновую и кумуленовую:



*Рис.1. Возможные структуры циклической молекулы из 18 атомов углерода.
Katharina Kaiser et al. / Science, 2019*

1. Какая из структур называется полииновой, а какая кумуленовой? **(1 балл)**
2. С помощью циркуля, линейки и транспортира постройте правильный 18-угольник на бумаге. Кратко опишите последовательность действий. **(2 балла)**
3. Считая длины всех углеродных связей одинаковыми и равными 0.13 нм, найдите периметр 18-угольника с такой длиной стороны. **(1 балл)**
4. С помощью какого микроскопа удалось сделать это открытие? Можно ли обнаружить такое кольцо в современный оптический микроскоп? Ответ поясните. **(3 балла)**

Всего – 7 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

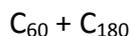
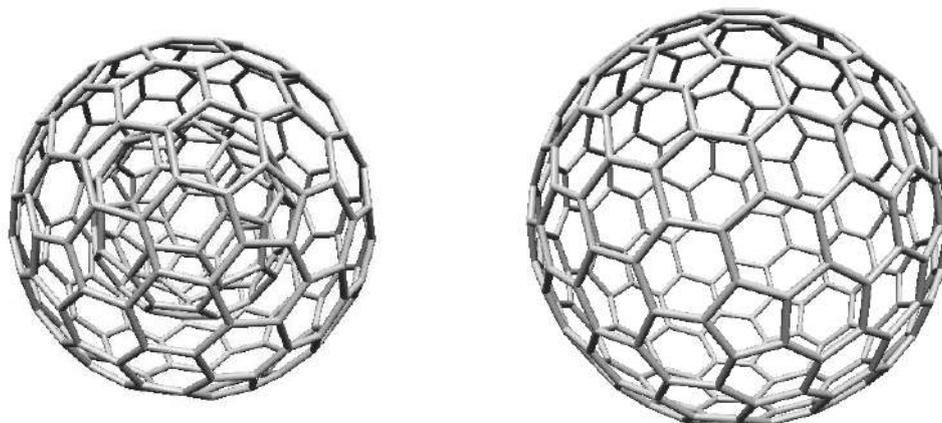
Решение задачи 2. Углеродный многоугольник

1. Левая структура – полииновая (чередующиеся одинарные и тройные связи), правая – кумуленовая.
2. Строим окружность произвольного радиуса. Далее нам нужно отложить угол в $360^\circ/18 = 20^\circ$ с помощью транспортира из центра окружности. Лучи пересекают окружность в 2-х точках. Соединив точки, получим одну из 18-ти сторон. Раствором циркуля можем отложить остальные стороны.
3. $P = 18 \cdot 0,13 \text{ нм} = 2,34 \text{ нм}$.
4. Даже самые современные оптические микроскопы не позволяют рассмотреть предметы, размеры которых меньше длины волны излучения. Это ограничение носит название дифракционного предела. Для видимого света этот предел составляет 200-300 нм, поэтому более мелкие предметы рассмотреть в оптический микроскоп нельзя.

Открытие углеродного восемнадцатигугольника было сделано с помощью атомно-силового микроскопа, который «прощупывает» тонким зондом поверхность. Чувствительность этого метода позволяет обнаружить на поверхности объекты толщиной в единицы и доли единиц нанометров.



Юный эрудит (заочный тур)
Задача 3. Фуллереновая матрешка



=



Рассмотрим некоторое семейство высокосимметричных фуллеренов, общее число атомов углерода в которых можно представить в виде

$$N = 20(n^2 + nm + m^2),$$

где n и m – некоторые целые неотрицательные числа.

1. На рисунке представлена фуллереновая матрешка, внутренний фуллерен которой состоит из 60 атомов, а внешний – из 180. Какие пары значений n и m отвечают каждому из них? **(2 балла)**

Фуллерены с одинаковым общим числом атомов N , но разными значениями n и m называются изомерами.

2. Известно, что существует фуллерен (см. рис.), изомерный рассматриваемой матрешке. Определите для него значения n и m . **(2 балла)**

Всего – 4 балла



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 3. Фуллереновая матрешка

1. По условию, общее число атомов углерода в каждом из икосаэдрических фуллеренов, формирующих матрешку, можно представить в виде

$$N = 20(n^2 + nm + m^2).$$

Тогда, чтобы найти (n, m) для «внутреннего» фуллерена матрешки, запишем уравнение:

$$\begin{aligned} 20(n^2 + nm + m^2) &= 60, \\ n^2 + nm + m^2 &= 3. \end{aligned}$$

Полученное число не является квадратом целого числа. Поскольку

$$1^2 < 3 < 2^2,$$

то, как минимум, один из параметров (n, m) равен 1:

$$\begin{aligned} 1^2 + 1 \cdot m + m^2 &= 3, \\ m + m^2 &= 2, \\ \text{следовательно, } n = m = 1 \quad (3n^2 = 3). \end{aligned}$$

Тогда, чтобы найти (n, m) для «внешнего» фуллерена матрешки, запишем уравнение:

$$\begin{aligned} 20(n^2 + nm + m^2) &= 180, \\ n^2 + nm + m^2 &= 9 = 3^2. \end{aligned}$$

Полученное уравнение имеет целочисленное решение только в том случае, когда один из параметров (n, m) равен нулю:

$$n = 3, m = 0 \text{ (или, что равноценно, } n = 0, m = 3).$$

2. Чтобы найти (n, m) для фуллерена, изомерного матрешке, запишем уравнение:

$$\begin{aligned} 20(n^2 + nm + m^2) &= 60 + 180 = 240, \\ n^2 + nm + m^2 &= 12 = 3 \cdot 2^2. \end{aligned}$$

$$\text{Значит, } n = m = 2.$$



Юный эрудит (заочный тур)
Задача 4. Удивительный Лунтик



Сказочное существо Лунтик — герой мультиков, любимый многими детьми. Он родился (вылупился из яйца) на Луне и свалился на Землю, где и остался жить. Кроме того, что он очень добрый, он обладает рядом удивительных качеств, которые делают его совершенно уникальным существом. Например, он живет на суше, но может и сколь угодно долго находиться под водой, умеет взбираться по совершенно гладким листикам растений, гуляет при любой температуре на улице и ему не страшен даже вакуум.

1. Пофантазируйте и напишите, какие особенности физиологии и клеточной биологии лежат в основе всех перечисленных способностей Лунтика. **(6 баллов)**
2. К какой таксономической группе животных Вы бы его отнесли? Ответ поясните. **(4 балла)**

Всего – 10 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 4. Удивительный Лунтик

1. Вопрос творческий и фантастический. Главное при ответе — это проявить знание физиологии и зоологии и логично обосновать свои предположения.

У Лунтика, по-видимому или большая жизненная емкость легких, или большая O_2 -связывающая способность гемоглобина на фоне высокой концентрации гемоглобина в крови, обеспечивающие ему длительное поступление кислорода в кровь из легких и из крови в ткани при нахождении в воде. Можно предположить, что у Лунтика вообще не кровь, а некоторая O_2 -связывающая жидкость, которая связывает и переносит намного больше кислорода, чем расходуется из крови на нужды клеток при жизни на суше. Еще возможный вариант, подтверждаемый способностью Лунтика находится в вакуумных условиях, – это полное отсутствие потребности клеток в кислороде. Например, все клетки могут получать энергию не за счет использования митохондриями кислорода, а за счет анаэробного процесса, например, гликолиза. Можно, конечно, предположить, что Лунтик под водой эффективно переходит с легочного дыхания на жаберное, а на суше жабры не пересыхают за счет густой особой шерсти Лунтика, прикрывающей жаберные щели. Умение карабкаться по гладким поверхностям у Лунтика может быть благодаря мельчайшим волоскам с присосками на кончиках, а способность гулять при любой температуре — за счет теплокровности и поддержания собственной температуры тела. Выживание в условиях вакуума может быть из-за высокой устойчивости тканей Лунтика к перепадам внешнего давления и полному отсутствию давления, а также за счет клеточной способности получать энергию в бескислородной среде.

2. Судя по фенотипическим особенностям Лунтика — шерсть, наличие щек и губ, количество конечностей, умение поддерживать свою температуру тела — он близок к млекопитающим, а то, что он вылупился из яйца, можно отнести к принадлежности Лунтика к ранним яйцекладущим млекопитающим.



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 5. Окраска стекол

Окраска стекол в желтый, оранжевый и красный цвет может быть достигнута образованием в них наночастиц металлов и полупроводников. Стекла, окрашиваемые наночастицами сульфида и селенида кадмия, стали массово производить только в XX веке.

Ниже приведены фотографии четырех объектов, выполненных из окрашенного стекла, таблица, в которой указаны возможные причины окраски стекол, и спектры поглощения стекол.



А



Б

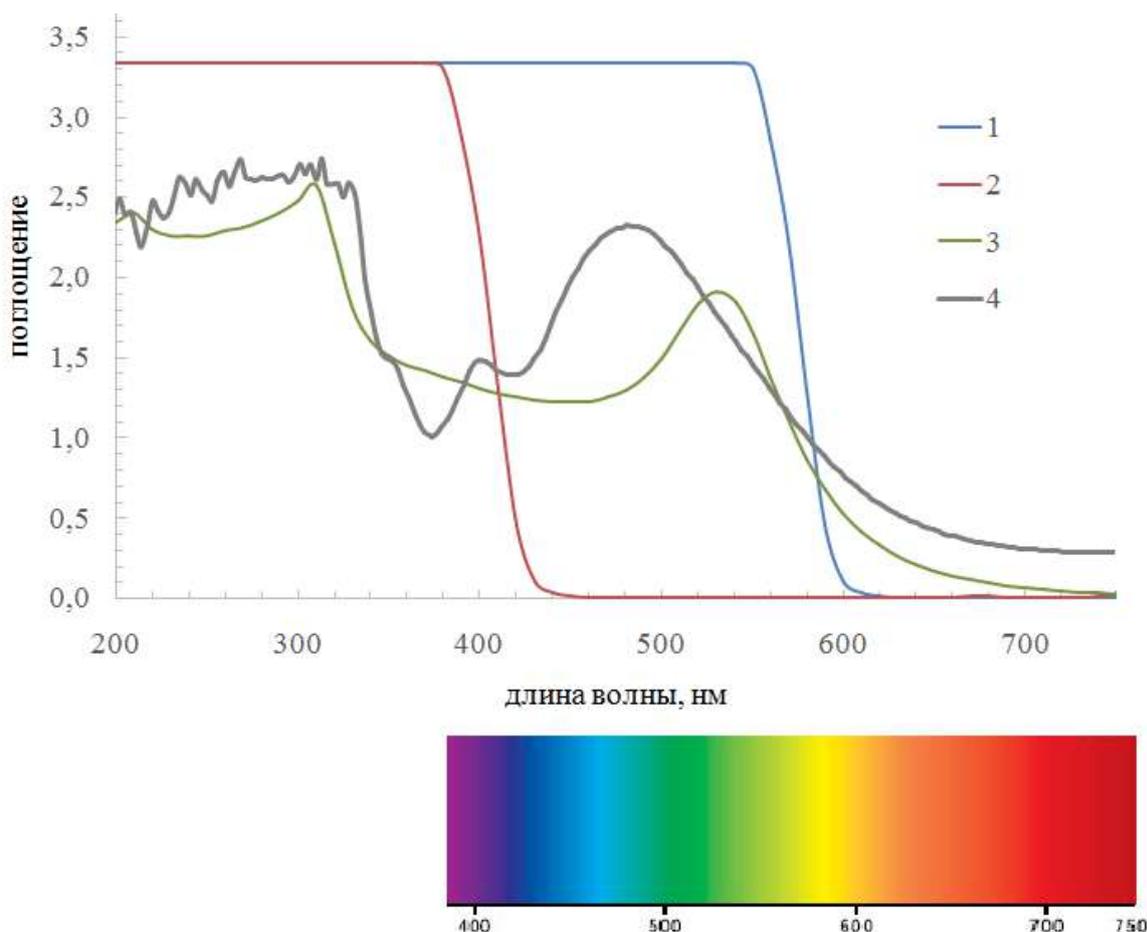


В



Г

	Краткое описание
I	Стекло содержит сферические наночастицы золота, дающие плазмонный резонанс
II	Стекло содержит биметаллические наночастицы формы, отличной от сферической, дающие плазмонный резонанс
III	Стекло содержит наночастицы с полупроводниковыми свойствами



Спектры поглощения (внизу приведена оптическая шкала)

Считайте, что все приведенные стекла содержат в себе наночастицы металлов или полупроводников.

Обратите внимание на то, что мы видим свет, который прошел сквозь стекло, то есть не был поглощен им.

Соотнесите названия объектов с фотографиями, спектрами и кратким описанием. Ответ оформите в виде найденного соответствия букв, римских и арабских цифр. **(6 баллов)**

Название предмета	Обозначение фото	Номер спектра	Номер краткого описания
Ваза из стекла "селеновый рубин"			
Ваза из желтого сульфидно-селенидного стекла			
Кубок Ликурга			
Кубок стекла "золотой рубин", рецептура Иоганна Кункеля, кон. XVII в			

Всего – 6 баллов



Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 5. Окраска стекол

Название предмета	Обозначение фото	Номер спектра	Номер краткого описания
Ваза из стекла "селеновый рубин"	А	1	III
Ваза из желтого сульфидно-селенидного стекла	Б	2	III
Кубок Ликурга	Г	4	II
Кубок стекла "золотой рубин", рецептура Иоганна Кункеля, кон. XVII в	В	3	I



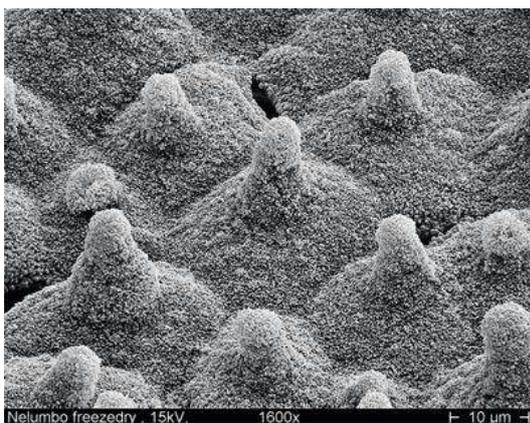
Юный эрудит (заочный тур)

Задача 6. Структура определяет свойства

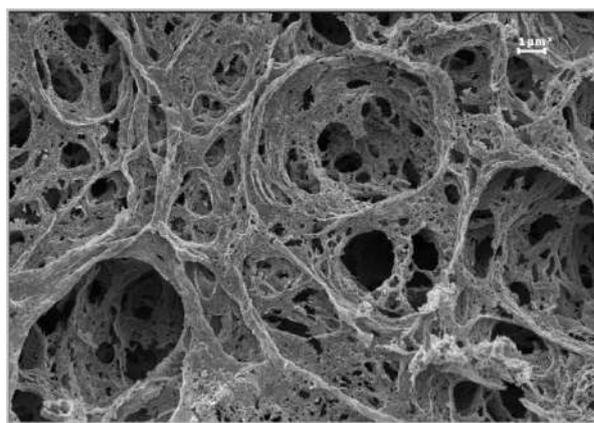
Перед вами два списка: первый содержит микрофотографии структуры неких материалов, а второй демонстрирует свойства, определяемые этой микроструктурой.

Соотнесите объекты из двух списков, опишите взаимосвязь между демонстрируемым свойством и структурой. Кратко объясните Ваш выбор. **(5 баллов)**

Материалы:



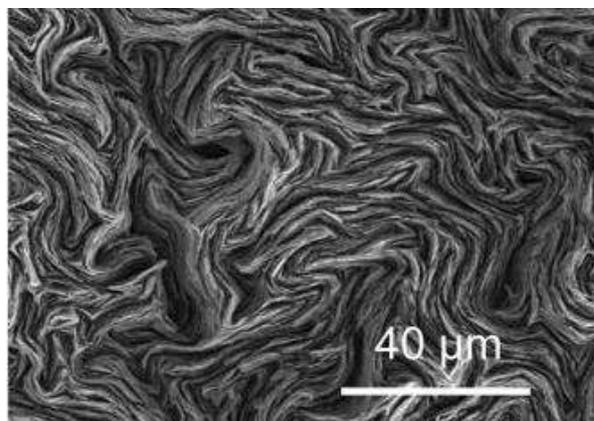
1



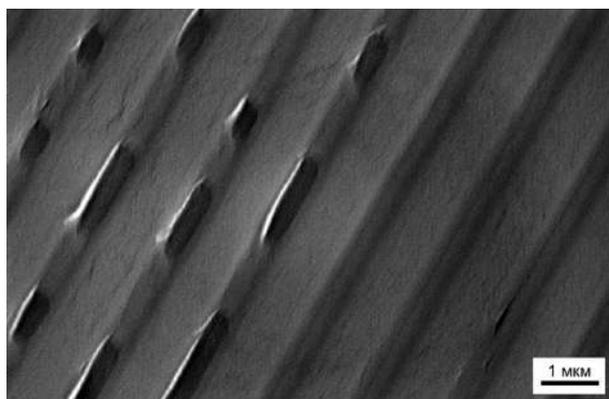
2



3



4



5

Свойства:



а



б



в



г



д

Всего – 5 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

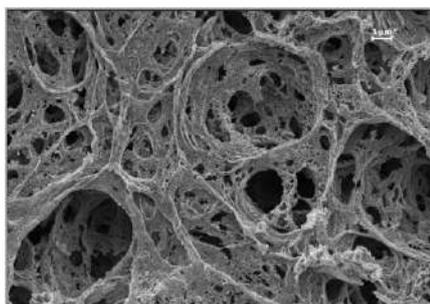
Решение задачи 6. Структура определяет свойства

1	2	3	4	5
д	а	б	в	г

- Микроструктура поверхности лотоса (1) определяет его супергидрофобность¹ (д):



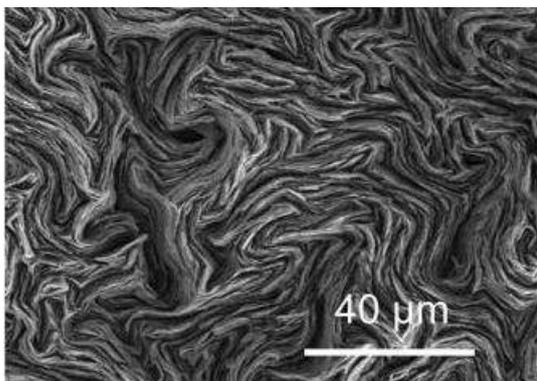
- Тонкие стенки и большие поры в объеме аэрогеля, наполненные воздухом (2), определяют его очень низкую теплопроводность и делают его превосходным термоизолятором (а):



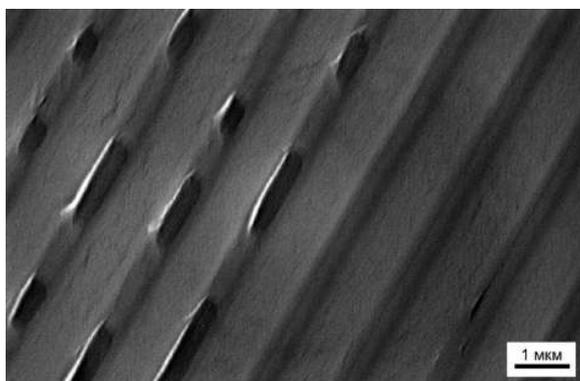
- Молекулярно бездефектная полая (трубчатая) структура (3) углеродных нанотрубок приводит к экстремальной прочности (б) при малой плотности материалов из них (трос космического лифта):



- Слоистая структура графита² (4) позволяет «отшелушивающимся» слоям грифеля легко оставлять след на бумаге (в):



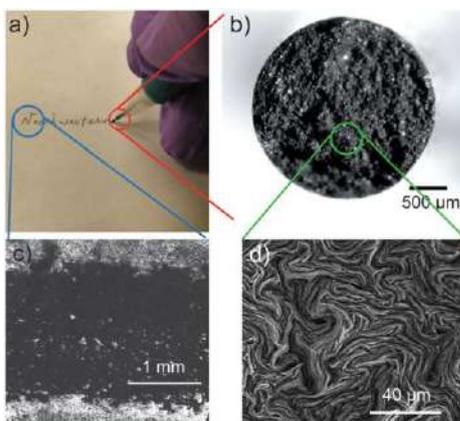
- Параллельные «канавки» CD-диска (5) определяют переливы цвета за счет интерференции на его поверхности (радужная окраска) (г):



Примечания:

¹см. Эффект лотоса на [Тезаурус РОСНАНО](#).

²Микрофотография графитового стержня и следа, оставляемого им на бумаге (Nature):



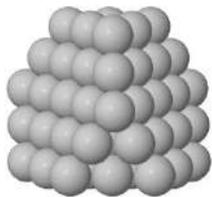


Юный эрудит (заочный тур)

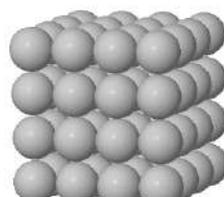
Задача 7. Целочисленная наноматематика



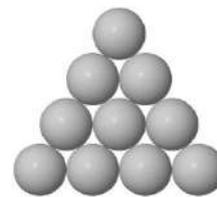
1



2



3



4



5



6



7



8

1. Дайте ответ в виде натурального числа на следующие вопросы (рисунки в начале задачи помогут вам вспомнить необходимые геометрические формы). **(6 баллов)**

- а) Какова сумма двух чисел x и y , зашифрованных в выражении $1 \text{ м} = 10^x \text{ мкм} = 10^y \text{ нм}$?
- б) Сколько десятков ангстрем в нанометре?
- в) Сколько ребер у нанокластера в форме пятиугольной бипирамиды (рис. 6)?
- г) Во сколько раз уменьшится площадь поверхности кубической наночастицы при уменьшении ее объема в 64 раза?
- д) Какова сумма номера этого вопроса по порядку и порядкового номера Олимпиады?
- е) Сколько атомов углерода в самом маленьком фуллерене, имеющем форму додекаэдра (рис. 7)?
- ж) Сколько ребер у нанокластера (рис. 2), который получается из правильного тетраэдра (рис. 1) путем отсечения от каждой из его вершин тетраэдра меньшего размера?
- з, л) Сколько атомов металла необходимо, чтобы составить нанокластер в форме правильного треугольника (рис. 4), у которого на ребро приходится шесть атомов?
- и) Сколько пятиугольных граней в бакиболе, имеющем форму футбольного мяча (рис. 8)?
- к) Сколько шестиугольных граней в бакиболе?
- м) Какова сумма числа вершин октаэдра (рис. 5) и числа его ребер?
- н) Сколько в бакиболе разных (то есть, не совпадающих ни при каких поворотах фигуры) вершин многогранника?

Ответ запишите в виде таблицы

а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к	л	м	н

2. Запишите слово, которое получается, если каждое из 13 полученных чисел заменить буквой алфавита (1 меняем на А, 2 меняем Б и т.д.). Что означает полученное Вами слово? Дайте определение. **(2 балла)**

Всего – 8 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 7. Целочисленная наноматематика

а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к	л	м	н
15	1	15	16	19	20	18	21	12	20	21	18	1
Н	А	Н	О	С	Т	Р	У	К	Т	У	Р	А

Наноструктура – совокупность наноразмерных объектов искусственного или естественного происхождения, свойства которой определяются не только размером структурных элементов, но и их взаимным расположением в пространстве. ([Тезаурус РОСНАНО](#))



Юный эрудит (заочный тур)
Задача 8. Сокровища маленького гнома

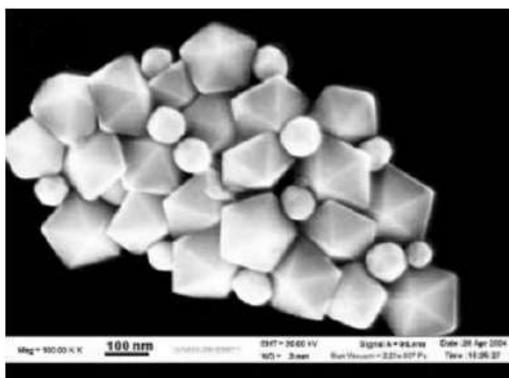


Наногномик Вася добыл нанокристаллы золота и серебра и, прежде чем поместить их в сокровищницу, решил узнать, нанокристаллы какой формы у него есть. Для этого он при помощи электронного микроскопа сделал микрофотографии новой партии.

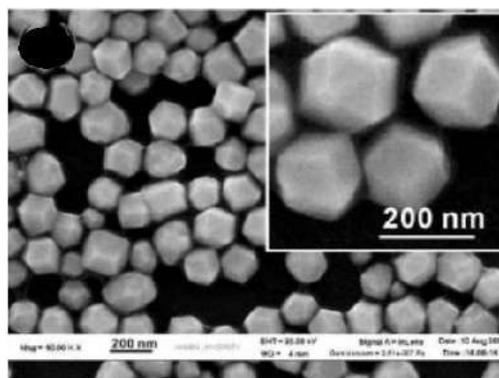
1. Помогите Васе рассортировать сокровища, выделив среди них:
 - а) самые симметричные, в виде Платоновых тел,
 - б) получившиеся из Платоновых тел при отсечении вершин,
 - в) все остальные.

Для каждой буквы – а, б, в – перечислите номера фотографий. **(5 баллов)**

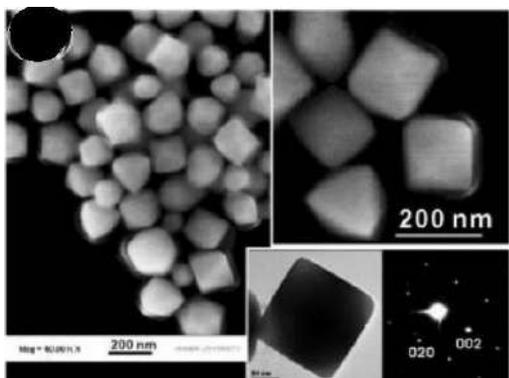
Золото



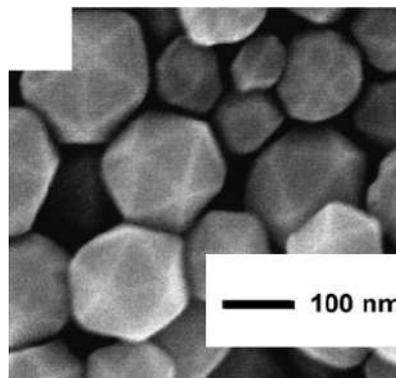
1



2

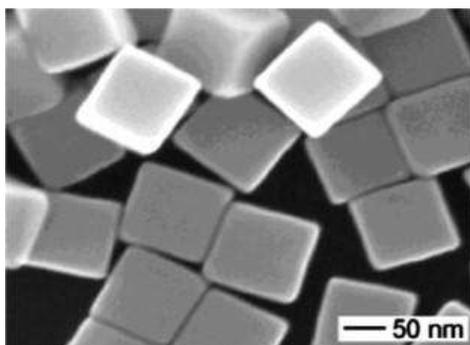


3

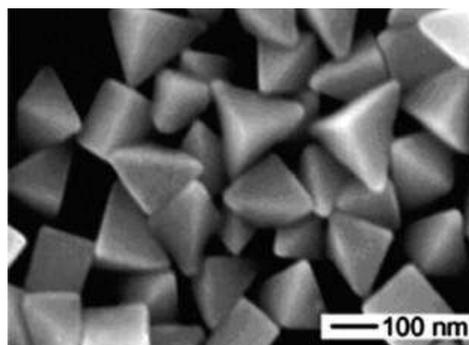


4

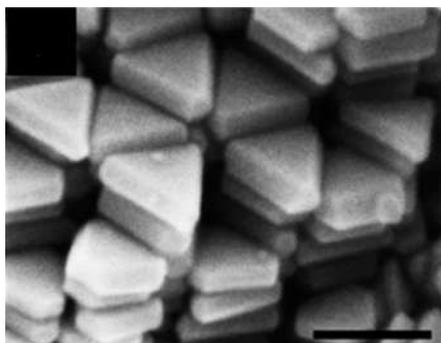
Серебро



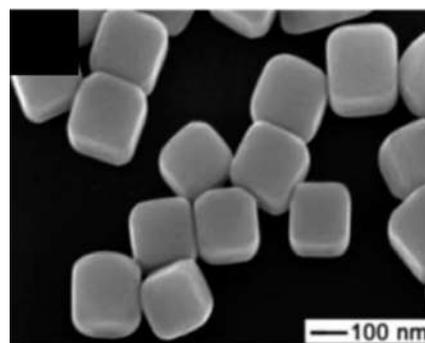
5



6

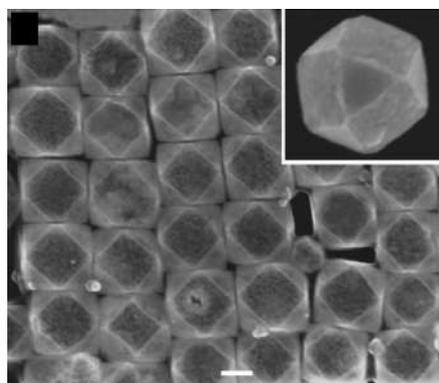


7

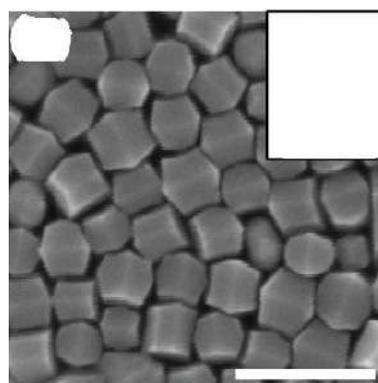


8

Серебро / золото



9

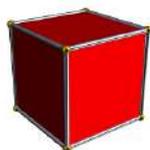


10

Платоновы тела



тетраэдр



куб



октаэдр



икосаэдр



додекаэдр

Всего – 5 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 8. Сокровища маленького гнома

1. Сокровища маленького гнома, имеющие форму Платоновых тел:
 - **№3** (золото) – октаэдр (вид сбоку – треугольники, вид сверху – квадрат),
 - **№4** (золото) – икосаэдр (вершины, в которых сходятся по пять ребер и форма, близкая к сферической),
 - **№5** (серебро) – куб,
 - **№6** (серебро) – тетраэдры (но есть и не равносторонние пирамидки).
2. Сокровища маленького гнома, получившиеся из Платоновых тел при отсечении вершин:
 - **№8** (серебро) – усеченный куб,
 - **№9** (серебро/золото) – кубооктаэдр как предельное (до соприкосновения ребер отсекаемых частей) усечение куба либо октаэдра.
3. Сокровища маленького гнома, не имеющие форму Платоновых тел или их усечений:
 - **№1** (золото) – пятиугольная бипирамида,
 - **№2** (золото) – ромбододекаэдр,
 - **№7** (серебро) – шестиугольная (усеченная треугольная) призма,
 - **№10** (серебро/золото) – многогранник с гранями-трапециями.



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 9. Кто быстрее?

1. Какая из двух наночастиц, помещенных одновременно в пробирку с водой, быстрее осядет на дно: золотая ($\rho_1 = 19.3 \text{ г/см}^3$) радиусом $r_1 = 60 \text{ нм}$ или кремниевая ($\rho_2 = 2.3 \text{ г/см}^3$) радиусом $r_2 = 240 \text{ нм}$? **(2 балла)**
2. Можно ли изменить порядок осаждения этих наночастиц путем замены жидкости в пробирке? **(4 балла)** Ответ обоснуйте.

Указание: в расчетах примите, что наночастицы движутся с установившейся скоростью и подчиняются закону Стокса.

Всего – 6 баллов



Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 9. Кто быстрее?

1. По закону Стокса сила сопротивления при движении наночастиц в жидкости:

$$F = -6\pi r\mu v$$

где r – радиус наночастиц, μ – вязкость жидкости, а установившаяся скорость (из равенства сил) равна:

$$v = \frac{2r^2g(\rho_{\text{нч}} - \rho_{\text{жидк}})}{9\mu}$$

Тогда для отношения скоростей установившегося движения двух частиц в воде будем иметь:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{r_1^2(\rho_1 - \rho_{\text{воды}})}{r_2^2(\rho_2 - \rho_{\text{воды}})}$$

Подставляя известные значения ($\rho_{\text{воды}} = 1 \text{ г/см}^3$), получаем: $\frac{v_1}{v_2} \approx 0.9$, т.е. быстрее осядет вторая наночастица.

2. Чтобы определить, получится ли поменять порядок осаждения этих наночастиц путем замены жидкости, необходимо решить неравенство относительно неизвестного $\rho_{\text{жидк}}$:

$$\frac{r_1^2(\rho_1 - \rho_{\text{жидк}})}{r_2^2(\rho_2 - \rho_{\text{жидк}})} > 1$$

Получаем: $\rho_{\text{жидк}} > 1.17 \text{ г/см}^3$, т.е. необходимо заменить воду на более плотную среду, например, глицерин (плотность при комнатной температуре 1.26 г/см^3).



Юный эрудит (заочный тур)

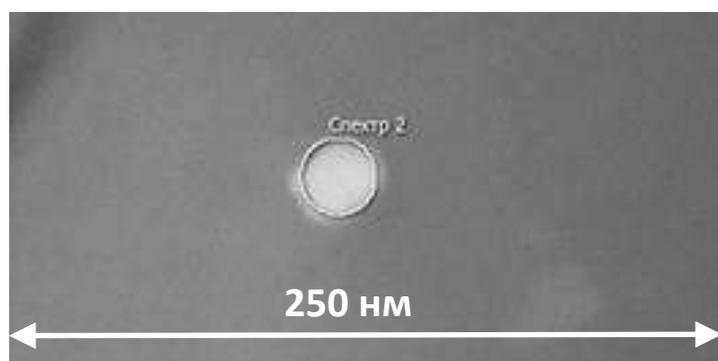
Задача 10. Золото в стекле

В стекле "золотой рубин" по данным химического анализа обнаружено золото в количестве 50 ppm (50 частей на миллион) по массе.

Используя фотографию одной из наночастиц и считая ее сферической, оцените:

- число наночастиц в одном кубическом сантиметре стекла; **(3 балла)**
- на каком расстоянии друг от друга расположены наночастицы золота в ламели (тонком срезе) стекла. **(5 баллов)**

Для расчетов плотность стекла примите равной 2500 кг/м^3 , а плотность золота 19300 кг/м^3 .



Всего – 8 баллов



Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 10. Золото в стекле

- а) По микрофотографии определим размер наночастицы в 28-30 нм. Для дальнейших расчетов будем использовать радиус НЧ $r=15$ нм.

Рассчитаем объем наночастицы: $V = 4/3 \pi r^3 = 14037 \text{ нм}^3 = 1,4 \cdot 10^{-23} \text{ м}^3$.

Рассчитаем массу наночастицы, используя плотность золота 19300 кг/м^3 :

$m(\text{НЧ}) = 1,4 \cdot 10^{-23} \text{ м}^3 \cdot 19300 \text{ кг/м}^3 = 2,7 \cdot 10^{-19} \text{ кг}$.

Возьмем $1 \text{ см}^3 = 10^{-6} \text{ м}^3$ стекла, его масса равна $m = 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot 2500 \text{ кг/м}^3 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$.

В 1 см^3 стекла содержится 50 ppm золота, т.е. $m(\text{Au}) = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot 50/10^6 = 1,25 \cdot 10^{-7} \text{ кг}$.

Рассчитаем количество наночастиц:

$N = m(\text{Au}) / m(\text{НЧ}) = 1,25 \cdot 10^{-7} / (2,7 \cdot 10^{-19}) = 4,6 \cdot 10^{11} \text{ частиц}$.

- б) Рассчитаем объем, приходящийся на одну НЧ: $V = 10^{-6} \text{ м}^3 / (4,6 \cdot 10^{11}) = 2,2 \cdot 10^{-18} \text{ м}^3$.

Сторона куба, имеющего объем $V = 2,2 \cdot 10^{-18} \text{ м}^3$ – это и есть среднее расстояние между наночастицами:

$a = (2,2 \cdot 10^{-18} \text{ м}^3)^{1/3} = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 1,3 \text{ мкм} = 1300 \text{ нм}$.



Юный эрудит (заочный тур)
Задача 11. Животные – нанотехнологи



1. Геккон



2. Бабочка



3. Хамелеон



4. Василиск



5. Медуза (Aequorea victoria)



6. Птицы

1. Какие из указанных на рисунке животных используют «нанотехнологические» приспособления? **(3 балла)**
2. Укажите, какие именно это приспособления (структуры частей тела) и как они используются животными. **(3 балла)**
3. Какие аналоги этих природных приспособлений животных используются в нанотехнологиях? **(3 балла)**

Примечание: у одного животного может быть несколько приспособлений

Представьте ответ в виде таблицы:

Животное	Особенности частей тела	Аналог в нанотехнологиях
1.		
2....		

Всего – 9 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 11. Животные – нанотехнологи

Животное	Особенности частей тела	Аналог в нанотехнологиях
1. Геккон	С помощью электронного микроскопа удалось установить, что у геккона нет присосок на пальцах. Пальцы геккона под 35000 кратным увеличением выглядят следующим образом: чешуйки на нижней стороне видоизменены по подобию расширенных пластинок, на которых поперечными рядами располагаются микроскопические щеточки, состоящие, в свою очередь, из еще более микроскопических волосков. Благодаря ничтожно малой величине крючкообразные волоски способны охватывать ничтожно малые неровности гладко наклонной или вертикальной поверхности. Из-за малого размера ворсинок на лапках, Ван-дер-Ваальсово притяжение между молекулами становится очень сильным, что и удерживает геккона на различных поверхностях.	Микротрубочки
2. Бабочка	Крылья бабочки имеют сложный цвет со множеством переливов. Данная окраска обусловлена расположением пигментных пластинок/чешуек. Из-за этого в крыле бабочки наблюдаются такие эффекты как дифракция и интерференция.	Фотонные кристаллы — это материалы, диэлектрическая проницаемость которых обладает пространственной периодичностью. Распространение света в фотонных кристаллах подобно распространению электронов и дырок в полупроводниках. При определенных условиях фотонные кристаллы могут образовывать фотонную запрещенную зону. В фотонных кристаллах постоянная решетки должна лежать в пределах от 100 нм до 1 мкм.
3. Хамелеон	Меняет окраску тела. Изменения цвета происходят путем активной перестройки пространственной структуры нанокристаллов, присутствующих в клетках, называемых иридофорами, входящих в состав поверхностного слоя клеток кожи. Также присутствуют в более глубоком слое	Наночастицы золота или серебра, которые в зависимости от размера имеют различную окраску. При электрическом воздействии на наночастицы серебра или золота,

Животное	Особенности частей тела	Аналог в нанотехнологиях
	кожи менее упорядоченные кристаллы, которые отражают инфракрасное излучение. Расположение этих кристаллов одного над другим позволяет хамелеонам быстро переключаться между расцветками маскировки и демонстрации окраски. Цвета генерируются без пигментов, путем оптической интерференции	происходит изменение их размера, за счет чего меняется цвет наночастицы.
4. Василиск	Способен бегать по поверхности воды, удерживаясь за счёт частых ударов перепончатых задних ног (контакт с водой длится 0,068 с) и благодаря тому, что опускает лапы горизонтально на воду, поверхностная плёнка воды не успевает прорваться под весом тела. Не имеет отношения к нанотехнологиям.	Отсутствует
5. Медузы	Некоторые виды медуз могут светиться в темноте. Данный эффект получил название биолюминесценция. Свечение медуз (а именно <i>Aequorea victoria</i>) обусловлено наличием в них флуоресцентных белков – акворина и зеленого флуоресцентного белка GFP.	Флуоресцентные красители или квантовые точки.
6. Птицы	Имеют возможность летать благодаря своему легкому скелету, который имеет облегченную пористую структуру. Имеют постоянный окрас на протяжении всей жизни. Они не «седеют», а также, имея малое разнообразие пигментов в структуре пера, могут быть различных насыщенных оттенков. Окрас достигается за счет пигментных структур, цвет которому придают не красители, а особое расположение «дырок» (другое название – «поры») в его поверхности. Например, если «дырки» большого размера, то перо отражает почти все виды волн видимого света (белый окрас), поры меньшего размера – отражение волн синей области (синий цвет) и т.д.	Пористые углеродные нанотрубки. Нанопористые материалы из золота или металла, которые в несколько раз легче обычного материала того же объема. Нанопористые материалы используются в медицине для изготовления титановых или пластиковых имплантатов костей.

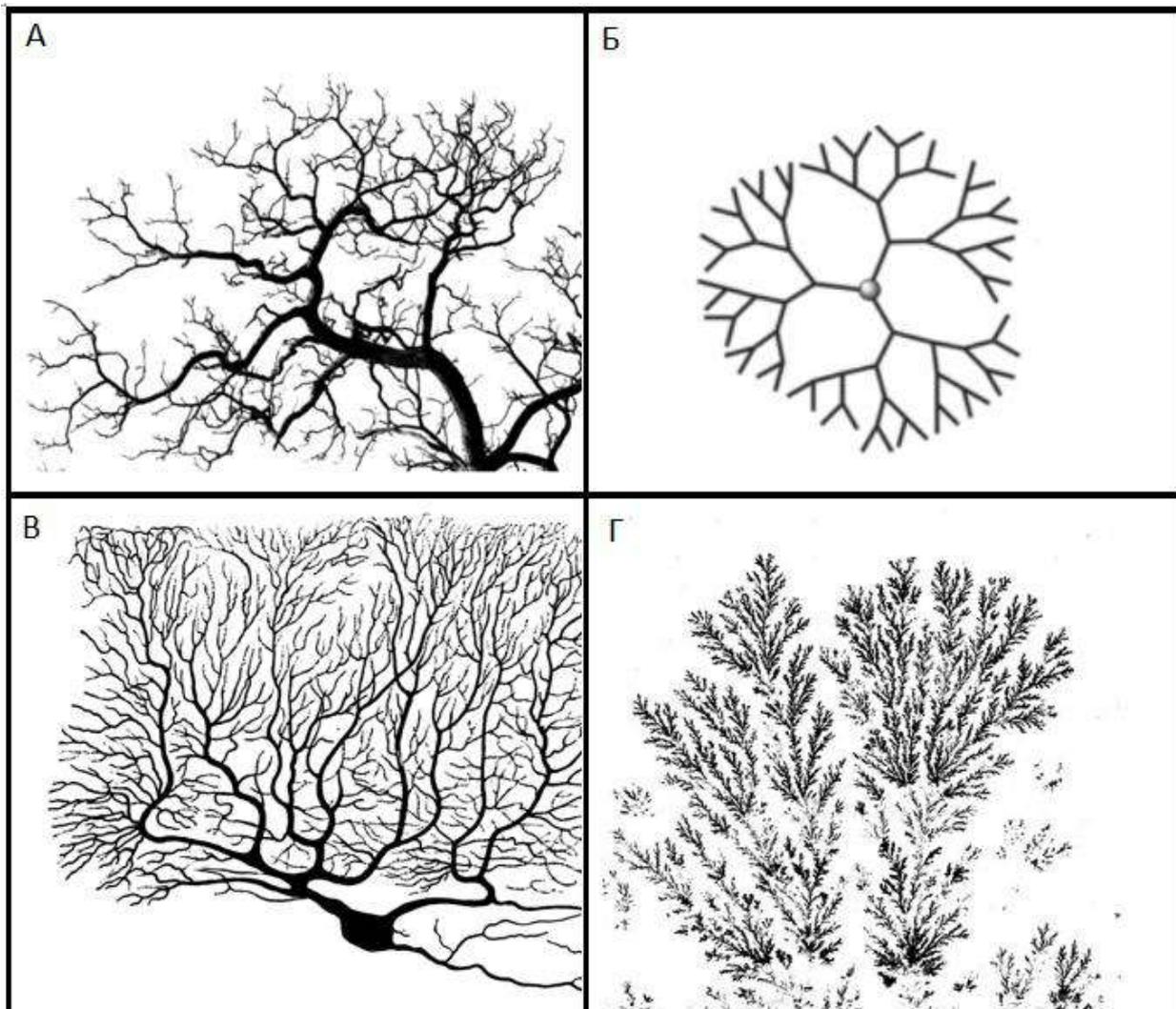
За каждое правильно определенное животное – 0.5 балла (максимум 3 балла).

За каждое описание приспособления – 0.5 балла (максимум 3 балла).

За каждый правильный аналог приспособлений животных в нанотехнологиях – 0.5 балла (максимум 3 балла).



Юный эрудит (заочный тур)
Задача 12. Кое-что общее



1. Напишите, что изображено на каждой картинке. **(4 балла)**
2. Подумайте, что общего у этих объектов в названии? Почему они называются именно так? **(2 балла)**

Всего – 6 баллов



Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 12. Кое-что общее

1. А – ветви дерева
Б – молекула дендримера
В – дендриты нейрона
Г – дендриты кристалла

За каждый правильный ответ – 1 балл.

2. В названии общий корень от древнегреческого слова дерево – «дендрон». Дендриты (в обоих случаях) и дендримеры названы так, потому что имеют древовидную структуру, похожи по форме на ветвящееся дерево.



Юный эрудит (заочный тур)
Задача 13. Прививка для друзей



Изобретение прививок позволило человечеству справиться со многими болезнями, значительно улучшив качество жизни и продлив ее срок. Несмотря на всю пользу прививок многие дети их боятся, в результате чего писатели и мультипликаторы создают различные рассказы и мультфильмы, в которых положительные смелые герои делают прививку и остаются здоровыми, а трусливые — прячутся и затем заболевают. При этом авторы подобных произведений обычно не задумываются, могла ли прививка на самом деле помочь тому герою, о котором шла речь.

1. Опишите механизм действия прививки, приводящий к выработке иммунитета к конкретному заболеванию. **(3 балла)** Что должно входить в состав прививки? С какими иммунными клетками связано приобретение иммунитета к возбудителю заболевания после прививки? **(2 балла)**
2. В некоторых мультфильмах прививки делают друзьям-насекомым: божьей коровке, кузнечику и пчеле. Как Вы думаете, а на самом деле помогли бы им прививки выработать иммунитет к каким-то заболеваниям? Ответ поясните. **(3 балла)** Назовите группы животных, для которых прививки от болезней нужны и эффективны, и группы животных, прививки для которых совершенно бесполезны. **(2 балла)**

Всего – 10 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 13. Прививка для друзей

1. Механизм действия прививок заключается в активации клеток приобретенного иммунитета — В и Т-лимфоцитов — и образования так называемых клеток памяти, которые сохраняются в организме в течение нескольких лет или даже всей жизни, быстро активируются и быстро многократно делятся при попадании возбудителя болезни в организм. Благодаря быстрой активации клеток приобретенного иммунитета уничтожение возбудителя болезни происходит до того, как данные микроорганизмы размножились и привели к развитию болезни.

Основное содержимое прививки — это белки, выделенные из возбудителя болезни, части клеточной стенки (если это бактерии) или просто ослабленные возбудители заболевания. Кроме того, в прививке содержится специальная жидкая среда и консервант.

2. Насекомым прививки не нужны, поскольку они не имеют клеток приобретенного иммунитета и поэтому никакие клетки памяти в их организме образоваться не могут.

Приобретённый иммунитет появляется у позвоночных животных, а у беспозвоночных животных есть только система врожденного иммунитета.



Юный эрудит (заочный тур)
Задача 14. Нанокроссворд

По горизонтали

- 3. Рис. 3г, самый легкий металл, основа для 11г.
- 4. Рис. 4г, лауреат Нобелевской премии по химии 2019 года, автор 12в для 11г.
- 6. Рис. 6г, материал для электрода в 11г, противоположного 12в.
- 11. Рис. 11г, неотъемлемый элемент большинства современных гаджетов.
- 13. Вырабатывается в ответ на дефицит 1в в организме, в качестве инъекций – спортивный допинг.
- 14. Рис. 14г, вместе с 4г «сделал наш мир перезаряжаемым» .
- 17. Рис. 17г, клетка – контейнер для 6в.
- 18. Гном по-гречески.
- 19. Это и 4в, и 15в, и 13г, и 6в по своей природе.
- 20. Рис. 20г, лауреат Нобелевской премии 2019 года по физиологии и медицине, отмеченный «за открытие механизмов, посредством которых клетки воспринимают доступность 1в и адаптируются к ней».

По вертикали

1. **Рис. 1в**, необходим для дыхания.
2. **Рис. 2в**, микроманипулятор, за изобретение и применение которого для изучения биологических систем присуждена Нобелевская премия по физике 2018 года.
4. Биорегулятор, например, **13г**.
5. **Рис. 5в**, биофабрика, которая для производства энергии использует **1в**.
6. **Рис. 6в**, нанопереносчик **1в** в организме.
7. **Рис. 7в**, соединение внедрения **3г** в **6г**, используется в **11г**.
8. Является символом чистоты в Азии на протяжении более 2000 лет.
9. **Рис. 9в**, предложил термин «нанотехнологии».
10. **Рис. 10в**, «плоский» углерод, единичный слой **6г**.
12. **Рис. 12в**, электрод в **11г**.
15. Ускоритель биологических процессов.
16. Очень тонкий и длинный кристалл, например, кремниевый (**рис. 16в**) – как материал для электрода в **11г**, противоположного **12в**.

Всего – 11 баллов



Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 14. Нанокроссворд

По горизонтали

- 3г. Литий** – рис. 3г, самый легкий металл, основа для аккумулятора (11г).
- 4г. Джон Гуденаф** – рис. 4г, лауреат Нобелевской премии по химии 2019 года, автор катода (12в) для аккумулятора (11г).
- 6г. Графит** – рис. 6г, материал для электрода в аккумуляторе (11г), противоположного катоду (12в).
- 11г. Аккумулятор** – рис. 11г, неотъемлемый элемент большинства современных гаджетов.
- 13г. Эритропоэтин** – вырабатывается в ответ на дефицит кислорода (1в) в организме, в качестве инъекций – спортивный допинг.
- 14г. Акира Ёсино** – рис. 14г, вместе с Джоном Гуденафом (4г) «сделал наш мир перезаряжаемым».
- 17г. Эритроцит** – рис. 17г, клетка – контейнер для гемоглобина (6в).
- 18г. Нанос** – гном по-гречески.
- 19г. Белок** – это и гормон (4в), и фермент (15в), и эритропоэтин (13г), и гемоглобин (6в) по своей природе.

20г. Грегг Семенза – *рис. 20г*, лауреат Нобелевской премии 2019 года по физиологии и медицине, отмеченный «за открытие механизмов, посредством которых клетки воспринимают доступность кислорода (1в) и адаптируются к ней».

По вертикали

1в. Кислород – *рис. 1в*, необходим для дыхания.

2в. Пинцет¹ – *рис. 2в*, микроманипулятор, за изобретение и применение которого для изучения биологических систем присуждена Нобелевская премия по физике 2018 года.

4в. Гормон – биорегулятор, например, эритропоэтин (13г).

5в. Митохондрия – *рис. 5в*, биофабрика, которая для производства энергии использует кислород (1в).

6в. Гемоглобин – *рис. 6в*, нанопереносчик кислорода (1в) в организме.

7в. Интеркалят – *рис. 7в*, соединение внедрения лития (3г) в графит (6г), используется в аккумуляторе (11г).

8в. Лотос – является символом чистоты² в Азии на протяжении более 2000 лет.

9в. Норио Танигучи – *рис. 9в*, предложил термин «нанотехнологии».

10в. Графен – *рис. 10в*, «плоский» углерод, единичный слой графита (6г).

12в. Катод – *рис. 12в*, электрод в аккумуляторе (11г).

15в. Фермент – ускоритель биологических процессов.

16в. Вискер – очень тонкий и длинный кристалл, например, кремниевый (*рис. 16в*) – как материал для электрода в аккумуляторе (11г), противоположного катоде (12в).

¹См. оптический пинцет

²Вода, попадая на листья лотоса, не смачивает их, а собирается в капли и скатывается, унося с собой все загрязнения, благодаря особой структуре поверхности, которая имеет малую площадь контакта как с водой, так и с загрязнениями.



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 математике, биологии, химии, чтобы набрать больше баллов. Дополнительные баллы будут начислены за прохождение тестов [викторин по предметам](#). Все прошедшие на очный тур обязательно решают задачи по всем четырем предметам.

Задания

1. Разобрать фуллерен за 50 фемтосекунд

За последнее десятилетие исследования, проведенные с использованием рентгеновских лазеров, позволили пролить свет на вопрос взаимодействия вещества с короткими ионизирующими лазерными импульсами...

2. Нанопропеллер

Совместные исследования американских, японских и французских ученых, опубликованные в журнале Nature Communications, показали, что созданные ими молекулярные пропеллеры могут быть приведены во вращение самим зондом туннельного микроскопа...

3. Наноприемники ИК-излучения

Возможность преобразовывать ИК излучение в видимое излучение позволила создать тепловизоры, нашедшие широкое применение в гражданской и военной сферах. Недавно группой ученых были проведены исследования на мышах...

4. Масс-спектрометрия

Одним из современных методов исследования новых материалов является масс-спектрометрия, позволяющая определять содержание химических элементов на уровне нескольких нанограммов. Анализируемое соединение распыляют и ионизируют...

5. Сопротивление нанотрубки

Одним из уникальных свойств углеродных нанотрубок является колоссальная электропроводность: единичная одностенная нанотрубка способна выдерживать силу тока в несколько микроампер, поскольку реализуется механизм баллистической проводимости...

6. Ток через конденсатор

Для придания алюминиевым изделиям долговечности их поверхность можно подвергнуть анодному окислению в нерастворяющем электролите, как показано на рисунке. При этом образуется плотная плёнка из оксида алюминия толщиной в десятки или сотни нанометров...

7. Что прочнее?

Известно, что пластичность металлов во многом обусловлена наличием в их структуре дислокаций, которые способны перемещаться в пределах кристалла под действием приложенной нагрузки. Однако, в поликристаллических материалах движение дислокации ограничено размером зерна...

8. Подвижные наночастицы

При изучении нанообъектов нередко возникает проблема их нежелательного дрейфа (подвижности) за счет тепловых колебаний, воздействия зондирующего излучения и т.п. В качестве примера рассмотрим воздействие рентгеновских лучей на кристаллическую наночастицу...

9. Лазерный перенос наночастиц

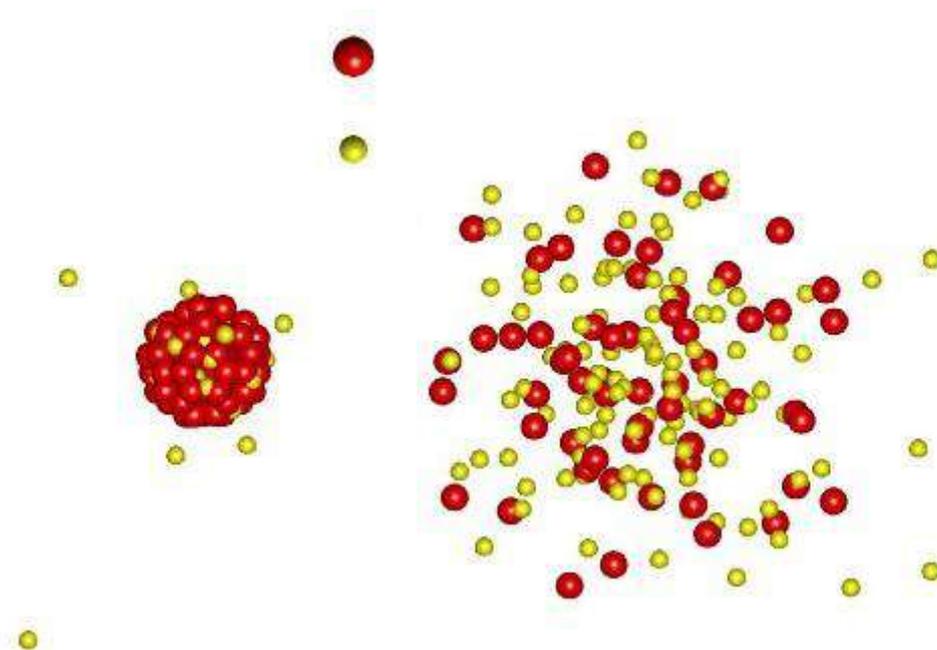
Манипуляция отдельными наночастицами является весьма непростой задачей. Так, например, для ее решения может быть использована методика лазерного переноса, которая позволяет переносить отдельные наночастицы из большого массива в заданное место с высокой точностью...

10. Наномяч

В откачанную до высокого вакуума ячейку объемом 1 см^3 с квадратным отверстием размером 1 мкм , помещают навеску бакибола (фуллерена C_{60}) массой 10 мг . В результате в ячейке устанавливается температура 800 К . Считать, что молекула бакибола испытывает абсолютно упругие столкновения...



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 1. Разобрать фуллерен за 50 фемтосекунд



За последнее десятилетие исследования, проведенные с использованием рентгеновских лазеров, позволили пролить свет на вопрос взаимодействия вещества с короткими ионизирующими лазерными импульсами. В частности, эти исследования показывают последовательность взаимодействий при выбивании электронов с внутренних оболочек атомов и Оже ионизации. В одной из недавних работ, опубликованной в журнале [Nature](#), с помощью рентгеновского лазера, генерирующего ультракороткие импульсы, ученые разорвали фуллерен C_{60} на отдельные осколки. Энергия кванта рентгеновского лазера $h\nu = 640$ эВ.

1. Чему равно общее количество одинарных и двойных связей у фуллерена C_{60} ? **(1 балл)**
2. Рассмотрим первый случай: распад на отдельные атомы. Чему равна суммарная кинетическая энергия отдельных атомов углерода, если характерная средняя энергия связи атомов в фуллерене $E = 4.6$ эВ, а фуллерен разрушился после взаимодействия с одним квантом? Фуллерен до взаимодействия имел начальную скорость $V = 250$ м/с. **(3 балла)**
3. Рассмотрим второй случай: распад на два осколка. Найдите скорости осколков, если известно, что в результате взаимодействия с одним рентгеновским квантом образовалось два одинаковых осколка, разлетевшихся вдоль одного направления? Фуллерен до взаимодействия также имел начальную скорость $V = 250$ м/с. **(6 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 1. Разобрать фуллерен за 50 фемтосекунд

1. Суммарное количество связей $N = 90$ (60 одинарных и 30 двойных).
2. Начальная кинетическая энергия фуллерена $W_{\text{фулл}} = \frac{mV^2}{2} = 0,234\text{эВ}$, что пренебрежимо мало по сравнению с энергией кванта. Часть энергии фотона тратится на разрыв связей, а остаток энергии идет на сообщение кинетической энергии осколкам.

$$W_K = h\nu - NE = 640 - 90 \cdot 4,6 = 226\text{эВ} \approx 3,6 \cdot 10^{-17}\text{Дж.}$$

Начальный импульс фотона $p = \frac{h\nu}{c} = 3,4 \cdot 10^{-25}$ м/с, что пренебрежимо мало по сравнению с импульсом фуллерена. Чтобы образовалось два одинаковых осколка, достаточно разорвать 10 связей. Часть энергии фотона тратится на разрыв связей, а остаток энергии идет на сообщение кинетической энергии осколкам.

$$\begin{aligned} p &= p_1 + p_2 \\ h\nu - 10E &= \frac{p_1^2}{m} + \frac{p_2^2}{m} \end{aligned}$$

Решая, получим

$$\begin{aligned} p_1 &= \frac{p \mp \sqrt{2m(h\nu - 10E) - p^2}}{2} \\ p_2 &= \frac{p \pm \sqrt{2m(h\nu - 10E) - p^2}}{2} \end{aligned}$$

Подставляя численные значения, получим, что осколки разлетятся в противоположные стороны практически с одинаковой по модулю скоростью

$$\begin{aligned} v_1 &= \frac{p_1}{m/2} = 12829 \text{ м/с} \\ v_2 &= \frac{p_2}{m/2} = -12329 \text{ м/с.} \end{aligned}$$



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 2. Нанопропеллер

Совместные исследования американских, японских и французских ученых, опубликованные в журнале [Nature Communications](http://www.nature.com/naturecommunications), показали, что созданные ими молекулярные пропеллеры могут быть приведены во вращение самим зондом туннельного микроскопа или туннельным током неупругих электронов.

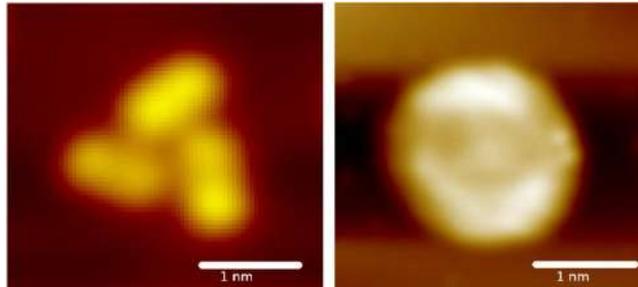


Рис. 1. Изображение молекулярного пропеллера, полученное с помощью зондового микроскопа: а) неподвижного б) вращающегося

Представим упрощенную модель нанопропеллера, имеющего две плоские квадратные лопасти. Лопасти нанопропеллера повернуты на угол 45° к горизонтальной плоскости в разные стороны. Радиус шарнира пренебрежимо мал. Сторона квадратной лопасти $R = 5 \text{ нм}$. Плотность тока однородна, и вектор плотности тока $\mathbf{j} = 0.01 \text{ пкА/нм}^2$ направлен под углом 45° к вертикальной плоскости. Объемная концентрация электронов $n = 1 \text{ нм}^{-3}$.

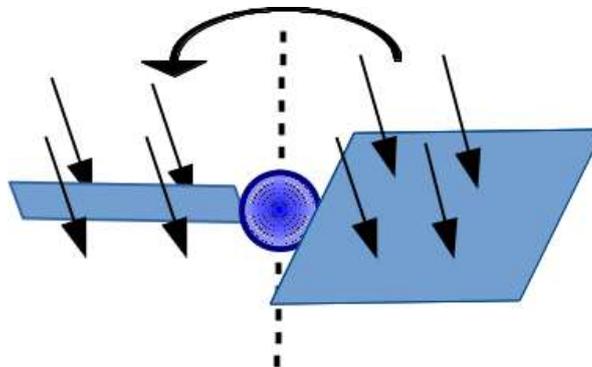


Рис. 2. Схематический рисунок пропеллера

1. Найдите проекцию на вертикальную ось момента сил действующих на пропеллер. **(5 баллов)**
2. Оцените по порядку величины угловое ускорение пропеллера в начальный момент времени, если масса лопасти $M = 10^4 \text{ а.е.м.}$? **(5 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 2. Нанопропеллер

1. Момент сил N при равномерном распределении по площади удельной силы $f = F/S$ на лопасть найдем, интегрируя по расстоянию r от оси:

$$N = \int_0^R R f r dr = f \frac{R^3}{2}.$$

Так как сила отдачи направлена перпендикулярно лопасти, то момент сил перпендикулярен силе и лежит в плоскости лопасти. Проекция на вертикальную ось $N_z = N \cos(45^\circ)$.

Удельную силу найдем по закону изменения импульса:

$$\vec{f} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t},$$

где импульс на единицу площади. На правую лопасть электроны падают перпендикулярно, а на левую не попадают.

Выразим изменение импульса на единицу площади:

$$\Delta \vec{p} = 0 - \left(\frac{\Delta N}{\Delta S} m_e u \right) = n m_e u u \Delta t,$$

где n — объемная концентрация электронов.

$$f = m_e n u^2 = \frac{m_e j^2}{n e^2},$$

где было использовано $j = n e u$

Ответ на вопрос 1: $N_z = \frac{m_e j^2 R^3}{n e^2} \cos(45^\circ) \approx 4 \cdot 10^{-37} \text{ Н} \cdot \text{м}$

2. Основное уравнение динамики вращательного движения: $I \beta = N_z$

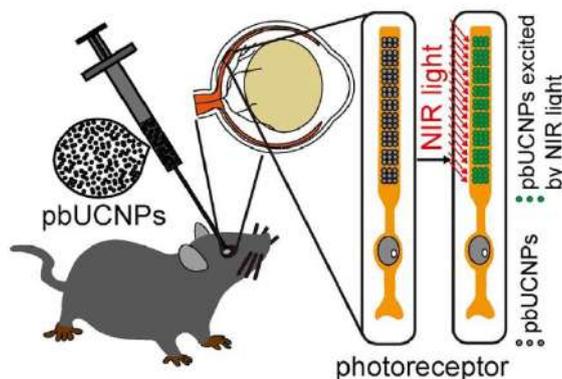
Момент инерции для наклонной плоскости можно рассчитать по формуле:

$$I = \frac{MR^2}{12} \sin^2(45^\circ) + \frac{MR^2}{3} = \frac{MR^2}{3} \left(\frac{\sin^2(45^\circ)}{4} + 1 \right) \approx 1,4 \cdot 10^{-40} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Для численной оценки достаточно $I \approx MR^2$

$$\beta = \frac{2\sqrt{2} m_e j^2 R}{3 n e^2 M} \approx 1,3 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$$

**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 3. Наноприемники ИК-излучения**



Возможность преобразовывать ИК излучение в видимое излучение позволила создать тепловизоры, нашедшие широкое применение в гражданской и военной сферах. Недавно группой ученых были проведены [исследования](#) на мышах, результаты которых показали, что мыши могут чувствовать свет в ближнем ИК диапазоне, если им закапать капли с наночастицами. Было продемонстрировано, что глазные капли, содержащие наночастицы β - $\text{NaYF}_4:20\%\text{Yb}, 2\%\text{Er}$ со структурой ядро-оболочка, способны трансформировать ИК-излучение с длиной волны 980 нм в излучение видимой области спектра с длиной волны 535 нм.

1. Опишите механизм сдвига максимума спектра излучения в коротковолновую область, именуемый в литературе «up-конверсия». **(3 балла)**
2. Во сколько раз отличаются энергии квантов света с длиной волны 980 нм и 535 нм? Можно ли считать, что такой сдвиг произошёл в результате именно up-конверсии? **(4 балла)**
3. Назовите и кратко опишите ещё один основной механизм смещения максимума спектра излучения в коротковолновую область в наночастицах, именуемых квантовыми точками. **(3 балла)**

Всего – 10 баллов



**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
 Решение задачи 3. Наноприемники ИК-излучения**

1. В результате ир-конверсии переход электрона на высокие энергетические уровни происходит в результате поглощения не одного, а нескольких фотонов (часто двух). Дальнейшая релаксация электронной структуры приводит к испусканию одного фотона, энергия которого оказывается выше, чем у фотонов возбуждающего излучения.
2. Энергию фотона можно рассчитать по формуле

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$E_{980} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{980 \cdot 10^{-9} \text{ м}} = 2,03 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,27 \text{ эВ}$$

$$E_{535} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{535 \cdot 10^{-9} \text{ м}} = 3,72 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 2,32 \text{ эВ}$$

Таким образом,

$$\frac{E_{535}}{E_{980}} = \frac{hc\lambda_{980}}{\lambda_{535}hc} = \frac{\lambda_{980}}{\lambda_{535}}$$

$$\frac{E_{535}}{E_{980}} = \frac{980 \cdot 10^{-9} \text{ м}}{535 \cdot 10^{-9} \text{ м}} = 1,83$$

Отношение энергий не строго равно 2. То есть поглощение двух фотонов с длиной волны 980 нм приводит к поглощению энергии большей, чем имеет один фотон с длиной волны 535 нм. Расположение энергетических уровней в атоме Ег сопровождается дополнительными безызлучательными переходами. Это действительно ир-конверсия.

3. Основной механизм смещения максимума спектра излучения в коротковолновую область в квантовых точках связан с увеличением ширины запрещённой зоны при уменьшении размеров частицы. Происходит это вследствие локализации электронов на отдельных атомах в кристаллической решётке квантовой точки.



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 4. Масс-спектрометрия

Одним из современных методов исследования новых материалов является масс-спектрометрия, позволяющая определять содержание химических элементов на уровне нескольких наногرامмов. Анализируемое соединение распыляют и ионизируют. Образовавшиеся ионы ускоряются разностью потенциалов и попадают в однородное магнитное поле, перпендикулярное направлению их движения. Таким образом, варьируя напряжение или магнитную индукцию, можно добиться попадания в детектор только определяемых ионов, точно задав траекторию их движения.

1. Рассчитайте радиус окружности, являющейся траекторией движения катиона $^{85}\text{Rb}^+$, если ускоряющее напряжение равно 2 кВ, а магнитная индукция составляет 0.3 Тл.
(7 баллов)
2. Определите количество пиков в масс-спектре при анализе смесей катионов:
 - а) $^7\text{Li}^+$, $^{28}\text{Si}^{4+}$, $^{29}\text{Si}^{4+}$;
 - б) $^{23}\text{Na}^+$, $^{46}\text{Ti}^{2+}$, $^{69}\text{Ga}^{3+}$;
 - в) $^{39}\text{K}^+$, $^{40}\text{Ar}^+$, $^{40}\text{Ca}^{2+}$.Ответы обоснуйте. **(3 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 4. Масс-спектрометрия

1. На ускоренные ионы, попадающие в магнитное поле, перпендикулярное направлению их движения, действует сила Лоренца

$$F = qvB,$$

где q – заряд иона, v – скорость его движения, B – магнитная индукция.

В результате ион начинает движение по круговой траектории, а сила Лоренца обеспечивает центростремительное ускорение

$$F = \frac{mv^2}{r},$$

где m – масса ускоренного иона, r – радиус окружности, которая является траекторией его движения. Таким образом,

$$qvB = \frac{mv^2}{r}$$

$$v = \frac{qrB}{m}$$

При этом потенциальная энергия иона, находящегося в электрическом поле, равна

$$W_p = qU,$$

где U – разность потенциалов.

Кинетическая энергия частицы равна

$$W_k = \frac{mv^2}{2}$$

По закону сохранения энергии

$$qU = \frac{mv^2}{2}$$

$$qU = \frac{mq^2r^2B^2}{2m^2}$$

$$r = \sqrt{\frac{2mU}{qB^2}}$$

$$r = \sqrt{\frac{2 \cdot 85 \cdot 1,6 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 2000 \text{ В}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 0,3^2 \text{ Тл}^2}} \approx 19 \text{ см}$$

2. Согласно полученному выражению, при заданных значениях напряжения и магнитной индукции радиус окружности зависит только от отношения массы иона к его заряду:

$$r = \sqrt{\frac{2mU}{qB^2}}$$

Поэтому в случае катионов ${}^7\text{Li}^+$, ${}^{28}\text{Si}^{4+}$, ${}^{29}\text{Si}^{4+}$ будут наблюдаться два пика, один из которых соответствует ${}^7\text{Li}^+$ и ${}^{28}\text{Si}^{4+}$ (у обоих $m/z = 7$), а второй – ${}^{29}\text{Si}^{4+}$ ($m/z = 7,25$).

Для катионов ${}^{23}\text{Na}^+$, ${}^{46}\text{Ti}^{2+}$, ${}^{69}\text{Ga}^{3+}$ будет наблюдаться всего один пик, так как у них у всех отношение $m/z = 23$.

В случае катионов ${}^{39}\text{K}^+$, ${}^{40}\text{Ar}^+$, ${}^{40}\text{Ca}^{2+}$ будут наблюдаться три пика, так как отношение m/z у всех разное: 39, 40 и 20, соответственно.



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 5. Сопротивление нанотрубки

Одним из уникальных свойств углеродных нанотрубок является колоссальная электропроводность: единичная одностенная нанотрубка способна выдерживать силу тока в несколько микроампер, поскольку реализуется механизм баллистической проводимости. При этом сопротивление нанотрубки принимает значение 12.9 кОм.

1. Рассчитайте сопротивление графитового стержня длиной 5 мкм и диаметром 100 нм, если ток течёт вдоль его оси. Удельное сопротивление графита равно 8 мкОм·м. **(3 балла)**
2. В каком случае выделится большее количество теплоты: при прохождении тока 2 мкА в течение 10 минут через такой графитовый стержень или одностенную углеродную нанотрубку? Каково это различие? **(7 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 5. Сопротивление нанотрубки

1. Сопротивление можно рассчитать по формуле

$$R = \frac{\rho L}{S},$$

где ρ – удельное сопротивление, S – площадь поперечного сечения проводника, L – его длина.

Площадь поперечного сечения стержня равна

$$S = \frac{\pi d^2}{4},$$

где d – его диаметр.

Следовательно,

$$R = \frac{4\rho L}{\pi d^2}$$
$$R = \frac{4 \cdot 8 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{ м} \cdot 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{3,14 \cdot (100 \cdot 10^{-9})^2 \text{ м}^2} = 5,1 \text{ кОм}$$

2. Количество теплоты, выделяющееся в проводнике с током, можно вычислить по формуле Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 R t,$$

где I – сила тока, R – сопротивление, t – время. В графитовом стержне выделится:

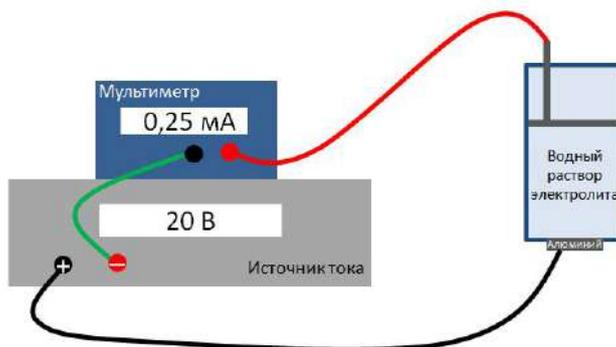
$$Q = (2 \cdot 10^{-6})^2 \text{ А}^2 \cdot 51000 \text{ Ом} \cdot (10 \cdot 60) \text{ с} = 12,2 \text{ мкДж}$$

Согласно условию задачи, в одностенной углеродной нанотрубке реализуется механизм баллистической проводимости, поэтому джоулево тепло в ней выделяться не будет ($Q = 0$ Дж).

Таким образом, в графитовом стержне тепла выделится больше, чем в нанотрубке, а именно на 12,2 мкДж.



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 6. Ток через конденсатор



Для придания алюминиевым изделиям долговечности их поверхность можно подвергнуть анодному окислению в нерастворяющем электролите, как показано на рисунке. При этом образуется плотная плёнка из оксида алюминия толщиной в десятки или сотни нанометров, которая препятствует дальнейшему окислению металла.

1. Рассчитайте толщину оксидной плёнки площадью 1 см^2 , если при напряжении 20 В в цепи течёт ток 0.25 мА. Удельное сопротивление анодного оксида алюминия равно $3 \cdot 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Сопротивлением остальных элементов электрической цепи можно пренебречь. **(4 балла)**
2. Поскольку анодный оксид алюминия является диэлектриком ($\epsilon = 8$), описанную систему можно считать конденсатором. Определите его ёмкость. **(3 балла)**
3. Объясните, почему в данной электрической цепи, содержащей конденсатор, течёт ток. **(3 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 6. Ток через конденсатор

1. Сопротивление оксидной плёнки равно

$$R = \frac{\rho L}{S},$$

где ρ – удельное сопротивление, L – толщина плёнки, S – её площадь.

Так как сопротивлением остальных элементов электрической цепи можно пренебречь, то

$$R = \frac{U}{I},$$

где U – напряжение, I – сила тока.

Следовательно,

$$\begin{aligned} \frac{U}{I} &= \frac{\rho L}{S} \\ L &= \frac{US}{\rho I} \\ L &= \frac{20 \text{ В} \cdot 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2}{3 \cdot 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ А}} \approx 27 \text{ нм} \end{aligned}$$

2. Ёмкость плоского конденсатора равна

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{L},$$

где ϵ – диэлектрическая проницаемость оксида алюминия, ϵ_0 – диэлектрическая постоянная. Таким образом,

$$C = \frac{8 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{М}} \cdot 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2}{27 \cdot 10^{-9} \text{ м}} = 0,26 \text{ мкФ}$$

3. Известно, что через идеальный конденсатор не может течь постоянный ток вследствие его бесконечного сопротивления. Однако, сопротивление конденсатора, описанного в данной задаче, конечное и составляет всего

$$\begin{aligned} R &= \frac{U}{I} \\ R &= \frac{20 \text{ В}}{0,25 \cdot 10^{-3} \text{ А}} = 80 \text{ кОм.} \end{aligned}$$

Кроме того, в данном случае сила тока постоянно уменьшается: чем толще становится оксидная плёнка, тем ниже оказывается сила тока из-за увеличения сопротивления. Таким образом, ток в этой цепи имеет место, пока происходит окисление алюминия и сопротивление плёнки не превышает критического значения.



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 7. Что прочнее?

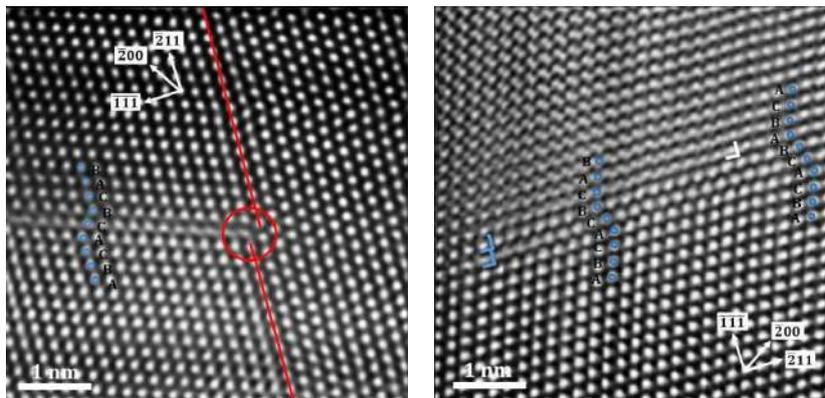


Рис. HAADF изображения дислокаций в стали

Известно, что пластичность металлов во многом обусловлена наличием в их структуре дислокаций, которые способны перемещаться в пределах кристалла под действием приложенной нагрузки. Однако, в поликристаллических материалах движение дислокации ограничено размером зерна, в котором она расположена (переход из одного зерна в другое невозможен). Поэтому наблюдается эффект размерного упрочнения, именуемый законом Холла-Петча:

$$\sigma = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}},$$

где d – размер зерна (м), σ – минимальное механическое напряжение, при котором возникают пластические деформации в поликристаллическом материале с размером зёрен d (МПа), σ_0 – минимальное механическое напряжение, при котором возникают пластические деформации в монокристаллическом материале (МПа, таблица 1), k – коэффициент, зависящий от природы материала (МПа·м^{0,5}).

Таблица 1. Значения σ_0 для монокристаллической меди, легированной стали 20X и паутины

Материал	σ_0 , МПа
Монокристаллическая медь	25
Легированная сталь 20X	550
Паутина	1150

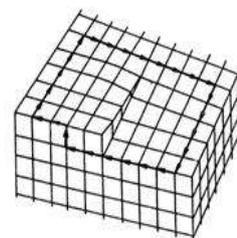
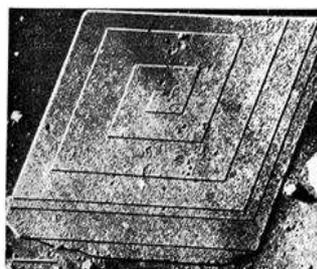
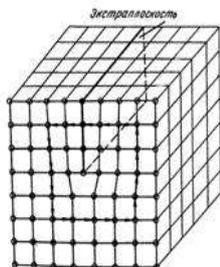
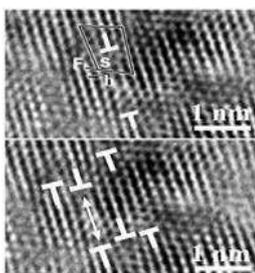
1. Что такое дислокация в кристалле? Какие бывают виды дислокаций? **(2 балла)**
2. Оцените отношение механических напряжений, которые необходимо приложить к монокристаллическому и поликристаллическому ($d = 10$ мкм) медным стержням, чтобы растянуть их на 0,01%. Модуль Юнга меди равен 110 ГПа. **(4 балла)**
3. Может ли минимальное механическое напряжение, вызывающее пластические деформации в меди, оказаться таким же, как у легированной стали 20X или паутины? Ответы обоснуйте. Для меди $k = 0,11$ МПа·м^{0,5}, а характерный размер дислокаций составляет около 20 нм. **(4 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 7. Что прочнее?

1. Дислокация – это протяжённый одномерный структурный дефект в кристаллическом материале. Дислокации бывают краевыми, винтовыми и смешанными.



Краевые дислокации и их схематичное изображение

Винтовая дислокация и её схематичное изображение

2. Поскольку модуль Юнга меди равен 110 ГПа, а минимальное механическое напряжение, при котором возникают пластические деформации в монокристаллической меди, равно 25 МПа, то закон Гука оказывается справедливым вплоть до относительного удлинения, равного

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E}$$

$$\varepsilon = \frac{25\text{МПа}}{110\text{ГПа}} = 2,3 \cdot 10^{-4} = 0,023\%$$

Следовательно, относительное удлинение 0,01% соответствует области упругих деформаций, происходящих без структурных изменений. Для поликристаллического стержня это утверждение также справедливо, так как для него минимальное механическое напряжение, при котором возникают пластические деформации, ещё больше:

$$\sigma = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}$$

$$\sigma = 25\text{МПа} + \frac{0,11\text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}}{\sqrt{10 \cdot 10^{-6}\text{м}}} \approx 60\text{МПа}$$

Таким образом, деформации в 0,01% ни в случае монокристаллической, ни в случае поликристаллической меди сопровождаются движением дислокаций не будут. Поэтому в обоих случаях необходимо приложить одно и то же напряжение, то есть их отношение равно 1.

3. По формуле, приведённой в условии задачи, несложно рассчитать, что

$$\sigma = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}$$

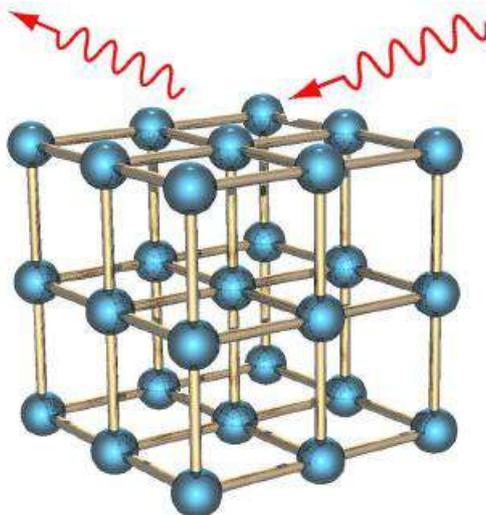
$$d = \left(\frac{k}{\sigma - \sigma_0} \right)^2$$

$$d_1 = \left(\frac{0,11 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}}{550 \text{ МПа} - 25 \text{ МПа}} \right)^2 = 44 \text{ нм}$$
$$d_2 = \left(\frac{0,11 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}}{1150 \text{ МПа} - 25 \text{ МПа}} \right)^2 = 10 \text{ нм}$$

То есть, размер зёрен, теоретически необходимый для достижения механического напряжения, которое вызывает пластические деформации в легированной стали 20Х и паутине, составляет порядка 44 нм и 10 нм соответственно. Первое из них значительно больше характерного размера дислокаций в меди, а второе – меньше. Это означает, что в медном материале с размером кристаллитов 10 нм дислокаций внутри зёрен быть не может. Поэтому и упрочняться такой материал тоже не будет: наименьший размер зерна, при котором выполняется соотношение Холла-Петча, примерно равен длине дислокации. Таким образом, механическое напряжение, вызывающее пластические деформации в меди, действительно может оказаться таким же, как у легированной стали 20Х, но оно никогда не достигнет значения, характерного для паутины.



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 8. Подвижные наночастицы



При изучении нанообъектов нередко возникает проблема их нежелательного дрейфа (подвижности) за счет тепловых колебаний, воздействия зондирующего излучения и т.п. В качестве примера рассмотрим воздействие рентгеновских лучей на кристаллическую наночастицу. Несмотря на крайне низкое поглощение рентгеновского излучения веществом, в определенных условиях все-таки происходит заметное смещение наночастиц за счет эффективного отражения рентгеновских лучей. Пусть наночастица имеет форму куба, обладает кубической кристаллической решеткой (см. рисунок) с постоянной решетки $a = 0.335$ нм и располагается изначально на одной из своих граней (нижней).

Оцените, какую максимальную силу давления может оказывать падающее на верхнюю грань такого куба рентгеновское излучение с длиной волны $\lambda = 0.2$ нм, если известно, что при плавном изменении угла падения излучения в интервале от 0° до 90° максимальный измеренный поток отраженных фотонов составлял $n_{\max} = 10^{12}$ с $^{-1}$. Постоянная Планка $h = 6.63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. **(10 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 8. Подвижные наночастицы

Максимальное воздействие рентгеновского излучения будет осуществляться в случае выполнения условия дифракции, так как именно в таких условиях будет отражаться максимальная доля падающего излучения, и, следовательно, наночастица получит максимальную «отдачу». Условие дифракции (условие Вульфа-Брэгга):

$$2d\sin\theta_{\text{диф}} = n\lambda$$

где d – межплоскостное расстояние, $\theta_{\text{диф}}$ – угол скольжения падающего луча, n – порядок дифракции, λ – длина волны. Для рассматриваемой в задаче наночастицы d совпадает с постоянной решетки a . В свою очередь, наибольшее отражение будет наблюдаться в первом порядке дифракции, т.е. $n = 1$.

Определим угол скольжения падающего излучения $\theta_{\text{диф}}$, при котором выполняется условие Вульфа-Брэгга:

$$\sin\theta_{\text{диф}} = \frac{\lambda}{2d} \approx 0.3$$

Фотон рентгеновского излучения обладает импульсом:

$$p = \frac{h}{\lambda} \approx 3.3 \cdot 10^{-24} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$$

где h – постоянная Планка.

Отражаясь под тем же углом $\theta_{\text{диф}}$ каждый падающий фотон излучения изменяет свой импульс на величину:

$$\Delta p = 2 \frac{h}{\lambda} \sin\theta_{\text{диф}},$$

При этом этот вектор перпендикулярен к поверхности наночастицы и направлен от нее. Так как взаимодействие упругое (длина волны не изменяется), то такой же по величине и противоположный по направлению импульс получает наночастица в виде отдачи.

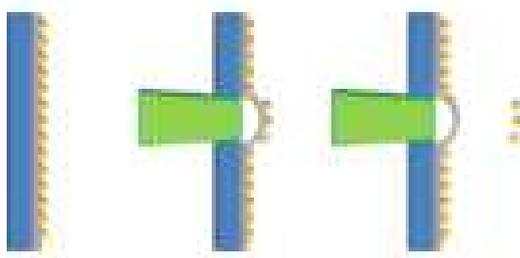
По второму закону Ньютона сила воздействия со стороны каждого кванта рентгеновского излучения в единицу времени Δt может быть выражена как $F_i = \frac{\Delta p}{\Delta t}$. Результирующая максимальная сила давления со стороны N отраженных фотонов (поток $n_{\text{max}} = N/\Delta t$) будет равна:

$$F_{\text{summ}} = N \frac{\Delta p}{\Delta t} = n_{\text{max}} \Delta p = 2n_p \frac{h}{\lambda} \sin\theta_{\text{диф}} \approx 2 \cdot 10^{-12} \text{ Н} = 2 \text{ пН}$$



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 9. Лазерный перенос наночастиц

Манипуляция отдельными наночастицами является весьма непростой задачей. Так, например, для ее решения может быть использована методика лазерного переноса, которая позволяет переносить отдельные наночастицы из большого массива в заданное место с высокой точностью. Суть метода состоит в следующем. На прозрачную подложку наносится тонкая пленка из металла, на которую предварительно осаждается подготовленный для переноса массив наночастиц. Далее металлическая пленка освещается через прозрачную подложку коротким лазерным импульсом, нагревается и вздувается в результате термического расширения (см. рис.). Получив достаточную энергию, отдельные наночастицы «стряхиваются» с пленки и переносятся на приемную поверхность.



В какой момент времени после начала действия фемтосекундного лазерного импульса наночастицы золота (плотность $\rho = 19.32 \text{ г/см}^3$) диаметром $d = 40 \text{ нм}$ оторвутся от поверхности пленки, если известно, что при вздутии пленка движется с ускорением, изменяющимся по закону $a = A \cdot \sin(\omega t)$, где $A = 6 \cdot 10^7 \text{ м/с}^2$, $\omega = 2.5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$, общее время вздутия пленки составило 180 мкс, а сила притяжения, удерживающая наночастицы на пленке, равна $F_{\text{притяж}} = 30 \text{ пН}$? **(10 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 9. Лазерный перенос наночастиц

Наночастицы смогут оторваться от металлической пленки в случае, если сила инерции, возникающая вследствие ускоренного движения, превысит силу притяжения наночастиц к пленке. Запишем проекцию второго закона Ньютона для центральной наночастицы (из трех отделившихся на рисунке) на горизонтальную ось, направление которой совпадает с направлением движения наночастицы:

$$ma = N - F_{\text{притяж}}$$

где N – сила реакции со стороны пленки, а $F_{\text{притяж}}$ известна. В момент отрыва наночастицы сила N обращается в ноль, следовательно, ускорение должно удовлетворять «пограничному» условию:

$$a_0 = \frac{-F_{\text{притяж}}}{m}$$

где знак «минус» указывает на отрицательное значение ускорения, т.е. пленка с наночастицами замедляется, и именно в процессе замедления наночастицы могут в принципе оторваться от пленки. Исходя из синусоидального закона изменения ускорения со временем, отрицательные значения ускорения достигаются при $t > T/2$, где период синуса $T = \frac{2\pi}{\omega} \approx 251$ мкс, а наибольшее отрицательное значение ускорение соответствует моменту времени $\frac{3}{4}T \approx 188$ мкс.

Масса наночастицы: $m = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3 \rho \approx 6.5 \cdot 10^{-19}$ кг

«Пограничное» значение ускорения, при котором наночастицы начнут отрываться: $a \approx -4.6 \cdot 10^7$ м/с², что соответствует моментам времени:

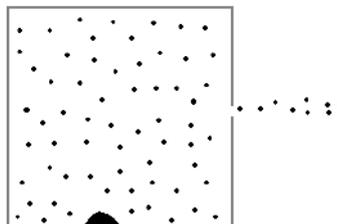
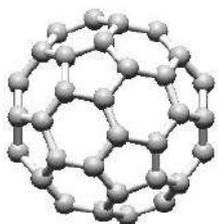
$$t_0 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{a_0}{A} = \frac{1}{2.5 \cdot 10^4} \arcsin(-0.766) \approx 160 \text{ или } 216 \text{ мкс,}$$

из которых только первый удовлетворяет условию $t_0 < 180$ мкс.

Ответ: 160 мкс.



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 10. Наномяч



В откачанную до высокого вакуума ячейку объемом 1 см^3 с квадратным отверстием размером 1 мкм , помещают навеску бакибола (фуллерена C_{60}) массой 10 мг . В результате в ячейке устанавливается температура 800 К . Считать, что молекула бакибола испытывает абсолютно упругие столкновения и является жесткой, кинетическая энергия распределяется одинаково по всем степеням свободы. Диаметр бакибола составляет 0.7 нм , масса атома углерода $m_{\text{C}} = 12 \text{ а.е.м.}$ Отличием средних от средних квадратичных скоростей можно пренебречь.

1. Из каких слагаемых состоит кинетическая энергия движущегося в пространстве бакибола? Сколько степеней свободы при таком движении имеет бакибол? **(1 балл)**
2. Основываясь на молекулярно-кинетической теории:
 - а) оцените среднюю скорость молекул бакибола **(2 балла)**;
 - б) примерно оцените среднюю частоту их вращения (в ГГц). **(3 балла)**
3. Оцените время, за которое навеска фуллерена полностью сублимируется, если парциальное давление фуллерена в камере при этом составляет 0.4 Па . **(3 балла)**
4. Как можно экспериментально измерить такое маленькое давление молекул бакиболов? **(1 балл)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 10. Наномяч в вакууме

1. Как и для мяча, кинетическая энергия бакибола складывается из двух слагаемых – кинетической энергии поступательного движения и кинетической энергии вращения. Фуллерен, как и мяч, будет иметь 6 степеней свободы: 3 поступательных (поступательное движение относительно осей x, y, z) и 3 вращательных (вращение в пространстве относительно осей x, y, z).
2. а) Поступательное движение фуллерена:

$$E = \frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2}kT \quad (2.1)$$

(на каждую из трех степеней свободы приходится энергия $1/2 \cdot kT$).

Тогда

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3kTN_a}{M}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (2.2)$$

(т.к. расчет производится для единичной молекулы).

Подставляя $M = 60m_c = 0,72$ кг/моль, находим среднюю скорость бакибола (на самом деле среднюю квадратичную, но, согласно условию, ее отличаем от средней пренебрегаем) при 800К, $v = \underline{166}$ м/с.

б) Рассмотрим вращение фуллерена. На три степени свободы вращения будет так же приходится кинетическая энергия вращения

$$3/2 \cdot kT. \quad (2.3)$$

Тогда кинетическая энергия вращения составит:

$$E = \sum_{i=1}^{60} \frac{m_c v_i^2}{2} = \sum_{i=1}^{60} \frac{m_c (r_i \omega)^2}{2} = \frac{I \omega^2}{2}, \quad (2.4)$$

где

- $I = \sum_{i=1}^{60} m_c r_i^2$ – момент инерции фуллерена,
- ω – средняя (средняя квадратичная) угловая скорость,
- m_c – масса атома углерода,
- r_i – расстояние i -го атома углерода от оси вращения,
- 60 – число атомов углерода в молекуле бакибола.

Поскольку расстояния всех атомов фуллерена до центра молекулы равны и число атомов углерода 60, что достаточно много, то для дальнейших оценок удобно приближенно считать бакибол полый сферой, вся масса которой равномерно распределена по поверхности. Момент инерции сферы составляет

$$I = 2/3 \cdot m r^2 \quad (2.5)$$

(формулу можно взять в справочнике или вывести путем несложного интегрирования).

Приравнявая (2.3) к (2.4), получаем уравнение

$$\frac{I\omega^2}{2} = \frac{3}{2} kT \quad (2.6)$$

Выражая ω из (2.6) и подставляя и ее, и (2.5) в

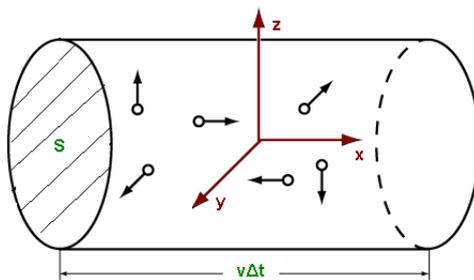
$$v = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}, \quad (2.7)$$

получаем:

$$v = \sqrt{\frac{9RT}{8\pi^2 M r^2}}, \quad (2.8)$$

$$v = \sqrt{\frac{9 \cdot 8,31 \cdot 800}{8 \cdot 3,14^2 \cdot 0,72 \cdot (0,35 \cdot 10^{-9})^2}} \approx 9,3 \cdot 10^{10} \text{ (Гц) или } \underline{\underline{93}} \text{ ГГц.}$$

3. Поскольку давление в процессе сублимации навески по условию постоянно, то скорость сублимации будет равна числу молекул бакибола, «столкнувшихся» с отверстием за единицу времени.



Для расчета этого потока, воспользуемся логикой вывода основного уравнения МКТ.

- Если считать, что направление движения каждой молекулы случайно, то вдоль оси x движется в среднем каждая третья молекула, из них половина движется к отверстию, а половина – от отверстия.
- Если в единице объема содержится C_N молекул газа, то в сторону отверстия по оси x будут двигаться примерно $1/6 \cdot C_N$ молекул (на самом деле $1/4 \cdot C_N$, но в рамках школьной программы это строго не выводится).
- За время Δt путь молекулы со скоростью v составит $v\Delta t$.
- Тогда, при концентрации молекул в единице объема C_N , через отверстие площадью S за время Δt камеру покинет $1/6$ количества молекул, находящихся в объеме изображенного на рисунке цилиндра, или

$$\Delta N = 1/6 \cdot C_N S v \Delta t. \quad (3.1)$$

- Концентрация молекул бакибола C_N в камере постоянна, поскольку по условию давление в течение всего процесса сублимации постоянно.
- Поскольку

$$pV = nRT = N/N_a \cdot RT = NkT \quad (3.2)$$

и, по определению,

$$C_N = N/V, \text{ то } C_N = p/(kT), \quad (3.3)$$

тогда:

$$\Delta N = \frac{1}{6} \cdot C_N S v \Delta t = \frac{pSv\Delta t}{6kT}. \quad (3.4)$$

Подставляя v из (2.2) в (3.4), получаем:

$$\Delta N = \frac{pS}{6kT} \sqrt{\frac{3RT}{M}} \Delta t = \frac{pSN_a}{2} \sqrt{\frac{1}{3MRT}} \Delta t \quad (3.5)$$

$$\text{Или } \Delta t = \frac{2\sqrt{3MRT}}{pS} \frac{\Delta N}{N_a} = \frac{2\sqrt{3MRT}}{pS} \Delta n = \frac{2m\sqrt{3RT}}{pS\sqrt{M}}, \quad (3.6)$$

и, учитывая, что $S = d^2$, получаем:

$$\Delta t = \frac{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \sqrt{3 \cdot 8,31 \cdot 800}}{0,4 \cdot (1 \cdot 10^{-6})^2 \sqrt{0,72}} = 8,3 \cdot 10^9 \text{ с.}$$

Найдем массу фуллерена, которая находится в виде пара в ячейке. Поскольку

$$pV = m/M \cdot RT \text{ и } V = a^3,$$

$$\text{то } m = \frac{pa^3M}{RT} = \frac{0,4 \cdot (1 \cdot 10^{-6})^3 \cdot 720}{8,31 \cdot 800} = 4,3 \cdot 10^{-20} \text{ г,} \quad (3.7)$$

следовательно, эту массу можно не учитывать по сравнению с массой навески фуллерена.

4. Установив напротив отверстия гибкий кантилевер или гибкую пластинку, можно по углу изгиба определить действующую на них силу, равную силе давления паров бакибола, приходящуюся на площадь отверстия. Следовательно, рассчитать давление в ячейке.

Как следует из предыдущего пункта, скорость сублимации бакибола также зависит от давления, поэтому, измеряя зависимость массы ячейки от времени, можно найти давление через тангенс угла наклона этой зависимости.



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 тестов [викторин по предметам](#). Все прошедшие на очный тур обязательно решают задачи по всем четырем предметам.

Задания

1. Практические нанотехнологии 18 века: опыт Бенджамин Франклина

О том, что пленка масла способна «сковывать» волнующуюся поверхность воды, знали еще в Древнем Риме. Однако первые количественные описания этого явления были сделаны Бенджамином Франклином. Ниже приведен текст из заметок Б. Франклина...

2. Полимеразная цепная реакция

Полимеразная цепная реакция (ПЦР) является одним из важнейших методов молекулярной биологии, который позволяет многократно «скопировать» исходную молекулу или фрагмент ДНК, и широко применяется как в научных исследованиях, так и в медицине и криминалистике...

3. Рассматривая двумерный углерод - net-Y

Многим из вас знаком двумерный углерод – графен, представляющий собой шестиугольную сетку, в узлах которой находятся атомы углерода (см. рис. в файле задачи). Большой интерес к этому материалу вызванный, в том числе, его уникальными электронными свойствами...

4. Симметричные фуллерены: C₂₀, C₂₀₀₀ и C₂₀₂₀

Молекулы фуллеренов C_N представляют собой выпуклые многогранники, имеющие только пяти- и шестиугольные грани, в каждой вершине которых находится атом углерода и сходится по три ребра. Для фуллерена C₂₀₂₀ рассчитайте число ребер, пяти- и шестиугольных граней...

5. От фуллеренов к боросференам

Предсказание в 1973 и открытие в 1985 году каркасных молекул, состоящих только из атомов углерода – фуллеренов – вдохновили ученых всего мира на поиски подобных структур и для других элементов, в том числе, при помощи методов компьютерного моделирования...

6. Нанопружинка

По рисунку в файле задачи оцените параметры спирали: ширину формирующей ее ленты w , диаметр D и шаг H спирали. Исходя из полученных данных, рассчитайте длину витка спирали L и угол ее закрутки α . Какова длина ленты l_{nb} , формирующей спираль...

7. Строим полые кластеры из металла

Рассмотрим полые металлические кластеры (ПМК) как металлическую оболочку толщиной в один атом, имеющую форму многогранника (см. рис. в файле задачи), такого, что все его ребра равны между собой. Эту оболочку легко представить как вырезанную и склеенную «выкройку»...

8. Моделирование металлических нанотрубок

Для доклада на конференции юному нанотехнологу Полуэктору понадобилась иллюстрация с вложенными друг в друга металлическими нанотрубками. Найти требуемые картинки в Интернете он не смог, поэтому Вам предстоит помочь Полуэктору и написать программу...

9. Золотое веретено

Если на двух противоположных гранях нанокластера золота в виде куба «нарастить» по квадратной пирамиде, то получим равностороннюю удлиненную квадратную бипирамиду – «золотое веретено». Выведите зависимость общего числа атомов N от числа атомов n , приходящегося на его ребро...

10. Закрытые углеродные нанотрубки

Закрытые углеродные нанотрубки (ЗУНТ) имеют на каждом торце «шапочку», представляющую собой половинку фуллерена. ЗУНТ так же, как и открытые УНТ (см. рис. в файле задачи), можно представить в виде выкройки на графеновом листе...

Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 1. Практические нанотехнологии 18 века: опыт Бенджамина Франклина



*Клэпхэмский пруд, на котором через 200 лет был повторен опыт с маслом:
слева поверхность с волнами до того, как капнули масло,
справа – область штиля, образованная растекшейся каплей масла.*

О том, что пленка масла способна «сковывать» волнующуюся поверхность воды, знали еще в Древнем Риме. Однако первые количественные описания этого явления были сделаны Бенджамином Франклином. Ниже приведен текст из заметок Б. Франклина, которые он прочитал перед Лондонским королевским обществом в 1774 году:

«Часто бывая в Клэпхэме, там, где в общественном парке есть большой пруд, в один из дней я заметил на поверхности пруда сильное волнение от ветра, и, достав бутылочку с маслом¹, капнул немного масла в воду. Я увидел, как оно с удивительной быстротой растекается по поверхности, однако эффекта сглаживания волн это не произвело, поскольку я сначала испробовал масло там, где были наибольшие волны – с подветренной стороны пруда – и ветер сдул мое масло обратно к берегу. Тогда я перешел на наветренную сторону, откуда волны начинали формироваться, и там вылитое на воду масло, несмотря на то, что его было не более чайной ложки, произвело мгновенное затишье на площадке в несколько ярдов². Поразительно, как масло распространялось по поверхности, пока, постепенно растекаясь, не достигло подветренного берега, делая всю эту часть пруда (примерно в пол-акра³ площадью) гладкой как зеркало!»

Франклин первым отметил, что капля масла на воде может растекаться по такой большой площади, что пленка становится невидимой глазом, и только область «сковывания» волн указывает на ее границы. Позже, в конце 19-го века лорд Рэлей продолжил опыты Бенджамина Франклина с маслом и предположил, что минимальная толщина пленки ограничена размером молекул, из которых состоит масло.

1. Оцените минимальную толщину пленки масла, которую получил Б. Франклин, если объем английской чайной ложки составляет 3,5 мл. **(2,5 балла)**
2. Оцените массу одной молекулы (в граммах), из которых состоит масло, считая, что: толщина образовавшейся пленки равна высоте молекул, все молекулы имеют форму куба и занимают один и тот же объем как в масле, так и в пленке. **(3,5 балла)**

¹Оливковое масло, плотность 0,91 кг/л.

²Ярд – британская и американская мера длины, считать равным 91 см.

³Акр – мера площади, применяемая в ряде стран с английской системой мер, один акр равен 4840 квадратным ярдам.

Всего – 6 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 1. Практические нанотехнологии 18 века: опыт Бенджамина Франклина

1. Площадь пленки оливкового масла в опыте Бенджамина Франклина составляет

$$S = 0,5 \cdot 1 \text{ акр} = 0,5 \cdot 4840 \text{ ярд}^2 = 2420 \cdot 0,91^2 \text{ м}^2 \approx 2004 \text{ м}^2.$$

Значит, высота пленки равна

$$h = V/S = 3,5 \cdot 10^{-6} / 2004 \approx 1,7 \cdot 10^{-9} \text{ м} = \underline{\underline{1,7 \text{ нм}}}.$$

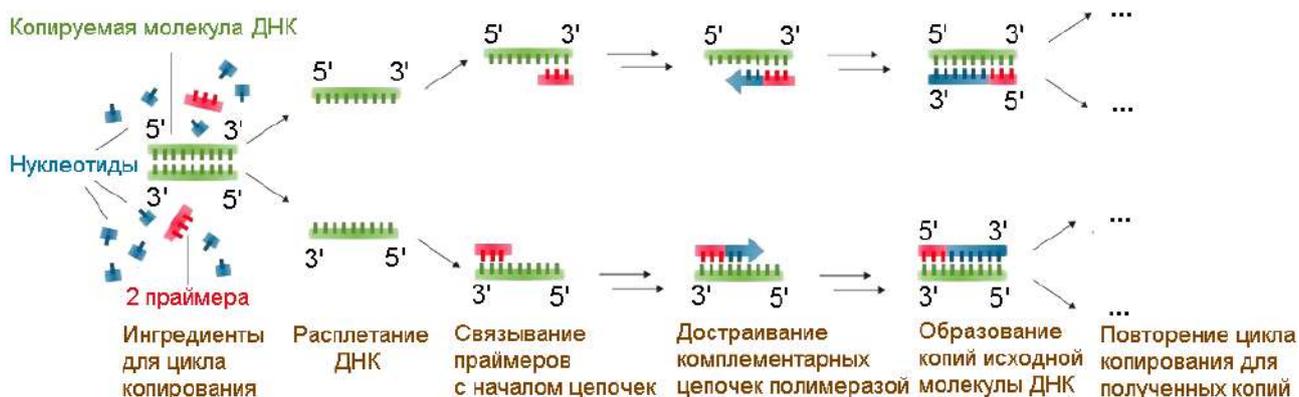
2. Объем одной молекулы составляет h^3 , число молекул масла в одной английской чайной ложке N составляет V/h^3 , тогда масса одной молекулы равна

$$m_0 = m/N = \rho V/N = \rho \cdot h^3;$$
$$m_0 = 0,91 \cdot (1,7 \cdot 10^{-9} \cdot 100)^3 \approx \underline{\underline{4,5 \cdot 10^{-21} \text{ г}}}.$$

В пересчете на 1 моль ($6 \cdot 10^{23}$ молекул) это приводит к массе 2700 г, что является величиной того же порядка, что и масса 1 моля триолеина – 885 г, основного компонента оливкового масла. Это неплохая оценка, с учетом множества допущений и больших погрешностей в исходных данных эксперимента 18 века.

Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 2. Полимеразная цепная реакция



Полимеразная цепная реакция (ПЦР) является одним из важнейших методов молекулярной биологии, который позволяет многократно «скопировать» исходную молекулу или фрагмент ДНК, и широко применяется как в научных исследованиях, так и в медицине и криминалистике.

Рассмотрим такую последовательность циклов копирования (см. рис.) N_D исходных молекул ДНК¹, что:

- в каждом цикле для каждой молекулы происходит полное формирование ее копий;
- все используемые праймеры одинаковы;
- до начала копирования число праймеров N_p превышает N_D в 2050 раз;
- в ходе копирования праймеры расходуются полностью.

1. Во сколько раз после проведения ПЦР увеличится число исходных молекул ДНК? Какое количество циклов копирования (n) при этом пройдет? **(4 балла)**
2. В каком по счету цикле копирования впервые образуются молекулы ДНК, у которых обе цепочки не были выращены по цепочкам исходных копируемых молекул ДНК? Рассчитайте количество таких молекул ДНК (N_S), если изначально было $N_D = 2 \cdot 10^9$ исходных молекул ДНК. **(4 балла)**

¹ Молекула ДНК состоит всего из четырех букв-нуклеотидов: А, С, Г, Т. Буквы ДНК из одной цепочки способны связываться попарно ($A \Leftrightarrow T, G \Leftrightarrow C$) с буквами из противоположной цепочки, называемой комплементарной.

Всего – 8 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 2. Полимеразная цепная реакция

1. Выведем в общем виде формулу, связывающую число исходных экземпляров ДНК (N_D), число праймеров N_p до начала копирования и число циклов копирования n . Для этого запишем изменение числа экземпляров ДНК N от цикла к циклу:

- 1-й цикл:
каждая из N_D молекул ДНК расплетается и с $2N_D$ цепочек связываются $2N_D$ праймеров, формируя $N = 2N_D$ молекул ДНК;
- 2-й цикл:
каждая из $2N_D$ молекул ДНК расплетается и с $2N_D + 2N_D = 4N_D$ цепочек связываются $4N_D$ праймеров, формируя $N = 4N_D$ молекул ДНК;
- 3-й цикл:
каждая из $2N_D$ молекул ДНК расплетается и с $4N_D + 4N_D = 8N_D$ цепочек связываются $8N_D$ праймеров, формируя $N = 8N_D$ молекул ДНК;
- ...
- n -й цикл:
каждая из $2^{n-1}N_D$ молекул молекула ДНК расплетается и с $2^{n-1}N_D + 2^{n-1}N_D = 2^n N_D$ цепочек связываются $2^n N_D$ праймеров, формируя $N = 2^n N_D$ молекул ДНК.

Общее число праймеров, израсходованных в n циклах, составляет

$$N_p = 2N_D + 4N_D + 8N_D + \dots + 2^n N_D = \sum_1^n 2^k N_D = (2^{n+1} - 2)N_D$$

Тогда число циклов, обеспеченных праймерами, составляет

$$n = \log_2 \left(\frac{N_p}{N_D} + 2 \right) - 1$$

$$n = \log_2 (2050 + 2) - 1 \approx 11 - 1 = \underline{10}.$$

То есть, при проведении 10 циклов ПЦР количество экземпляров ДНК увеличится в

$$2^n = 2^{10} = \underline{1024 \text{ раза}}.$$

2. Далее будем называть:

- *матричными* — исходные молекулы ДНК, существующие только до начала ПЦР;
- *гибридными I-го типа* — молекулы ДНК, в которых одна из цепочек синтезирована по матричной, а другая — матричная, впервые они появляются в первом цикле ПЦР;
- *гибридными II-го типа* — молекулы ДНК, в которых одна из цепочек синтезирована по матричной, а другая — не по ней, впервые они появляются во втором цикле ПЦР;
- *специфическими* — искомые молекулы ДНК, в которых обе цепочки синтезированы не по матрице, впервые они появляются в третьем цикле ПЦР.

Запишем, как при проведении ПЦР от цикла к циклу меняется количество молекул ДНК каждого из типов:

- 1-й цикл:
все $2N_D$ молекул ДНК – гибридные I-го типа;
- 2-й цикл:
 $2N_D$ гибридных I-го типа и $2N_D$ гибридных II-го типа;
- 3-й цикл:
 $2N_D$ гибридных I-го типа, $4N_D$ гибридных II-го типа, $2N_D$ специфических молекул ДНК.

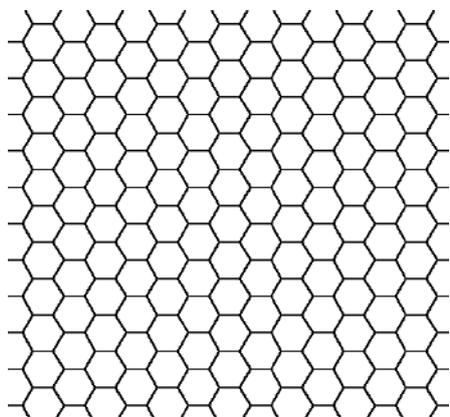
То есть, по окончании n циклов общее число специфических молекул ДНК составляет

$$N_S = (2^n - 2n)N_D.$$

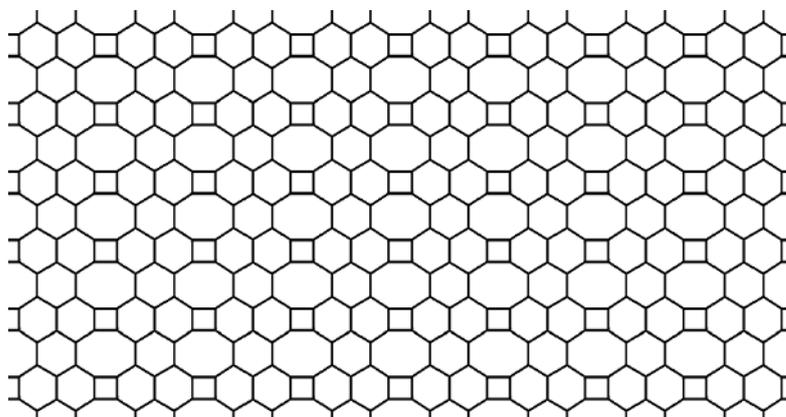
Тогда

$$N_S = (2^{10} - 2 \cdot 10) \cdot N_D = 1004N_D = 1004 \cdot 2 \cdot 10^9,$$

$$N_S = 2,008 \cdot 10^{12}.$$



а



б

Многим из вас знаком двумерный углерод – графен, представляющий собой шестиугольную сетку, в узлах которой находятся атомы углерода (рис. а). Большой интерес к этому материалу вызванный, в том числе, его уникальными электронными свойствами, подталкивает ученых всего мира к поиску новых форм двумерного углерода. На рисунке б представлена одна из таких структур, предсказанных при помощи моделирования, – net-Y.

1. Рассмотрите структуру net-Y. Из каких разных многоугольников она состоит? Найдите, посчитайте и опишите неэквивалентные (то есть, имеющие разное окружение):
 - многоугольники каждого типа;
 - узлы (атомы углерода);
 - ребра. **(4 балла)**
2. Выделите минимально возможную прямоугольную область – ячейку, – повторение которой позволяет полностью воспроизвести net-Y. Найдите число узлов и число многоугольников каждого типа, приходящееся на ячейку. **(2 балла)**
3. Во сколько раз лист net-Y легче/тяжелее листа графена такой же площади? **(2 балла)**

Считать, что:

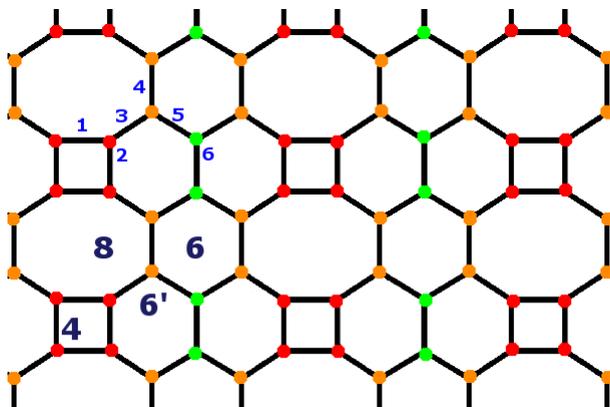
- net-Y имеет плоскую структуру;
- четырех- и шестиугольники в net-Y являются правильными;
- длина всех ребер net-Y одинакова и равна длине ребра в графене.

Всего – 8 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 3. Рассматривая двумерный углерод – net-Y

1.



В структуре net-Y мы можем выделить три неэквивалентных по размеру многоугольника: **M4**, **M6** и **M8**, содержащие 4, 6 и 8 углов, соответственно.

В то же время, можно видеть, что в структуре этого двумерного углерода шестиугольники имеют два типа окружения (см. рис.):

8-6-6-8-6-6 (**M6**) и 4-8-6-6-6-8 (**M6'**).

То есть, всего 4 типа неэквивалентных многоугольников:

M4, M6, M6' и M8.

Отметим, что шестиугольники, граничащие с квадратом, относятся к одному типу, поскольку совпадают при повороте структуры на 180°.

По структурному окружению можно выделить три неэквивалентных типа узлов двумерной структуры (см. рис.):

- **У1:** 46'8 (красный),
- **У2:** 66'8 (оранжевый),
- **У3:** 66'6' (салатовый).

Узлы в структуре этого двумерного углерода соединяют 6 неэквивалентных видов ребер (см. рис.):

- **P1:** У1-У1 (разграничивает M4 и M8),
- **P2:** У1-У1 (разграничивает M4 и M6'),
- **P3:** У1-У2,
- **P4:** У2-У2,
- **P5:** У2-У3,
- **P6:** У3-У3.

То есть, на некую площадь S_1 будет приходиться

$$N_{\text{net-У}} = 10S_1/S_{\text{Cnet-У}} \text{ атомов углерода.}$$

Найдем соотношение числа атомов, приходящихся на равную площадь, в net-У и в графене:

$$N_{\text{net-У}}/N_g = (10S_1/S_{\text{Cnet-У}})/(S_1/S_{\text{Cg}}) = 10S_{\text{Cg}}/S_{\text{Cnet-У}},$$

$$N_{\text{net-У}}/N_g = 10 \frac{1,5a^2\sqrt{3}/2}{3a^2(1+2\sqrt{3})} = \frac{5\sqrt{3}}{2(1+2\sqrt{3})} = 0,97.$$



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 4. Симметричные фуллерены: C_{20} , C_{2000} и C_{2020}

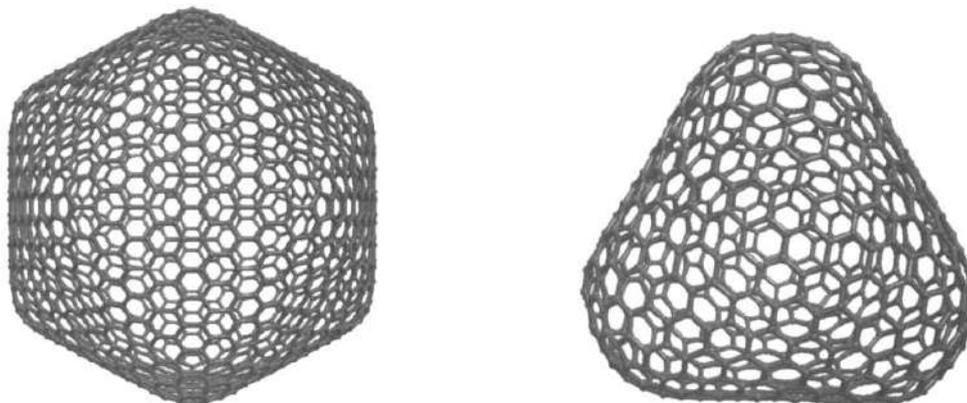


Рис. 1. Пример молекул гигантских икосаэдрического и тетраэдрического фуллеренов. Общее число атомов углерода в таких молекулах можно записать как $N_I = 20(n^2 + nm + m^2)$ и $N_T = 4(n^2 + nm + m^2) - 8$, соответственно (где n и m – некоторые целые неотрицательные числа).

Молекулы фуллеренов C_N представляют собой выпуклые многогранники, имеющие только пяти- и шестиугольные грани, в каждой вершине которых находится атом углерода и сходится по три ребра.

1. Для фуллерена C_{2020} рассчитайте число ребер, пяти- и шестиугольных граней, воспользовавшись теоремой Эйлера для выпуклых многогранников. **(1 балл)**

Рассмотрим далее две симметрии фуллеренов – икосаэдрическую и тетраэдрическую (рис. 1).

2. Для каждой из них определите и выразите через общее число атомов (N_I и N_T , соответственно) диапазон возможных значений ($n \in [n_{\min}, n_{\max}]$, $m \in [m_{\min}, m_{\max}]$). **(3 балла)**

Чтобы определить, может ли фуллерен C_N с общим числом атомов N принадлежать к заданному типу симметрии, надо записать $N(n, m)$ для этого типа и затем из диапазона ($n \in [n_{\min}, n_{\max}]$, $m \in [m_{\min}, m_{\max}]$) подобрать решение полученного уравнения в целых числах.

3. Установите возможные типы симметрии для фуллеренов C_{20} , C_{2000} и C_{2020} и определите соответствующие им значения (n, m) . Есть ли среди них изомеры¹? Поясните ход решения. **(4 балла)**

¹Фуллерены с одинаковым общим числом атомов N , но разными значениями (n, m) называются изомерами. Пары типа $(5,1)$ и $(1,5)$ в рамках данной задачи изомерами не считаются.

Всего – 8 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 4. Симметричные фуллерены: C_{20} , C_{2000} и C_{2020}

1. Запишем в общем виде число вершин, ребер и граней:

- Общее число граней:

$$F = F_5 + F_6.$$

- Общее число ребер (одна грань принадлежит двум ребрам):

$$E = 1/2 \cdot (5F_5 + 6F_6) = 1,5V.$$

- Общее число вершин (одна вершина принадлежит трем граням, как можно видеть из рисунка):

$$V = 1/3 \cdot (5F_5 + 6F_6).$$

Тогда, подставляя в теорему Эйлера, получаем:

$$1/3 \cdot (5F_5 + 6F_6) - 1/2 \cdot (5F_5 + 6F_6) + F_5 + F_6 = 2$$

$$F_5 = 12.$$

Тогда

$$F_6 = 0,5V - 10.$$

$$V = 2020, E = 3030, F_5 = 12, F_6 = 1000.$$

2. Оба вида зависимостей упрощаются до неполной суммы квадратов, приравненной к некоторому числу:

$$n^2 + nm + m^2 = a$$

(для икосаэдра $a = N_I/20$, для тетраэдра $a = (N_T + 8)/4$).

Для начала, найдем диапазон возможных значений (n, m) , выраженный через a .

Поскольку пары типа (n, m) и (m, n) – это одно и то же, с точностью до перестановки, то логично ограничить диапазон по m сверху как:

$$n \geq m \quad (0 \leq m \leq n, m \in [0, n]).$$

Как следствие из условия $n \geq m$, неполная сумма квадратов принимает свое максимальное значение при $n = m$:

$$n^2 + n \cdot n + n^2 = 3n^2.$$

Приравнивая его к a , получаем величину $n = m = \sqrt{a/3}$.

При снижении значения n ниже, чем $\sqrt{a/3}$, неполная сумма квадратов будет заведомо меньше a , то есть, диапазон по n ограничен снизу как:

$$n \geq \sqrt{a/3} = n_{\min}.$$

В свою очередь, значение неполной суммы квадратов минимально при $m = 0$:

$$n^2 + n \cdot 0 + 0^2 = n^2.$$

Приравнивая к **a**, получаем величину $n = \sqrt{a}$.

Как при $n = \sqrt{a}$ и росте значения **m**, так и при росте значения **n** выше, чем \sqrt{a} и **m** = 0, неполная сумма квадратов будет заведомо больше **a**, то есть, диапазон по **n** ограничен сверху как:

$$n \leq \sqrt{a} = n_{\max}.$$

Следовательно, в общем виде, диапазон возможных значений можно записать как:

$$\sqrt{a/3} \leq n \leq \sqrt{a} \text{ и } 0 \leq m \leq n \text{ (} n \in [\sqrt{a/3}, \sqrt{a}], m \in [0, n]).$$

В случае икосаэдрической симметрии:

$$n \in [\sqrt{N_I/60}, \sqrt{N_I/20}].$$

В случае симметрии тетраэдра:

$$n \in [\sqrt{(N_T + 8)/12}, \sqrt{(N_T + 8)/4}].$$

3. Поиск решений квадратного уравнения с двумя неизвестными можно проводить как путем простого перебора возможных значений (вручную, либо написав несложную программу), так и составив таблицу значений для неполной суммы квадратов, например, в программе Excel.

При ручном переборе, для значений **n** вблизи $\sqrt{a/3}$ следует преимущественно рассматривать значения **m**, близкие к $n = m$, а для значений **n** вблизи \sqrt{a} – значения **m**, близкие к 0.

Проверим, могут ли данные фуллерены быть икосаэдрическими.

C₂₀:

$$20(n^2 + nm + m^2) = 20$$

$$n^2 + nm + m^2 = 1$$

$$0 \leq n \leq 1 \text{ и } 0 \leq m \leq n$$

Данным условиям удовлетворяет только одна пара чисел:

$$n = 1, m = 0$$

C₂₀ может быть икосаэдрическим фуллереном.

C₂₀₀₀:

$$20(n^2 + nm + m^2) = 2000$$

$$n^2 + nm + m^2 = 100$$

$$6 \leq n \leq 10 \text{ и } 0 \leq m \leq n$$

Данным условиям удовлетворяет только одна пара чисел¹:

$$n = 10, m = 0$$

C₂₀₀₀ может быть икосаэдрическим фуллереном.

C₂₀₂₀:

$$20(n^2 + nm + m^2) = 2020$$

$$n^2 + nm + m^2 = 101$$

$$6 \leq n \leq 10 \text{ и } 0 \leq m \leq n$$

Уравнение не имеет решений в натуральных числах²,
 для C₂₀₂₀ икосаэдрический тип симметрии невозможен.

¹Все остальные пары чисел из рассматриваемого диапазона дают либо большее, либо меньшее значение в диапазоне [36, 300], например, для **n = m = 6**,

$$n^2 + nm + m^2 = 108.$$

²Любые пары чисел из рассматриваемого диапазона дают либо большее, либо меньшее значение в диапазоне [36, 300].

Проверим, могут ли данные фуллерены быть тетраэдрическими.

C₂₀:

$$4(n^2 + nm + m^2) - 8 = 20$$

$$n^2 + nm + m^2 = 7$$

$$2 \leq n \leq 3 \text{ и } 0 \leq m \leq n$$

Данным условиям удовлетворяет только одна пара чисел:

$$n = 2, m = 1$$

C₂₀ может рассматриваться как тетраэдрический фуллерен.

C₂₀₀₀:

$$4(n^2 + nm + m^2) - 8 = 2000$$

$$n^2 + nm + m^2 = 502$$

$$13 \leq n \leq 22 \text{ и } 0 \leq m \leq n$$

Уравнение не имеет решений в натуральных числах,
 для C₂₀₀₀ тетраэдрический тип симметрии невозможен.

C₂₀₂₀:

$$4(n^2 + nm + m^2) - 8 = 2020$$

$$n^2 + nm + m^2 = 507$$

$$13 \leq n \leq 22 \text{ и } 0 \leq m \leq n$$

Уравнение имеет два целочисленных решения:

$$n = m = 13$$

$$\text{и изомер } n = 22, m = 1$$

C₂₀₂₀ может быть тетраэдрическим фуллереном.

Подводя итог, получаем:

- для C₂₀: икосаэдрический (с **n = 1, m = 0**), и тетраэдрический (с **n = 2, m = 1**), изомеры отсутствуют;
- для C₂₀₀₀ возможен только икосаэдрический тип симметрии(с **n = 10, m = 0**), изомеры отсутствуют;
- для C₂₀₂₀ возможен только тетраэдрический тип симметрии, существуют два изомера, (13, 13) и (22, 1).

Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 5. От фуллеренов к боросференам

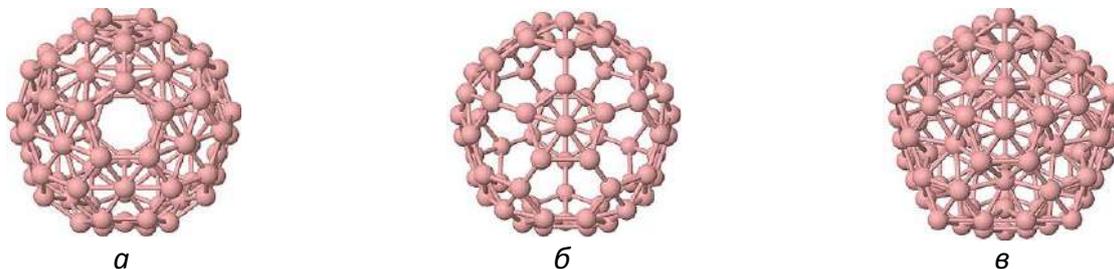


Рис. 1. Три способа преобразования структуры фуллерена в боросферен на примере бакибола C_{60} . Сначала атомы углерода заменяются на атомы бора, затем дополнительные атомы бора добавляются: а) только на шестиугольные грани (способ I), б) только на пятиугольные грани (способ II), в) и на шестиугольные, и на пятиугольные грани (способ III).

Предсказание в 1973 и открытие в 1985 году каркасных молекул, состоящих только из атомов углерода – фуллеренов – вдохновили ученых всего мира на поиски подобных структур и для других элементов, в том числе, при помощи методов компьютерного моделирования. Одним из таких элементов является бор. К 2007 году было доказано, что полный структурный аналог самого известного фуллерена, бакибола – B_{60} , – нестабилен. Однако, его стабильность можно повысить, если расположить в центрах граней дополнительные атомы бора (см. рис. 1).

1. Сколько пяти- и шестиугольных граней в структуре бакибола C_{60} ? **(1 балл)**
2. Сколько атомов бора в боросференах, полученных из бакибола способами I-III? **(1,5 балла)**
3. Для каждого из способов I-III запишите, каким образом число атомов бора N_B в молекуле боросферена связано с числом атомов углерода N_C в произвольном исходном фуллерене. **(1,5 балла)**
4. Найдите минимальное значение N_B для боросференов, которые можно получить способами I-III из трех самых маленьких фуллеренов – C_{20} , C_{24} , C_{26} . **(2 балла)**

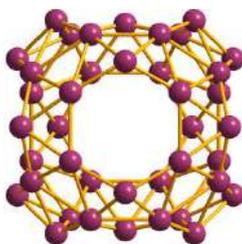


Рис. 2.

Структура каркаса экспериментально полученного в 2014 году боросферена B_{40} заметно отличается от предсказанной в 2007 году (см. рис. 2).

5. Преобразованиями I-III каких фуллеренов могла бы быть получена молекула, состоящая из 40 атомов бора? **(2 балла)**

Всего – 8 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 5. От фуллеренов к боросференам

1. В бакиболе, имеющем форму правильного усеченного икосаэдра, 12 пятиугольных и 20 шестиугольных граней.

2. I способ: $60 + 20 = 80$, V_{80} ,
 II способ: $60 + 12 = 72$, V_{72} ,
 III способ: $60 + 20 + 12 = 92$, V_{92} .

3. В многограннике, отвечающем произвольному фуллерену с N_C атомов углерода, 12 пятиугольных граней и $0,5N_C - 10$ шестиугольных. Тогда:

I способ: $N_B = N_C + 0,5N_C - 10 = 1,5N_C - 10$ атомов бора,
 II способ: $N_B = N_C + 12$ атомов бора,
 III способ: $N_B = 1,5N_C + 2$ атомов бора.

4. 1) Рассчитаем N_B для $N_C = 20$ (самого маленького фуллерена):

I $N_B = 20$ – каркас не меняется, то есть, нет преобразования, дающего боросферен,
 II $N_B = 32$
 и III $N_B = 32$ – это один и тот же боросферен (поскольку многогранник, отвечающий самому маленькому фуллерену, не имеет шестиугольных граней).

2) Рассчитаем N_B для $N_C = 24$:

I $N_B = 26$,
 II $N_B = 36$,
 III $N_B = 38$.

3) Рассчитаем N_B для $N_C = 26$:

I $N_B = 29$,
 II $N_B = 38$,
 III $N_B = 41$.

Минимальное значение N_B , для боросференов, которые можно получить из трех самых маленьких фуллеренов – это 26.

5. I $1,5N_C - 10 = 40$, уравнение не имеет целочисленного решения.
 II $N_C + 12 = 40$, $N_C = \underline{28}$.
 III $1,5N_C + 2 = 40$, уравнение не имеет целочисленного решения.

Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 6. Нанопружинка

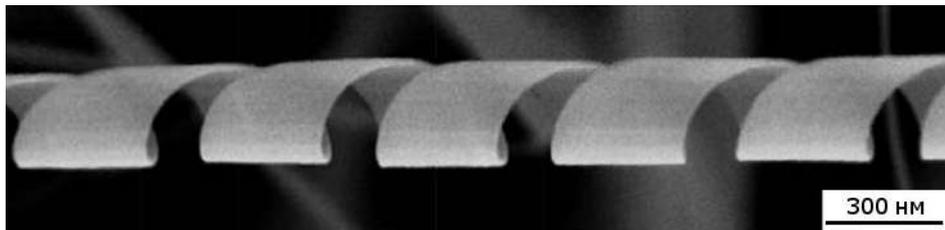
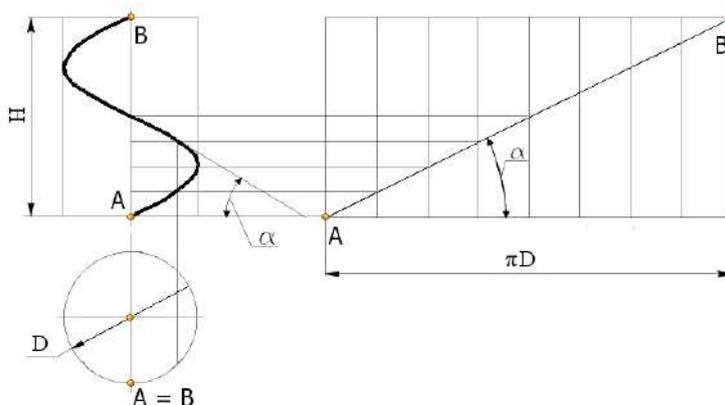


Рис. 1. Микрофотография свернувшейся в спираль наноленты из оксида цинка, полученная при помощи электронного сканирующего микроскопа.

1. По рисунку 1 оцените параметры¹ спирали: ширину формирующей ее ленты w , диаметр D и шаг H спирали. **(2 балла)**
2. Исходя из полученных данных, рассчитайте длину витка спирали L и угол ее закрутки α . Какова длина ленты $l_{\text{нб}}$, формирующей спираль, если последняя состоит из 10 витков? **(2 балла)**

В то же время, микрофотография не позволяет точно определить толщину ленты d .

3. Рассчитайте d , если известно, что спираль с такими же, как и на микрофотографии, значениями w , D , H и длиной спирали $L_{\text{сп}} = 100 \text{ мкм}$ имеет массу $m = 7 \cdot 10^{-3} \text{ нг}$. Плотность оксида цинка составляет $\rho = 5,61 \text{ г/см}^3$. **(3 балла)**



¹Рис .2. Схематическое изображение спирали: D – диаметр, H – шаг, α – угол подъема спирали. При разворачивании цилиндра, на который «намотана» спираль, она изобразится в виде прямой. Длина отрезка $AB = L$ называется длиной витка спирали.

Всего – 7 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 6. Нанопружинка

1. Чтобы оценить по изображению требуемые параметры, каждый из них четырежды (для разных витков) измеряем линейкой, затем полученные величины усредняем и переводим в нанометры пропорционально длине бара.

Полученные таким образом средние значения составляют:

$$\begin{aligned} \text{ширина ленты } \mathbf{w} &= 336 \text{ нм,} \\ \text{диаметр спирали } \mathbf{D} &= 271 \text{ нм,} \\ \text{шаг спирали } \mathbf{H} &= 468 \text{ нм.} \end{aligned}$$

2. Длину витка спирали рассчитываем по теореме Пифагора, исходя из величины шага спирали и ее диаметра:

$$\mathbf{L} = \sqrt{H^2 + (\pi D)^2} = \sqrt{468^2 + (3,14 \cdot 271)^2} \approx \underline{971 \text{ нм.}}$$

Угол закрутки спирали находим как арктангенс соотношения шага спирали и длины образуемой ей окружности:

$$\alpha = \arctg(H/(\pi D)) = \arctg(468/(3,14 \cdot 271)) = \underline{28,8^\circ}.$$

Длина ленты, формирующей спираль, равна длине витка спирали, помноженной на число витков:

$$\mathbf{l}_{nb} = \mathbf{NL} = 10 \cdot 971 = 9,71 \cdot 10^3 \text{ нм} = \underline{9,71 \text{ мкм.}}$$

3. Спираль длиной $\mathbf{L}_{sp} = 100 \text{ мкм}$ имеет

$$\mathbf{N} = \mathbf{l}_{sp}/\mathbf{H} = 100000/468 = 214 \text{ витков,}$$

что отвечает ленте длиной

$$\mathbf{l}_{nb} = \mathbf{NL} = 214 \cdot 971 = 207794 \text{ нм} = 0,207794 \approx 0,2 \text{ мм.}$$

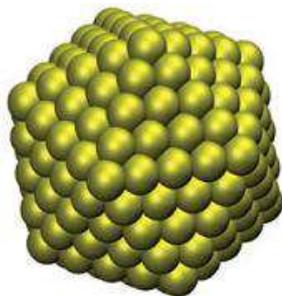
Объем ленты составляет $\mathbf{V} = \mathbf{w l}_{nb} \mathbf{d}$, в то же время, он равен $\mathbf{V} = \mathbf{m}/\rho$.

Следовательно,

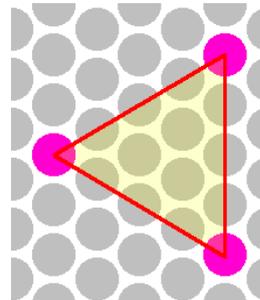
$$\begin{aligned} \mathbf{d} &= \mathbf{m}/(\rho \mathbf{w l}_{nb}) \\ \mathbf{d} &= 7 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-9} / (5,61 \cdot 10^6 \cdot 336 \cdot 10^{-9} \cdot 2,07794 \cdot 10^{-4}) = 17,9 \cdot 10^{-9} \text{ м} \approx \underline{18 \text{ нм.}} \end{aligned}$$



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 7. Строим полые кластеры из металла



а

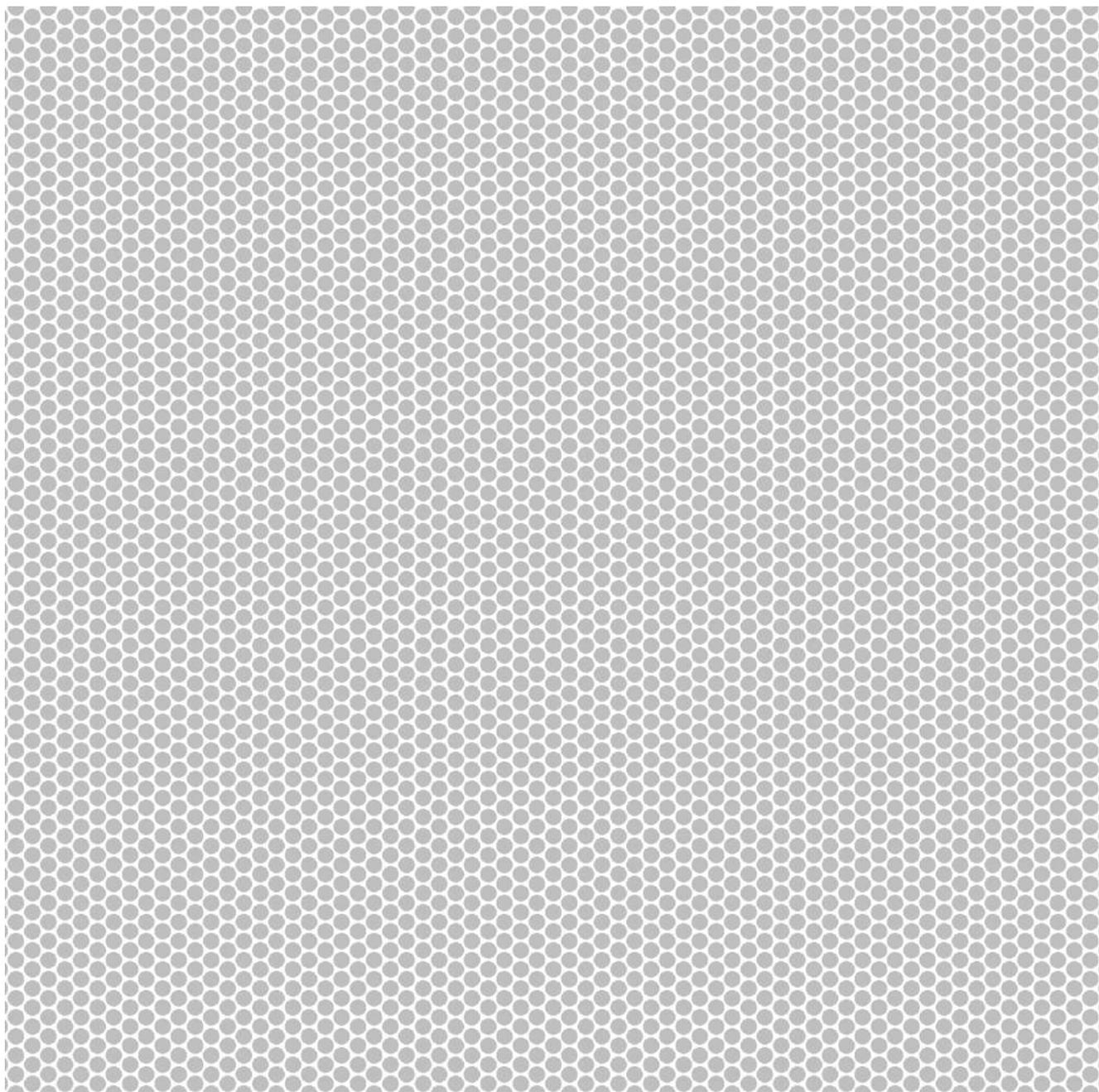


б

Рис. 1. а) Пример ПМК. б) Единичный треугольник «выкройки» – грань ПМК.

Рассмотрим полые металлические кластеры (ПМК) как металлическую оболочку толщиной в один атом, имеющую форму многогранника (рис. 1а), такого, что все его ребра равны между собой. Эту оболочку легко представить как вырезанную и склеенную «выкройку» из листа атомов металла, составленную из равносторонних треугольников (рис. 1б). При этом в местах склейки вершин «выкройки» (отмечены на единичном треугольнике розовым цветом) атом металла меняет число соседей в зависимости от того, сколько треугольных фрагментов сходится в вершине соответствующего многогранника.

1. Сколько соседей могут иметь атомы металла, расположенные в местах склейки единичных треугольников «выкройки» (то есть, сколько типов вершин могут иметь многогранники ПМК)? **(1 балл)** Какие еще правильные многоугольники могут быть гранями ПМК? **(1 балл)**
2. Воспользовавшись теоремой Эйлера для выпуклых многогранников, найдите и опишите (указав число вершин, ребер и граней) все многогранники, гранями которых являются треугольники, а вершины относятся не более чем к двум типам одновременно. **(6 баллов)**
3. Какие из этих многогранников можно построить из правильных треугольников, а какие – нет? Для ответа на вопрос воспользуйтесь схемой листа из атомов металла, приведенной в конце задачи, и нарисуйте «выкройку» из единичных треугольников (рис. 1б) для всех возможных многогранников. **(6 баллов)**



Всего – 14 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 7. Строим полые кластеры из металла

1. Треугольники «выкройки» могут сходиться вместе по 3, 4, 5 и 6 штук. Но в последнем случае они образуют не вершину многогранника, а грань второго типа – в форме правильного шестиугольника. Следовательно, всего возможно три типа вершин.
2. Обозначим нижним индексом число треугольников, сходящихся в одной вершине, тогда суммарно в многограннике:

- число вершин

$$V = V_3 + V_4 + V_5,$$

- число ребер

$$E = 0,5(3V_3 + 4V_4 + 5V_5),$$

- число граней

$$F = 1/3(3V_3 + 4V_4 + 5V_5).$$

Запишем теорему Эйлера для выпуклых многогранников:

$$V_3 + V_4 + V_5 - 0,5(3V_3 + 4V_4 + 5V_5) + 1/3(3V_3 + 4V_4 + 5V_5) = 2.$$

Упрощая, получаем

$$3V_3 + 2V_4 + V_5 = 12.$$

Варьируя V_3 , V_4 и V_5 , найдем все возможные целочисленные решения полученного уравнения, отвечающие условию — не более двух типов вершин одновременно (то есть, такие решения, в которых как минимум одна из величин V_3 , V_4 и V_5 равна нулю).

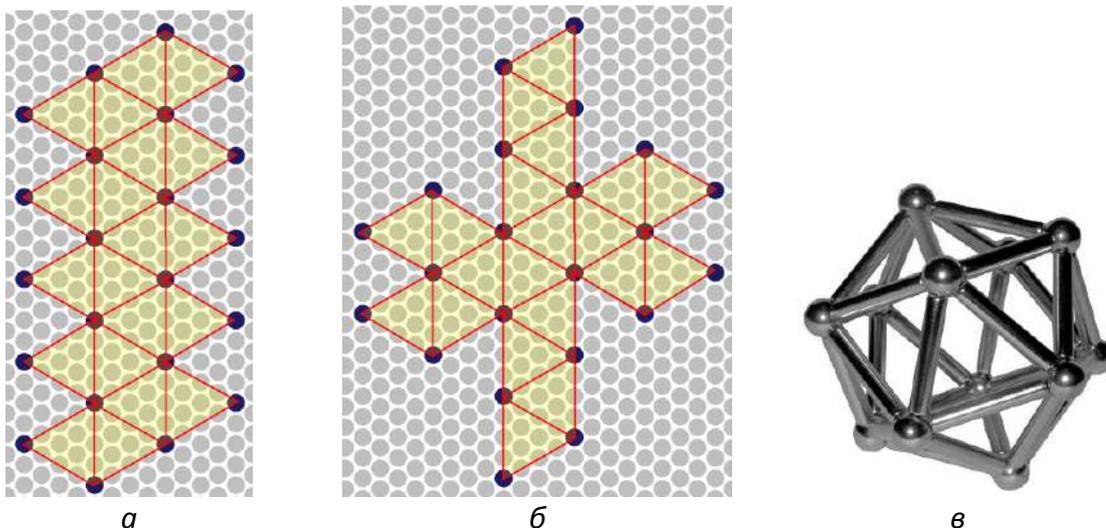
Всего существует 12 таких решений. Общее число вершин, ребер и граней для каждого из них представлены в таблице:

Тип	V_3	V_4	V_5	V	E	F	Тип	V_3	V_4	V_5	V	E	F
1	0	0	12	12	30	20	7	0	6	0	6	12	8
2	0	1	10	11	27	18	8	1	0	9	10	24	16
3	0	2	8	10	24	16	9	2	0	6	8	18	12
4	0	3	6	9	21	14	10	2	3	0	5	9	6
5	0	4	4	8	18	12	11	3	0	3	6	12	8
6	0	5	2	7	15	10	12	4	0	0	4	6	4

3. Многогранник, все грани которого являются правильными треугольниками, называют дельтаэдром. Название происходит от греческой заглавной буквы дельта (Δ), которая имеет форму равностороннего треугольника. Всего существует 8 дельтаэдров.

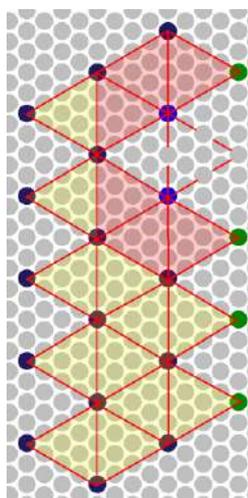
Далее представлены развертки (либо доказана невозможность их построения) для всех 12 решений, полученных в вопросе 2.

Тип 1



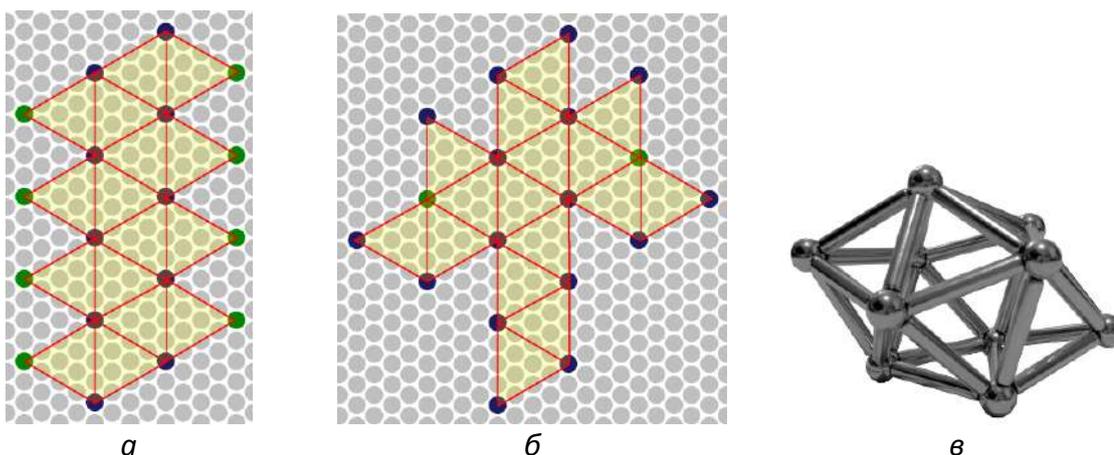
20 правильных треугольников, сходящихся по 5 в каждой из вершин, можно «собрать» единственно возможным образом (рис. 1а, б) – в форме икосаэдра (рис. 1в, каркасная модель) (он же – *скрученно удлиненная пятиугольная бипирамида*).

Тип 2



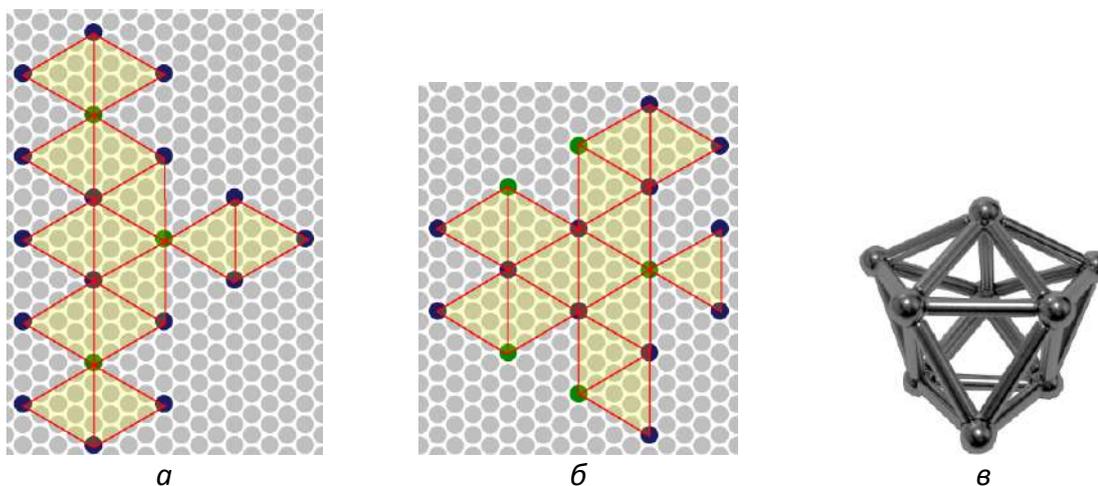
Чтобы из многогранника первого типа получить многогранник второго типа, необходимо удалить из него 1 вершину, 3 ребра и 2 грани так, чтобы одна из пятикоординированных вершин (на рисунке – темно-синего цвета) превратилась в четырехкоординированную (зеленого цвета). Но удаление любого атома, хоть и сопровождается удалением трех ребер и двух граней, вместе с тем, приводит к образованию шести- координированного атома (отмечен на рисунке ярко-синим цветом). То есть, данный многогранник построить невозможно.

Тип 3



Многогранник третьего типа – с 2 четырех- координированными и 8 пяти-координированными вершинами – легко получить, «убрав» из икосаэдра один из пяти секторов скручено удлиненной бипирамиды, то есть, полосу из четырех треугольных граней (рис. 3а, б). Многогранник – скручено удлиненная четырехугольная (квадратная) бипирамида (рис. 3в).

Тип 4

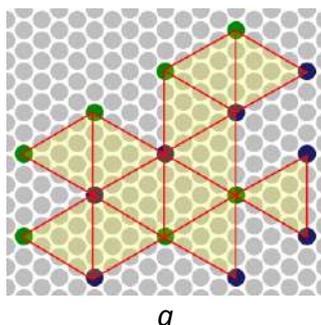


Единственный способ построить многогранник 4 типа из равносторонних треугольников – это трижды наращённая треугольная призма (рис. 4в), поскольку другой подход, основанный на удалении из многогранника 3 типа двух граней возле одной из четырех- координированных вершин, приводит к образованию вырожденного случая – грани в виде ромба, противолежащей оставшейся четырех-координированной вершине.

Трижды наращённую треугольную призму (рис. 4в) можно получить из четырех многогранников – трех квадратных пирамид и правильной треугольной призмы, приложив основания пирамид к боковым граням призмы.

Ее можно описать как (см. рис. 4б) пятиугольная «шапочка», соединенная с треугольной гранью «поясом» из 7 треугольников.

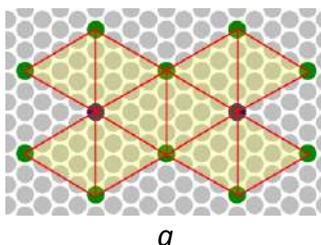
Тип 5



Многогранник 5 типа (рис. 5а) можно получить из многогранника 4 типа (рис. 4б) путем удаления двух треугольников из его «пояса». Выпуклый многогранник с двенадцатью правильными треугольниками в качестве граней носит название **плосконосого двуклиноида** (рис. 5б) или *сиамского додекаэдра*.

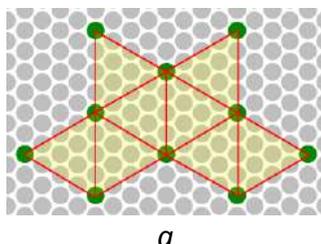
Другой вариант построения двенадцатигранника, имеющего 4 четырех- и 4 пяти-координированные вершины, из правильных треугольников – четырехугольная антипризма – имеет грани в виде ромбов.

Тип 6



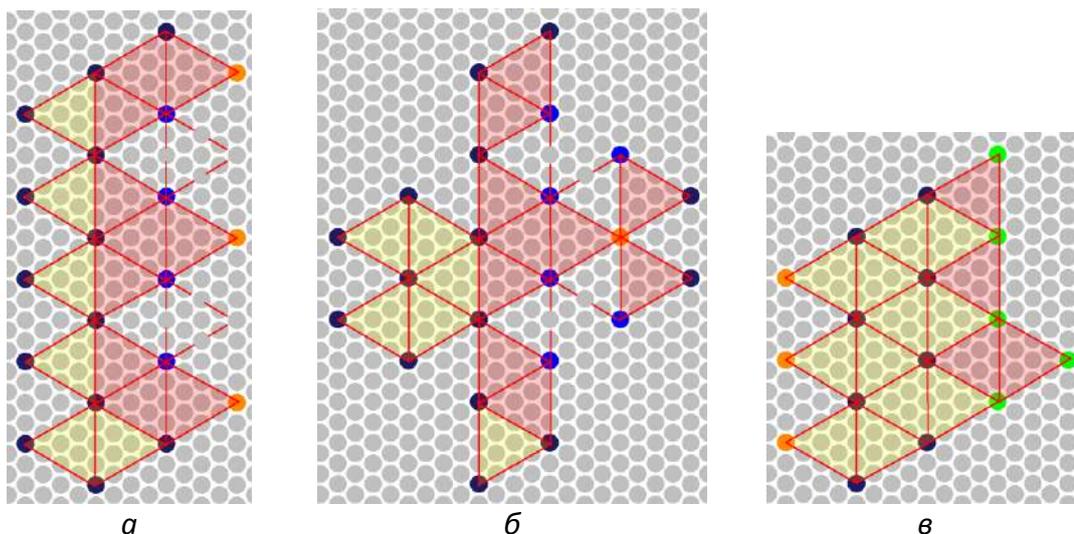
10 правильных треугольников, образующие 2 пяти- координированные и 5 четырех-координированные вершины – это **пятиугольная бипирамида** (рис. 6б).

Тип 7



8 правильных треугольников, сходящихся по 4 в каждой вершине, можно сложить всего одним способом – **в форме октаэдра** (рис. 7б) (он же – *квадратная бипирамида, треугольная антипризма*).

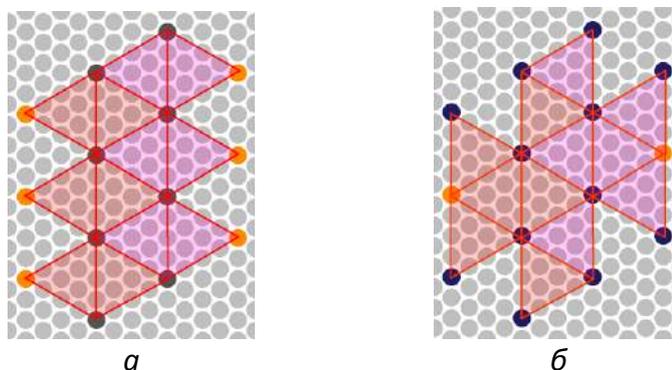
Тип 8



Первый подход к построению «выкройки» (рис. 8а, б): Чтобы из многогранника первого типа получить многогранник восьмого типа, необходимо удалить из него 2 вершины, 6 ребер и 4 грани так, чтобы одна из пяти- координированных вершин превратилась в трех- координированную (оранжевого цвета). Но удаление двух атомов, хоть и сопровождается удалением шести ребер и четырех граней, вместе с тем, приводит к образованию двух шести- координированных атомов (отмечены на рисунке ярко-синим цветом). То есть, данный многогранник построить невозможно.

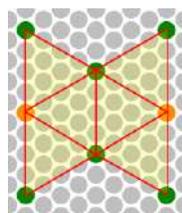
Второй подход (рис. 8в): последовательное построение. Берем «шапочку» из трех треугольников (4 вершины), затем добавляем к нему последовательно два «пояса» в форме треугольных антипризм (+6 вершин, +12 граней), при этом добавление последнего треугольника приводит к формированию трех четырёх- координированных вершин вместо пяти- координированных. То есть, данный многогранник построить невозможно.

Тип 9

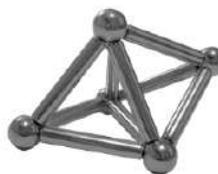


Многогранник 9 типа – 12 треугольников, 2 трех- координированные вершины и 6 пяти- координированных – это *скрученно удлиненная треугольная бипирамида*. В случае правильных треугольников грани попарно образуют ромбы (а, значит, формируют ромбоэдр, что не удовлетворяет условию треугольных граней). То есть, данный многогранник построить невозможно.

Тип 10



а



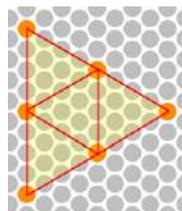
б

6 правильных треугольников, образующие 2 трех- координированные и 3 четырех- координированные вершины – это **треугольная бипирамида** (рис. 10б).

Тип 11

Из 8 правильных треугольников можно сложить только один многогранник с шестью вершинами – это тип 7, октаэдр. То есть, многогранник с $V_3 = 3$, $V_5 = 3$ **построить невозможно**.

Тип 12



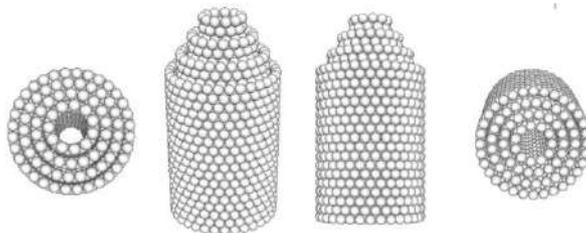
а



б

4 правильных треугольника, сходящихся по 3 в каждой вершине, можно сложить всего одним способом – **в форме тетраэдра** (рис. 12б).

Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 8. Моделирование металлических нанотрубок



Для доклада на конференции юному нанотехнологу Полуэзку понадобилась иллюстрация с вложенными друг в друга металлическими нанотрубками. Найти требуемые картинки в Интернете он не смог, поэтому Вам предстоит помочь Полуэзку и написать программу, которая будет создавать файл с заданной структурой, затем, открыв файл в любом подходящем просмотрщике химических структур, получить изображение структуры.

Для начала рассмотрим нанотрубку, сложенную из k кольцевых слоев, каждый из которых содержит n касающихся друг друга атомов металла *диаметром* a .

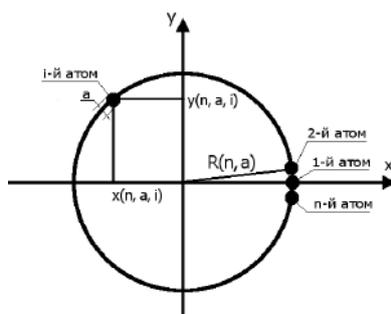


Рис. 1. Принцип расположения атомов первого кольцевого слоя относительно декартовой системы координат, $z = 0$.

1. Для одного слоя нанотрубки запишите:
 - 1.1. радиус окружности $R(n, a)$, проходящей через центры всех атомов слоя; **(0,5 балла)**
 - 1.2. координаты i -го ($1 \leq i \leq n$) атома в слое нанотрубки: $x(n, a, i)$ и $y(n, a, i)$. **(1 балл)**

2. Для последовательности слоев, прилегающих друг другу плотнейшим образом:
 - 2.1. запишите полярный угол $\phi(n)$, отвечающий взаимному расположению i -х атомов двух последовательно идущих кольцевых слоев нанотрубки; **(0,5 балла)**
 - 2.2. оцените расстояние $d(a)$ между плоскостями, проходящими через центры атомов двух последовательно идущих кольцевых слоев нанотрубки. **(1 балл)**

3. Составьте алгоритм построения координат всех атомов для трехслойной металлической трубки со следующими параметрами составляющих ее трубок:
- число атомов в слое – n_1, n_2, n_3 ,
 - количество слоев в трубке – k_1, k_2, k_3 . **(2 балла)**

На любом языке программирования напишите программу, создающую по такому алгоритму .xyz файл (см. рис. 2). Исходный текст программы приложите к решению. **(7 баллов)**

Считать, что центры первых слоев всех трех трубок находятся в начале координат.

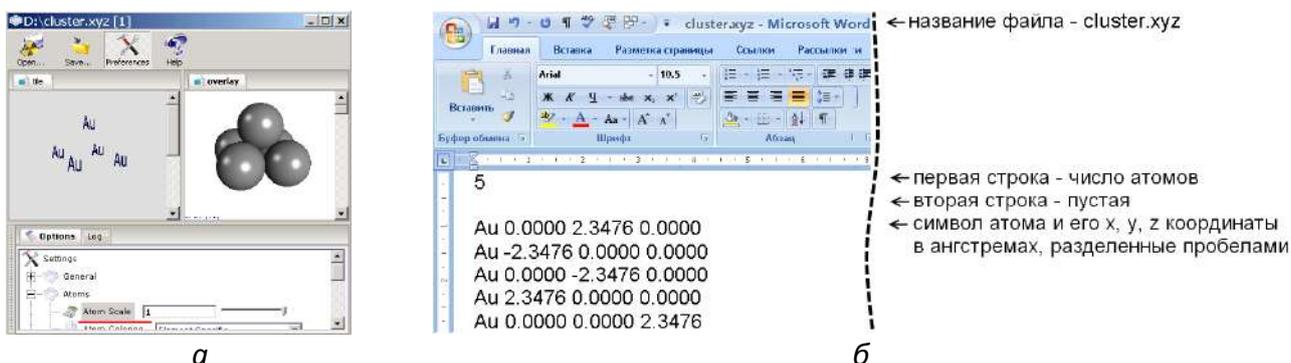


Рис. 2. Справа показано содержимое простого xyz файла (открытого в текстовом редакторе Microsoft Word), задающего расположение 5 атомов золота (Au) в вершинах квадратной пирамиды. Слева – этот же файл, открытый в просмотрщике химических структур PubChem 3D Viewer <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/pc3d/> (чтобы атомы касались друг друга, их масштаб установлен в настройках просмотра как «1»).

4. При помощи написанной вами программы получите .xyz файл для трех вложенных друг в друга золотых нанотрубок, имеющих параметры:
- $n_1 = 24, n_2 = 17, n_3 = 10$,
 - $k_1 = 10, k_2 = 12, k_3 = 14$.

Приложите к решению фотографию или изображение визуализации полученной модели в любом просмотрщике химических структур. **(3 балла)**

Диаметр атома золота составляет $a = 3,32$ ангстрема.

Всего – 15 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 8. Моделирование металлических нанотрубок

1.

1.1. Радиус окружности, описанной вокруг правильного n -угольника со стороной a :

$$R = \frac{a}{2\sin(\pi/n)}.$$

1.2. В полярной системе координат, начало которой совпадает с центром трубки, координаты i -го атома: $(R, \frac{2\pi(i-1)}{n})$, где $1 \leq i \leq n$.

Тогда в декартовых координатах:

$$\begin{aligned} x &= R \cos\left(\frac{2\pi(i-1)}{n}\right) = \frac{a}{2\sin(\pi/n)} \cos\left(\frac{2\pi(i-1)}{n}\right), \\ y &= R \sin\left(\frac{2\pi(i-1)}{n}\right) = \frac{a}{2\sin(\pi/n)} \sin\left(\frac{2\pi(i-1)}{n}\right). \end{aligned}$$

2.

2.1. Шаг угловой координаты атомов (то есть, ее изменение от атома к атому) в кольцевом слое составляет $2\pi/n$. При размещении последующего кольцевого слоя без поворота относительно нижележащего мы не получим плотнейшего прилегания. Чтобы его достичь, последующий кольцевой слой необходимо повернуть на половину шага угловой координаты в кольцевом слое, то есть, на

$$\phi(n) = \pi/n.$$

2.2. При достаточно больших n ($n \geq 10$) величина d примерно равна высоте правильного треугольника со стороной a :

$$d = \frac{\sqrt{3}}{2}a.$$

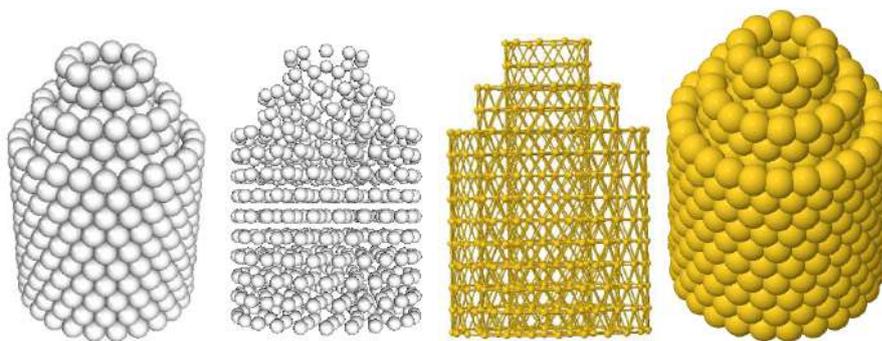
3. Алгоритм построения: по очереди строим каждую из трех трубок. Построение отдельной трубки – цикл в цикле (внутренний цикл – обход по j всех n атомов в i -том кольцевом слое и формирование координат (x, y, z) :

$$\begin{aligned} x &= \frac{a}{2\sin(\pi/n)} \cos\left(\frac{2\pi(j-1)}{n} + \frac{\pi}{n}(i-1)\right), \\ y &= \frac{a}{2\sin(\pi/n)} \sin\left(\frac{2\pi(j-1)}{n} + \frac{\pi}{n}(i-1)\right), \\ z &= \frac{\sqrt{3}}{2}a(i-1) \end{aligned}$$

внешний – последовательное увеличение номера кольцевого слоя i от 1 до k).

Текст программы на языке [PascalABC.NET](http://enanos.nanometer.ru): см. Приложение 1.

4. В зависимости от выбранного просмотрщика и настроек размера атомов могут получаться примерно такие картинки:



Приложение 1.

```

const
a: real = 3.32;
num: integer = 3; // число вложенных трубок

var
x, y, z: real;
sum: integer;
n: array [1..num] of integer;
k: array [1..num] of integer;
xyz: text;

begin
// задаем параметры слоев
n[1] := 24; n[2] := 17; n[3] := 10;
k[1] := 10; k[2] := 12; k[3] := 14;

// считаем суммарное число атомов
sum := 0;
for var i := 1 to num do
sum += n[i] * k[i];

// создаем файл tubes.xyz
Assign(xyz, 'tubes.xyz');
Rewrite(xyz);

Writeln(xyz, sum); // печать в файл, первая строка - значение N
Writeln(xyz); // вторая - пустая

for var l := 1 to num do // варьируем номер трубки
for var i := 1 to k[l] do // варьируем номер кольцевого слоя
for var j := 1 to n[l] do // варьируем номер атома в кольцевом слое
begin
x := Round(0.5 * a / Sin(3.14 / n[l]) * Cos(2 * 3.14 * (j - 1) / n[l] +
3.14 / n[l] * (i - 1)), 4); // 4 знака после запятой
y := Round(0.5 * a / Sin(3.14 / n[l]) * Sin(2 * 3.14 * (j - 1) / n[l] +
3.14 / n[l] * (i - 1)), 4);
z := Round(0.5 * a * Sqrt(3) * (i - 1), 4);

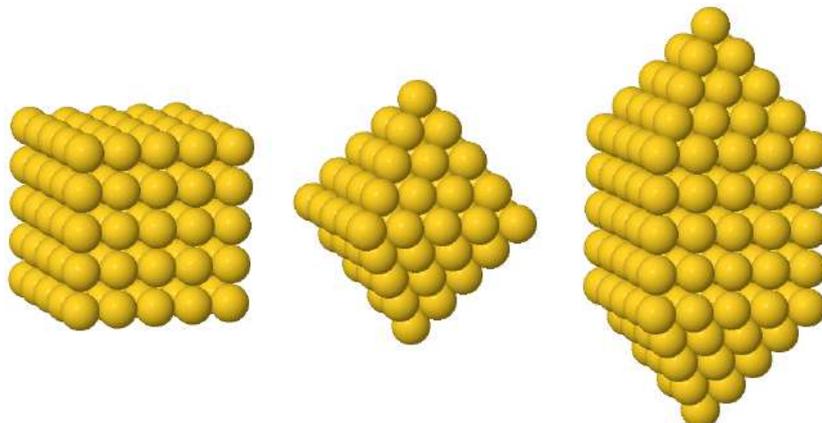
//печать координат в файл tubes.xyz по шаблону
Writeln(xyz, 'Au ', x, ' ', y, ' ', z);
end;

Close(xyz); // закрываем файл
end.
    
```



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 9. Золотое веретено



Если на двух противоположных гранях нанокластера золота в виде куба «нарастить» по квадратной пирамиде, то получим равностороннюю удлиненную квадратную бипирамиду – «золотое веретено».

1. Выведите зависимость общего числа атомов **N** от числа атомов **n**, приходящегося на его ребро, для нанокластеров в форме: а) куба, б) октаэдра, в) «золотого веретена». **(4 балла)**
2. Рассчитайте **N** и радиус сферы, описанной вокруг нанокластера, для: а) куба (**n = 7**), б) октаэдра (**n = 8**), в) «золотого веретена» (**n = 6**). Радиус атома золота считать равным $r = 0,144$ нм. **(3 балла)**
3. Сколько типов атомов, отличающихся друг от друга числом ближайших соседей (координационным числом, КЧ), присутствует на поверхности нанокластеров в форме: а) куба, б) октаэдра, в) «золотого веретена»? Опишите их расположение. **(4 балла)**
4. Сколько типов атомов, отличающихся друг от друга КЧ, присутствует в объеме нанокластеров в форме: а) куба, б) октаэдра, в) «золотого веретена»? Рассчитайте КЧ для каждого из типов и поясните, где именно в рассматриваемых нанокластерах они расположены. **(3 балла)**

Подсказка: и для атомов на поверхности, и для атомов в объеме нанокластера не забудьте рассмотреть касания не только внутри одного слоя, но и с атомами соседних слоев.

Сумма квадратов последовательности натуральных чисел $1, 2, \dots, n$: $\sum_{m=1}^n m^2 = n(n+1)(2n+1)/6$.

Всего – 14 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 9. Золотое веретено

1. Выведем зависимость общего числа атомов **N** в нанокластере от числа атомов **n**, приходящегося на его ребро:

$$\text{а) } N_{\text{куб}}(n) = n^3$$

$$\text{б) } N_{\text{октаэдр}}(n)$$

$$= \sum_{m=1}^n m^2 + \sum_{m=1}^{n-1} m^2 = n(n+1)(2n+1)/6 + n(n-1)(2(n-1)+1)/6 = (2n^3 + n)/3$$

$$\text{в) } N_{\text{веретено}}(n) = N_{\text{куб}}(n) + N_{\text{октаэдр}}(n-1) = n^3 + (2(n-1)^3 + n-1)/3 = (5n^3 - 3n^2 + n)/3$$

2. Общее число атомов в нанокластерах:

$$\text{а) } N_{\text{куб}}(7) = 7^3 = 343,$$

$$\text{б) } N_{\text{октаэдр}}(8) = (2 \cdot 8^3 + 8)/3 = 344,$$

$$\text{в) } N_{\text{веретено}}(6) = (5 \cdot 6^3 - 3 \cdot 6^2 + 6)/3 = 326.$$

То есть, все три нанокластера, несмотря на разную длину ребра, имеют близкое общее число атомов.

Выведем зависимость радиуса сферы **R**, описанной вокруг нанокластера (то есть, сферы, заключающей в себя все атомы нанокластера), от числа атомов **n**, приходящегося на его ребро:

$$\text{а) } R_{\text{куб}}(n) = \sqrt{3}/2 A + r = \sqrt{3}/2 (2nr - 2r) + r = ((n-1)\sqrt{3} + 1)r$$

(половина большой диагонали куба),

$$\text{б) } R_{\text{октаэдр}}(n) = \sqrt{2}/2 A + r = \sqrt{2}/2 (2nr - 2r) + r = ((n-1)\sqrt{2} + 1)r$$

(половина диагонали октаэдра),

$$\text{в) } R_{\text{веретено}}(n) = 0,5A + \sqrt{2}/2 A + r = 0,5(2nr - 2r) + \sqrt{2}/2 (2nr - 2r) + r = ((1 + \sqrt{2})n - \sqrt{2})r$$

(половина отрезка, соединяющего самые удаленные друг от друга точки удлинённой квадратной бипирамиды),

где величина **A** = 2nr – 2r отвечает длине ребра многогранника, вершинами которого являются центры атомов - «вершин» нанокластера.

Рассчитаем **R** для нанокластеров с заданным числом атомов, приходящимся на ребро:

$$\text{а) } R_{\text{куб}}(7) = (6\sqrt{3} + 1)0,144 = \underline{1,640} \text{ нм,}$$

$$\text{б) } R_{\text{октаэдр}}(8) = (7\sqrt{2} + 1)0,144 = \underline{1,570} \text{ нм,}$$

$$в) R_{\text{веретено}}(6) = \left((1 + \sqrt{2})^6 - \sqrt{2} \right) 0,144 = \underline{1,882} \text{ нм.}$$

3. Типы атомов, отличающиеся друг от друга числом ближайших соседей (КЧ), на поверхности нанокластеров:

а) Куб – 3 типа атомов:

- (1) в вершинах (КЧ = 3),
- (2) на ребрах (кроме атомов в вершинах) (КЧ = 4),
- (3) на гранях (кроме атомов на ребрах и в вершинах) (КЧ = 5).

б) Октаэдр – 3 типа атомов:

- (1) в вершинах (КЧ = 4),
- (2) на ребрах (кроме атомов в вершинах) (КЧ = 7),
- (3) на гранях (кроме атомов на ребрах и в вершинах) (КЧ = 9).

в) «Золотое веретено» – 7 типов окружения атомов и всего 5 типов КЧ:

- (1) в вершинах, в которых сходятся 4 треугольных грани (КЧ = 4),
- (2) в вершинах, в которых сходятся 2 треугольных и 2 квадратных грани (КЧ = 4),
- (3) на ребрах (кроме атомов в вершинах), принадлежащих одновременно двум квадратным граням (КЧ = 4),
- (4) на ребрах (кроме атомов в вершинах), принадлежащих одновременно двум треугольным граням (КЧ = 7),
- (5) на ребрах (кроме атомов в вершинах), принадлежащих одновременно треугольной и квадратной граням (КЧ = 6),
- (6) на треугольных гранях (кроме атомов на ребрах и в вершинах) (КЧ = 9),
- (7) на квадратных гранях (кроме атомов на ребрах и в вершинах) (КЧ = 5).

4. Типы атомов, отличающиеся друг от друга КЧ, в объеме нанокластеров:

а) Куб – 1 тип атомов,

$$КЧ = 6 = 4 + 1 + 1$$

(4 атома, принадлежащие одному слою с данным атомом, 1 атом, принадлежащий нижележащему слою, 1 атом, принадлежащий вышележащему слою – октаэдрическое окружение).

б) Октаэдр – 1 тип атомов,

$$КЧ = 12 = 4 + 4 + 4$$

(4 атома, принадлежащие одному слою с данным атомом, 4 атома, принадлежащие нижележащему слою, 4 атома, принадлежащие вышележащему слою – окружение в форме кубооктаэдра).

в) «Золотое веретено» – 3 типа атомов:

(1) в объеме «пирамидальной» области:

$$КЧ = 12 = 4 + 4 + 4$$

(4 атома, принадлежащие одному слою с данным атомом, 4 атома, принадлежащие нижележащему слою, 4 атома, принадлежащие вышележащему слою – окружение в форме кубооктаэдра);

(2) в объеме области удлинения («кубической» области):

$$КЧ = 6 = 4 + 1 + 1$$

(4 атома, принадлежащие одному слою с данным атомом, 1 атом, принадлежащий нижележащему слою, 1 атом, принадлежащий вышележащему слою – октаэдрическое окружение);

(3) в слое на границе двух областей, принадлежащем как пирамиде, так и кубу:

$$КЧ = 9 = 4 + 1 + 4$$

(4 атома, принадлежащие одному слою с данным атомом, 1 атом, принадлежащий «кубической» области, 4 атома, принадлежащие «пирамидальной» области — окружение в форме скручено удлиненной четырехугольной пирамиды (или, по другому, наращенной квадратной антипризмы)).

Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 10. Закрытые углеродные нанотрубки

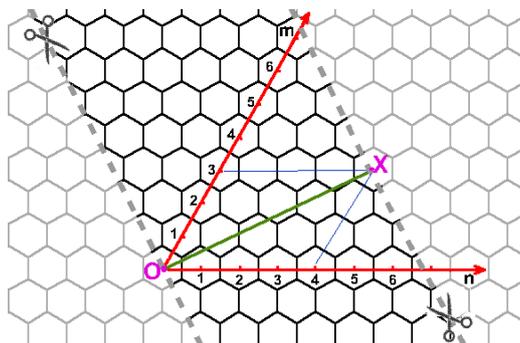


Рис. 1. Любую пару шестиугольников на графеновом листе можно описать двумя натуральными числами, являющимися координатами центра одного из них относительно центра другого в косоугольной системе координат. Развертка открытой углеродной нанотрубки (УНТ) задается с помощью пары чисел (n, m) , называемых индексами хиральности. Для получения УНТ полоску из графенового листа необходимо вырезать по линиям отреза, перпендикулярным OX , свернуть и «склеить» ее края в трубку. На рисунке приведен пример развертки УНТ $(4,3)$.

Закрытые углеродные нанотрубки (ЗУНТ) имеют на каждом торце «шапочку», представляющую собой половинку фуллерена. ЗУНТ так же, как и открытые УНТ (рис. 1), можно представить в виде выкройки на графеновом листе.

Рассмотрим половинку ЗУНТ, у которой в центре «шапочки» находится пятиугольник (ЗУНТ-5) (рис. 2а, отмечен на выкройке темно-серым цветом), а еще пять пятиугольников расположены симметрично относительно него (рис. 2а, отмечены на выкройке светло-зеленым цветом). Положение этих пятиугольников относительно центрального можно задать парой чисел (x, y) (рис. 2б) – индексами хиральности «шапочки» ЗУНТ-5.

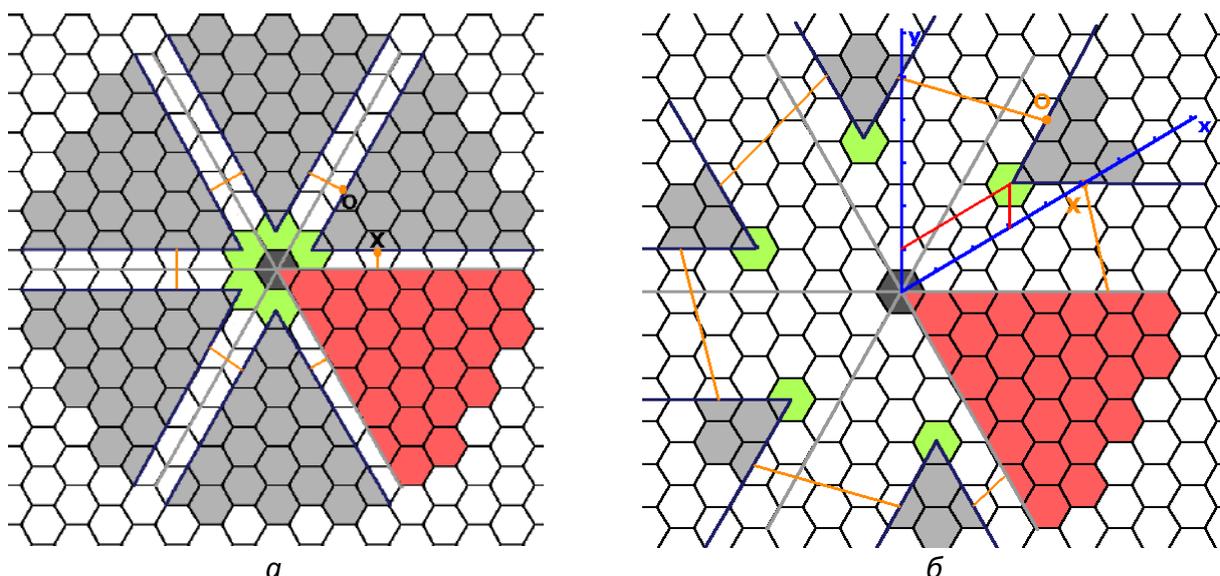


Рис. 2. Примеры выкроек половинок ЗУНТ-5.

а) Минимальная ЗУНТ-5. Удаление красного сектора шириной 60° формирует торцевой (центральный) пятиугольник. В свою очередь, удаление пяти серых секторов производится так, что линии отреза параллельны светло-серым линиям – границам пяти симметричных секторов. Оранжевая линия здесь – это отрезок, задающий ЗУНТ-5 (OX , рис. 1). б) ЗУНТ-5 с индексами хиральности «шапочки» $(3, 1)$.

1. Запишите индексы хиральности (n , m) для нанотрубок, выкройки которых представлены на рис. 2. К каким типам¹ они относятся? Запишите общий вид зависимости (n , m) ЗУНТ-5 от индексов хиральности ее «шапочки» (x , y)? **(4 балла)**
2. Выведите в общем виде зависимость числа атомов N в «шапочке» ЗУНТ-5 от (x , y). **(3 балла)** Границей «шапочки» считать линию, проходящую через центры пяти пятиугольников.
3. На сетке шестиугольников, приведенной в конце условия, постройте выкройку ЗУНТ-5 с «шапочкой» (3, 5) и рассчитайте ее диаметр². **(2 балла)** Воспользовавшись циркулем и линейкой, найдите индексы хиральности (x , y) для «шапочек», дающих ЗУНТ-5 того же диаметра. **(3 балла)**

¹Различают следующие типы нанотрубок:

- зубчатые, $n = m$;
- зигзагообразные, $m = 0$ или $n = 0$;
- хиральные нанотрубки (все остальные значения n и m).

²Атомы углерода считать точечными, длину связи С–С равной $a = 0,14$ нм.

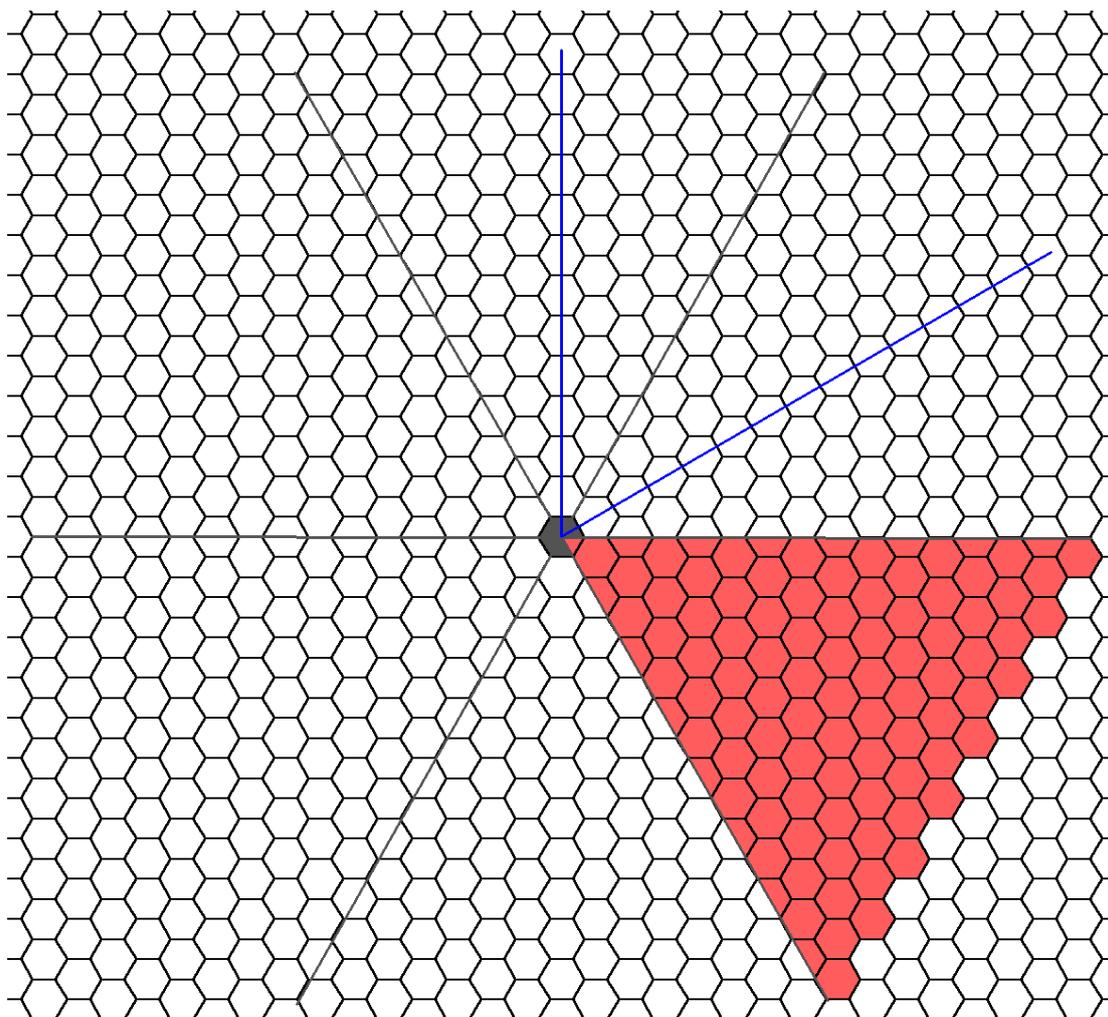


Рис. 3. Сетка шестиугольников для построения выкроек.

Всего – 12 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 10. Закрытые углеродные нанотрубки

1. Рис. 2а условия: «шапочка» (1, 0) => ЗУНТ-5 (5, 0), зигзагообразная.

Рис. 2б условия: «шапочка» (3, 1) => ЗУНТ-5 (3·5, 1·5) или (15, 5), хиральная.

В общем виде, «шапочка» (x, y) => нанотрубка (5x, 5y).

2. Треугольник со стороной (x, y) имеет площадь

$$S_{(x,y)} = 0,5(a\sqrt{3})^2 (x^2 + xy + y^2) \sin 60^\circ,$$

а площадь всей «шапочки» составляет

$$S_{\text{ш}} = 5 \cdot 0,5(a\sqrt{3})^2 (x^2 + xy + y^2) \sin 60^\circ.$$

В свою очередь, на один атом углерода приходится площадь

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

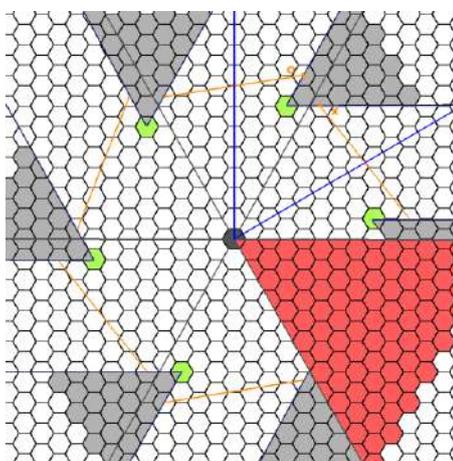
Тогда общее число атомов в шапочке:

$$N = \frac{S_{\text{ш}}}{S_{\text{с}}} = \frac{5 \cdot 0,5(a\sqrt{3})^2 (x^2 + xy + y^2) \sin 60^\circ}{0,5(a\sqrt{3})^2 \sin 60^\circ} = 5(x^2 + xy + y^2).$$

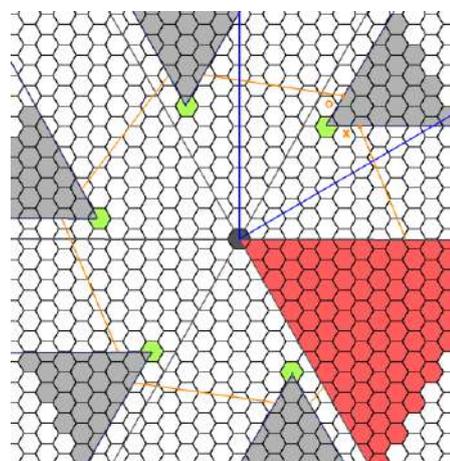
Проверим по рис. 2а условия:

$$N_{(1,0)} = 5(1^2 + 1 \cdot 0 + 0^2) = 5 - \text{совпадает с разверткой.}$$

3. «Шапочка» (3, 5) => нанотрубка (15, 25).



(3, 5)



(5, 3)

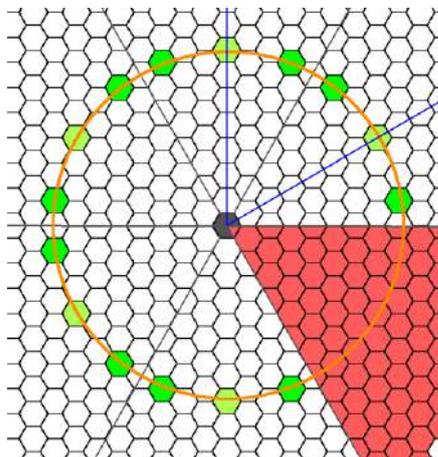
Диаметр ЗУНТ-5 составляет

$$D = a\sqrt{3}/\pi\sqrt{n^2 + nm + m^2} = 0,077\sqrt{n^2 + nm + m^2} \text{ нм.}$$

Переходим от (n, m) к (x, y) :

$$D = 0,077 \cdot 5\sqrt{x^2 + xy + y^2} = 0,385\sqrt{x^2 + xy + y^2} \text{ нм.}$$

$$D(3, 5) = 0,385 \cdot \sqrt{49} = 0,385 \cdot 7 = 2,695 \text{ нм.}$$



Чтобы найти нанотрубку того же диаметра, необходимо найти ЗУНТ-5 с таким же значением величины

$$k = x^2 + xy + y^2,$$

то есть, надо построить окружность радиуса $a\sqrt{3}\sqrt{k}$ с центром в начале координат «шапочки», тогда центры шестиугольников, в которых следует удалить 60° сектора, будут лежать на этой окружности. При таком подходе для любой ЗУНТ-5, кроме зубчатых, будет найдена трубка $D(y, x) = D(x, y)$. Но это, как можно видеть на рис. выше, одна и та же трубка. Таким образом, ЗУНТ-5, отвечающая «шапочке» $(3, 5)$, имеет еще один вариант – $(7, 0)$.



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, биологии, математике, чтобы набрать больше баллов. Дополнительные баллы будут начислены за прохождение тестов [викторин по предметам](#). Все прошедшие на очный тур обязательно решают задачи по всем четырем предметам.

Задания

1. Синтез нанопорошка

Два простых вещества X и Y взаимодействуют друг с другом с образованием Z. Однако такой способ не позволяет получить вещество Z в виде наноразмерного порошка. Для получения нанопорошка Z использовали реагент X₂, который получили растворением X в кислоте X₁...

2. Синтез в сверхкритической воде

Сверхкритические флюиды служат прекрасной средой для проведения синтеза наночастиц различных классов. Один из перспективных катодных материалов D в виде наночастиц предложено получать взаимодействием реагентов A и B в сверхкритической воде при 390°C и давлении 230 атм...

3. Превращение минерала в наночастицы

Серый, блестящий минерал при измельчении превращается в черный порошок, устойчивый к действию воды и кислот-неокислителей. Для переработки навеску минерала X массой 5.6 г поместили в стальной реактор объемом 3.0 л, заполненный кислородом...

4. Нитрид кремния

Нитрид кремния можно получить методом химического осаждения из газовой фазы, где реагентами служат силан и аммиак, взятые в стехиометрическом соотношении. В результате такого процесса, протекающего в герметичном сосуде объемом 1.0 л ($V = \text{const}$)...

5. Нанонити

Одним из методов получения наноматериалов является темплатный синтез, то есть формирование наночастиц в специально подготовленном шаблоне. Примером может служить электрохимическое осаждение нанонитей никеля в порах анодного оксида алюминия...

6. Графеновые мембраны

Известно, что оксид графена, синтезированный методом Хаммерса (окислением графита перманганатом калия в присутствии серной кислоты и нитрата натрия), является перспективным мембранным материалом, поскольку он имеет малую толщину и содержит дефекты в виде пор...

7. Желтое вещество

Школьник нашел ампулу без этикетки с желтыми кристаллами игольчатой формы. Масса навески составила 3.2 г. В перчаточном боксе в атмосфере азота была взята навеска 1.0 г. Навеска перенесена в пробирку растворена в азотной кислоте (объем 10 мл, концентрация 40 масс.%)...

8. Золотое безумие

Гальванические методы формирования покрытий знакомы многим по предметам бытовой продукции, однако имеют высокую значимость также в производстве техники и промышленного оборудования, изделий для военных применений...

9. Древнерусские пигменты

Среди множества пигментов, применявшихся древнерусскими мастерами, были минеральные красители разных цветов. Найденный в деревне в Ярославской области черепок глиняного горшочка был изрядно потерт, однако рисунок на его поверхности сохранился...

10. Синтез двух фуллеренов

В некотором реакторе при температуре 900 °С в атмосфере инертного газа был проведен синтез смеси двух фуллеренов C_{n1} и C_{n2} . Помимо них, полученная смесь продуктов содержит еще два продукта: A_1 и A_2 . Навеска такой смеси сгорает без остатка с образованием двух газов X и Y...



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 1. Синтез нанопорошка

Два простых вещества X и Y взаимодействуют друг с другом с образованием Z. Однако такой способ не позволяет получить вещество Z в виде наноразмерного порошка.

Для получения нанопорошка Z использовали реагент X₂, который получили растворением X в кислоте X₁. При этом наблюдалось выделение бурого газа X₃, а раствор после кипячения обесцветился. Из раствора выделили бесцветные кристаллы X₂. Из 1.0 г X получено 1.57 г X₂ (выход реакции составил 99.7%).

Вещество Y для синтеза нанопорошка растворили в растворе гидроксида натрия, полученный раствор выпарили и нагревали в токе водорода до постоянной массы. Полученное при этом вещество Y₁ растворили в воде. Из 1.0 г Y образуется 2.4 г Y₁ (суммарный выход реакций синтеза Y составил 98.5%).

Синтез нанопорошка Z осуществляли следующим образом. К раствору X₂ добавили цитрат натрия, а затем прилили к нему при перемешивании избыток раствора Y₁. Образующийся продукт отделили центрифугированием. Он состоял из частиц размером 500 нм.

1. Назовите неизвестные вещества, запишите уравнения реакций. **(6 баллов)**
2. Какую роль играет цитрат натрия в синтезе нанопорошка Z? **(1 балл)**
3. При использовании недостатка реагента Y₁ образуется порошок, представляющий собой смесь двух веществ. Выскажите предположения о том, какие это вещества. Запишите уравнение реакции. **(2 балла)**
4. Какое применение находит нанопорошок Z? **(1 балл)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 1. Синтез нанопорошка

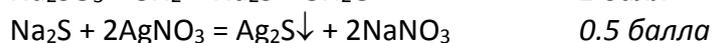
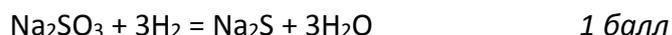
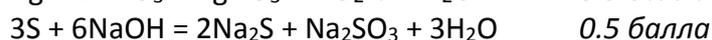
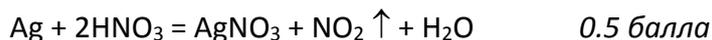
1. X – Ag, X1 – HNO₃, X2 – AgNO₃, X3 – NO₂

Y – S, Y1 – Na₂S

Z – Ag₂S

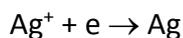
Каждое вещество – 0.5 балла

Уравнения реакций:



2. Цитрат образует комплекс с ионами серебра, за счет этого он понижает концентрацию ионов серебра в растворе. Это способствует постепенному образованию наночастиц сульфида серебра.

3. При недостатке сульфида часть ионов серебра остается в форме цитратного комплекса и претерпевает постепенное восстановление до металла.



Любое разумное уравнение восстановления ионов серебра до металла – 1 балл.

Образуется смесь сульфида серебра и серебра. 1 балл

4. Нанокристаллический Ag₂S используется как полупроводниковый фотолюминесцентный материал.



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 2. Синтез в сверхкритической воде

Сверхкритические флюиды служат прекрасной средой для проведения синтеза наночастиц различных классов. Один из перспективных катодных материалов D в виде наночастиц предложено получать взаимодействием реагентов A и B в сверхкритической воде при 390°C и давлении 230 атм. Реагент A представляет собой бесцветные кристаллы, хорошо растворимые в воде. Его получают действием на вещество X азотной кислоты. Из 7.4 г X образуется 24.6 г A и выделяется газ объемом 2.24 л (н.у.), вызывающий помутнение известковой воды. При выдерживании A в эксикаторе над фосфорным ангидридом его масса уменьшается на 43.9%. Реагент B представляет собой кристаллический порошок зеленого цвета, который при подкислении пахнет уксусом. Синтез проводят путем смешения равных объемов 0.1 М растворов A и B. После завершения синтеза полученный продукт D отделяют фильтрованием. В состав D входят три элемента, среди них – два металла с массовыми долями 6.61% и 61.58%.

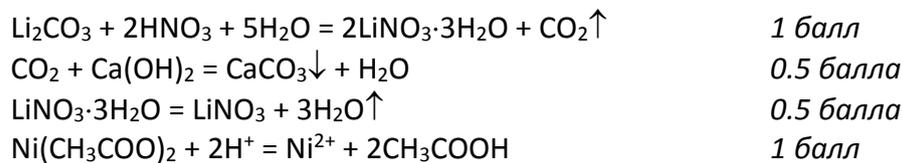
1. Определите неизвестные вещества X, A, B, D, запишите уравнения реакций. При выводе формулы вещества D используйте точные значения атомных масс элементов, округленные до сотых. **(8 баллов)**
2. Опишите действие устройства, в котором используются материалы класса вещества D. **(2 балла)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 2. Синтез в сверхкритической воде

1. X – Li_2CO_3 *1 балл*
A – $\text{LiNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ *1 балл*
B – $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ *1 балл*
D – $\text{Li}_{0,95}\text{Ni}_{1,05}\text{O}_2$ *2 балла*



2. LiCoO_2 используется в качестве катодного материала в литий-ионных аккумуляторах.



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 3. Превращение минерала в наночастицы

Серый, блестящий минерал при измельчении превращается в черный порошок, устойчивый к действию воды и кислот-неокислителей. Для переработки навеску минерала X массой 5.6 г поместили в стальной реактор объемом 3.0 л, заполненный кислородом при атмосферном давлении и температуре 20 °С и нагрели. После охлаждения реактора до прежней температуры давление в нем составило 58.7 кПа. На стенках сосуда было обнаружено 5.04 г вещества Y.

Газ Z, образовавшийся в реакторе в ходе нагревания минерала X, дает осадок с известковой водой и обесцвечивает бромную воду и раствор перманганата калия.

Для синтеза наночастиц вещества X поступили следующим образом. Вещество Y нагревали в трубчатом реакторе в токе водорода до тех пор, пока его масса не перестала уменьшаться. Затем водород вытеснили угарным газом и продолжали нагревание до тех пор, пока масса порошка не увеличилась в 2.75 раза. Полученный продукт D ввели в реакцию с суспензией серы в толуоле.

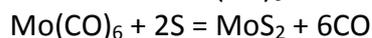
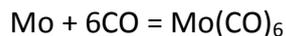
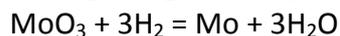
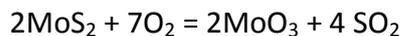
1. Определите неизвестные вещества (подтвердите расчетами), запишите уравнения реакций. **(8 баллов)**
2. Назовите минерал X (тривиальное название). **(0.5 балла)**
3. Какое применение находят наночастицы вещества X? **(0.5 балла)**
4. Какие другие способы получения наночастиц X из минерала X вам известны (не менее двух)? **(1 балл)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 3. Превращение минерала в наночастицы

1. X – MoS₂
Y – MoO₃
Z – SO₂
D – Mo(CO)₆



Каждое вещество и каждое уравнение – по 1 баллу.

2. Минерал MoS₂ – молибденит.
3. Дисульфид молибдена (наночастицы) используют как катализатор (гидродесульфуризация, фотокатализ), а также в виде сухой смазки.
4. Другие способы получения наночастиц MoS₂ – механическое расщепление при помощи скотча, через интеркаляцию лития и обработку водой.



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 4. Нитрид кремния

Нитрид кремния можно получить методом химического осаждения из газовой фазы, где реагентами служат силан и аммиак, взятые в стехиометрическом соотношении. В результате такого процесса, протекающего в герметичном сосуде объёмом 1.0 л ($V = \text{const}$) при температуре 800 °С, образуется плёнка из Si_3N_4 .

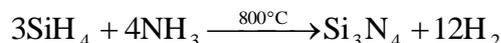
1. Напишите уравнение химической реакции. **(2 балла)**
2. Уменьшится или увеличится давление в сосуде в результате данной реакции? Объясните. **(1 балл)**
3. Определите толщину образовавшейся однородной плёнки, если давление в системе изменилось на 50 Па, а весь продукт сформировался только на специальной подложке площадью 10 см². Плотность нитрида кремния равна 3.44 г/см³. **(7 баллов)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 4. Нитрид кремния

1. Уравнение реакции:



2. Поскольку на 7 моль газообразных реагентов образуется 12 моль газообразных продуктов, давление в сосуде возрастает.

3. Обозначим количество вступившего в реакцию силана x моль. Тогда по уравнению из п.1 количество аммиака равно $\frac{4x}{3}$ моль, количество водорода $4x$ моль, а количество нитрида кремния $\frac{x}{3}$ моль. Поскольку при заданной температуре газообразными веществами являются только силан, аммиак и водород, то полное изменение количества газов составляет

$$\Delta v = 4x - \left(x + \frac{4x}{3} \right) = \frac{5x}{3} \text{ моль.}$$

По уравнению Клапейрона- Менделеева

$$\Delta v = \frac{\Delta p \cdot V}{RT}$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} \frac{5x}{3} &= \frac{\Delta p \cdot V}{RT} \\ x &= \frac{3 \cdot \Delta p \cdot V}{5RT} \\ x &= \frac{3 \cdot 50 \text{ Па} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{5 \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot (800 + 273) \text{ К}} = 3,36 \cdot 10^{-6} \text{ моль} \end{aligned}$$

Количество образовавшегося нитрида кремния:

$$v(\text{Si}_3\text{N}_4) = \frac{3,36 \cdot 10^{-6} \text{ моль}}{3} = 1,12 \cdot 10^{-6} \text{ моль}$$

Масса нитрида кремния:

$$m(\text{Si}_3\text{N}_4) = 1,12 \cdot 10^{-6} \text{ моль} \cdot 140 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 1,57 \cdot 10^{-4} \text{ г}$$

С одной стороны, объём нитрида кремния равен

$$V = Sh$$

С другой стороны, объём нитрида кремния равен

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

Следовательно,

$$h = \frac{m}{\rho S}$$

$$h(\text{Si}_3\text{N}_4) = \frac{1,57 \cdot 10^{-4} \text{ г}}{3,44 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot 10 \text{ см}^2} \approx 46 \text{ нм}$$

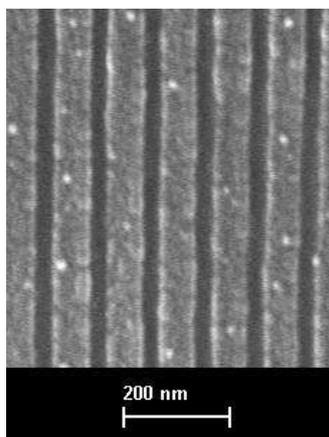
Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 5. Нанонити

Одним из методов получения наноматериалов является темплатный синтез, то есть формирование наночастиц в специально подготовленном шаблоне. Примером может служить электрохимическое осаждение нанонитей никеля в порах анодного оксида алюминия – материала с цилиндрическими нанопорами одного диаметра.



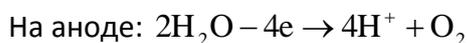
1. Определите массу образовавшегося металлического никеля, если на его восстановление из раствора NiSO_4 потребовалось 25 Кл. Напишите уравнения реакций на катоде и аноде, а также суммарное уравнение реакции. **(4 балла)**
2. Оцените, какому количеству нанонитей это соответствует, если электроосаждение проводили в пористую плёнку площадью 1 см^2 , а диаметр пор равен 40 нм. Плотность пористого оксида 3.2 г/см^3 , плотность сплошного оксида 3.6 г/см^3 . Все нанонити целиком заполняют объём занимаемой поры. **(3 балла)**
3. Рассчитайте длину синтезированных нанонитей. **(2 балла)**
4. Предложите метод извлечения полученных нанонитей из оксидной матрицы. **(1 балл)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 5. Нанонити

1. Уравнения реакций:



Массу образовавшегося никеля можно найти по закону Фарадея:

$$m = \frac{M \cdot Q}{n \cdot F} = \frac{58,69 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot 25 \text{ Кл}}{2 \cdot 96485 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}} = 7,6 \text{ мг}$$

2. Так как отличие плотностей сплошного и пористого оксидов обусловлено наличием пор, то можно составить следующее уравнение:

$$\begin{aligned} 1 &= \frac{m_{\text{оксида}}}{m_{\text{пористой плёнки}}} = \frac{\rho_{\text{оксида}} \cdot V_{\text{оксида}}}{\rho_{\text{пористой плёнки}} \cdot V_{\text{пористой плёнки}}} = \\ &= \frac{\rho_{\text{оксида}}}{\rho_{\text{пористой плёнки}}} \cdot \frac{V_{\text{пористой плёнки}} - V_{\text{пор}}}{V_{\text{пористой плёнки}}} = \frac{\rho_{\text{оксида}}}{\rho_{\text{пористой плёнки}}} \cdot \left(1 - \frac{\pi r^2 L n}{S_{\text{пористой плёнки}} L} \right) \\ \Rightarrow n &= \frac{S_{\text{пористой плёнки}}}{\pi r^2} \left(1 - \frac{\rho_{\text{пористой плёнки}}}{\rho_{\text{оксида}}} \right), \end{aligned}$$

где r – радиус пор, L – длина пор (в случае цилиндрических пор она равна толщине оксидной плёнки), n – количество пор, $S_{\text{пористой плёнки}}$ – площадь плёнки.

Таким образом,

$$n = \frac{1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2}{3,14 \cdot \left(\frac{40}{2} \cdot 10^{-9} \text{ м} \right)^2} \left(1 - \frac{3200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{3600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} \right) \approx 8,8 \cdot 10^9 \text{ нанонитей}$$

3. Массу никеля можно вычислить, зная объём всех пор:

$$m = \rho_{\text{Ni}} V_{\text{пор}},$$

где $V_{\text{пор}}$ – суммарный объём всех нанонитей, равный объёму всех пор (так как нити целиком заполняют объём занимаемой поры), ρ_{Ni} – плотность никеля (8900 кг/м^3).

Объём всех пор можно рассчитать как

$$V_{\text{пор}} = \pi r^2 L n.$$

Следовательно,

$$m = \rho_{Ni} \pi r^2 L n$$

$$L = \frac{m}{\rho_{Ni} \pi r^2 n}$$

$$L = \frac{7,6 \cdot 10^{-6} \text{ кг}}{8900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 3,14 \cdot \left(\frac{40}{2} \cdot 10^{-9} \text{ м} \right)^2 \cdot 8,8 \cdot 10^9} \approx 77 \text{ мкм}$$

4. Поскольку механически извлечь синтезированные нанонити из оксидной матрицы не представляется возможным, необходимо применить химический метод, а именно растворить оксид алюминия в щёлочи, например, в гидроксиде натрия. Растворять оксидную плёнку в кислоте нельзя, так как при этом растворятся и нанонити.





Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 6. Графеновые мембраны

Известно, что оксид графена, синтезированный методом Хаммерса (окислением графита перманганатом калия в присутствии серной кислоты и нитрата натрия), является перспективным мембранным материалом, поскольку он имеет малую толщину и содержит дефекты в виде пор диаметром в единицы нанометров.

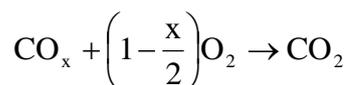
1. Какие ионы (Na^+ или Cl^-) преимущественно будут проникать через такую мембрану, разделяющую водный раствор NaCl и дистиллированную воду? Объясните. **(2 балла)**
2. Можно ли полностью разделить хлорид-анионы и катионы металла с помощью подобной мембраны в случае 0,1 М водных растворов:
 - а) хлорида калия,
 - б) хлорида лития?Ответы обоснуйте. **(2 балла)**
3. Определите формулу оксида графена, полученного методом Хаммерса, если для полного сгорания 145,5 мг синтезированного оксида необходимо 132,7 мл кислорода (условия нормальные). **(6 баллов)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 6. Графеновые мембраны

1. Поскольку диаметр пор (единицы нанометров) превышает размеры обоих ионов, на их разделение будет влиять в основном фиксированный заряд на краях дефектов. Полученный методом Хаммерса оксид графена в водной среде содержит карбоксильные группы, которые находятся в депротонированном состоянии при нейтральных значениях pH. Следовательно, в водном растворе NaCl и дистиллированной воде края дефектов будут заряжены отрицательно, поэтому проникать через них будут преимущественно катионы Na⁺.
2. Полностью разделить катионы и анионы нельзя ни в случае KCl, ни в случае LiCl. Поскольку любой раствор должен быть электрически нейтральным, преимущественное проникновение катионов соли через мембрану приведёт к противотоку ионов H⁺, концентрация которых значительно ниже. Поэтому разделение ионов оказывается ограниченным.
3. Обозначим формулу оксида графена CO_x и запишем уравнение реакции его полного сгорания:



Согласно уравнению реакции, количество сгоревшего оксида графена равно

$$v(\text{CO}_x) = \frac{v(\text{O}_2) \cdot 1}{1 - \frac{x}{2}} = \frac{0,1327 \text{ л}}{\left(1 - \frac{x}{2}\right) \cdot 22,4 \frac{\text{л}}{\text{моль}}} = \frac{0,1327}{\left(1 - \frac{x}{2}\right) \cdot 22,4} \text{ моль}$$

В то же время, по условию задачи

$$v(\text{CO}_x) = \frac{m(\text{CO}_x)}{12 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot 1 + 16 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot x} = \frac{0,1455}{12 + 16x} \text{ моль}$$

Таким образом,

$$\frac{0,1327}{\left(1 - \frac{x}{2}\right) \cdot 22,4} = \frac{0,1455}{12 + 16x}$$

$$x = 0,444$$

Следовательно, формула оксида CO_{0,444} или C_{2,25}O.



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 7. Желтое вещество

Школьник нашел ампулу без этикетки с желтыми кристаллами игольчатой формы. Масса навески составила 3.2 г. В перчаточном боксе в атмосфере азота была взята навеска 1.0 г. Навеска перенесена в пробирку растворена в азотной кислоте (объем 10 мл, концентрация 40 масс.%). Раствор приобрел бурю окраску. При добавлении в пробирку 2 мл четыреххлористого углерода органическая фаза окрашивается в желтый цвет, а водный раствор становится практически бесцветным.

Опытным путем школьником установлено, что при добавлении к оставшейся порции избытка водного раствора сульфида аммония или тиомочевины наблюдается выпадение кристаллов черного цвета массой около 0.4 г, а при добавлении к такому же водному раствору 2 мл 1 М раствора иодида калия формируются желтые кристаллы массой 0.79 г.

Было установлено, что разложение желтого вещества происходит при температуре 690-700 К. При взаимодействии с подкисленным раствором $K[Vi_4]$ выпадает красный осадок. После этих наблюдений школьник вычислил состав желтого вещества.

Известно, что из желтого вещества могут быть получены квантовые точки. Коллоидный раствор квантовых точек в толуоле окрашен в желтый цвет. Квантовые точки люминесцируют под действием УФ-лазера, при этом цвет свечения вещества зависит от размера наночастиц. Так для наночастиц размером 6.5 ± 0.8 нм положение максимума фотолюминесценции составляет 510-520 нм.



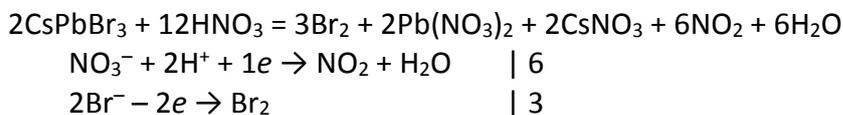
1. Определите состав желтого вещества на основании проведенного химического анализа. Объясните все наблюдаемые явления и напишите уравнения реакций. **(8 баллов)**
2. Оцените величину энергетического перехода для квантовых точек желтого вещества, вызвав ответ в эВ. **(2 балла)**

Всего – 10 баллов



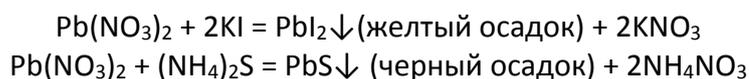
Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 7. Желтое вещество

1. Желтый порошок – CsPbBr₃.



Бурый продукт окисления, окрашивающий органические растворители в желтый или красноватый цвет, – молекулярный бром. Для сравнения, элементарный иод в среде CCl₄ имеет яркий малиновый цвет.

Черный осадок с сульфидом и тиомочевинной может образовывать свинец. Продукт – соединение с низкой растворимостью PbS (0,413 г). Свинец также образует желтые кристаллы иодида свинца при взаимодействии с иодидом калия (0,795 г). Уравнения протекающих реакций можно записать следующим образом:



Таким образом, соединение содержит свинец.

Вещество содержит также третий элемент. Это катион, реагирующий с иодовисмутатом калия K[BiI₄] при подкислении HI по реакции:



Из литературы известно большое число сложных иодидов, которые могут применяться в составе солнечных элементов и светодиодов. Многие из них органо-неорганические, то есть содержат органический катион. Вероятность присутствия органических катионов в составе неизвестного соединения исключает его достаточно высокая температура плавления – выше 500°C.

2. Энергия фотолюминесцентного перехода квантовых точек CsPbBr₃ составляет около 2,4 эВ, что соответствует зеленому свечению частиц. Рассчитать величину энергии в «электрон-вольтах» легко, воспользовавшись онлайн-калькулятором, например, на сайте химического факультета МГУ (<https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/virttxtjml/cnvcalc.htm>).

To use the following calculator, first select the units for each entry. Then enter a number value in one of the display boxes, and press the **Calculate** button. The corresponding conversions will appear in exponential form in the remaining boxes. The exponential notation: e+08 for 10⁸ and e-11 for 10⁻¹¹, may be used for the initial input, but is not necessary. Note that commas will be eliminated, so when representing a decimal point they must be replaced by ".".



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 8. Золотое безумие

Гальванические методы формирования покрытий знакомы многим по предметам бытовой продукции, однако имеют высокую значимость также в производстве техники и промышленного оборудования, изделий для военных применений. Активное исследование процессов гальванического осаждения металлов началось в XVIII веке с работ Алессандро Вольта и уже в XX веке гальваника сыграла важную роль в технологии обработки металлов.

Как обывателям, нам в большей степени знакомы покрытия из серебра и золота, нанесенные электрохимически на стальные изделия. Такие покрытия предотвращают контакт с организмом токсичных металлов, компонентов сплавов, таких как, например, хром, вызывающих раздражение кожи и слизистых. Золото также интересно как один из химически инертных металлов, что важно, в том числе, для формирования токопроводящих покрытий и нанопокровтий с эффектом поверхностного плазмонного резонанса для оптических сенсоров.



1. Рассчитайте время, необходимое для электрохимического осаждения 10 мг золота на металлическую пластину площадью 1 см^2 , полностью погруженную в 50 мл электролита золота с концентрацией золота Au(III) 5 ммоль/л. Плотность тока постоянна и составляет 25 mA/cm^2 . Площадь контакта провода с электродом считайте пренебрежимо малой. В расчете не учитывайте протекание возможных побочных процессов. Молярную массу золота примите равной 197 г/моль . Плотность золота 19.32 г/см^3 . **(3 балла)**
2. Рассчитайте толщину полученного покрытия. Ответ выразите в нанометрах. **(4 балла)**
3. В интернете для любителей электронных часов предлагается сервис по гальваническому покрытию корпуса часов и стального браслета золотом (например, <https://www.honeydipped.com/products/apple-watch-band-plating>). Предложите свою методику покрытия золотом корпуса часов Apple Watch с размером корпуса 40 мм с указанием условий проведения процесса, используемых веществ, материалов, оборудования. Расчетная толщина покрытия должна составлять 1000 нм. Предполагаем, что поверхность корпуса часов является металлическим алюминием. **(3 балла)**

Внимание! Данная задача должна быть решена теоретически. Гибель дорогостоящих гаджетов в процессе решения авторами задачи не предусмотрена.

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 8. Золотое безумие

1.

$$m = KI\Delta t$$

$$K = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{Z} \Rightarrow m = \frac{AI}{FZ} \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{mFZ}{AI} = \frac{10 \cdot 10^{-3} \cdot 96485,33 \cdot 1}{196,97 \cdot (1 \cdot 25 \cdot 10^{-3})} \approx 587,82 \text{ с} \approx 9,8 \text{ мин}$$

2. Теоретическую толщину слоя золота можно найти, используя формулу:

$$m = \rho V = \rho S d,$$

отсюда:

$$d = \frac{m}{\rho S} = \frac{10 \cdot 10^{-3} \text{ г}}{19,32 \text{ г/см}^3 \cdot 1 \text{ см}^2} \approx 0,5176 \cdot 10^{-3} \text{ см} = 5,176 \text{ мкм} = 5176 \text{ нм}$$

Рассчитав теоретическую толщину слоя золота, логично задаться вопросом: а хватит ли золота, присутствующего в электролите, для формирования такого покрытия? В этом можно убедиться, сделав простой расчет:

$$\nu_1 = \frac{m}{M} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{197 \cdot 10^{-3}} \approx 0,051 \text{ моль}$$

$$\nu_2 = CV = 5 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,1 \text{ моль}$$

Значит, золото в электролите будет израсходовано не полностью.

3. Часы Apple Watch водонепроницаемы, однако это не означает, что они не могут повредиться при гальванической обработке. Часы необходимо выключить. Части корпуса, которые могут быть повреждены, необходимо покрыть изолятором (лак, наносимый кисточкой или распыляемый аэрозольно, наклейка из плотной ламинированной или вощеной бумаги).

Площадь корпуса часов может быть оценена из геометрических размеров, доступных на сайте производителя. Из площади должен быть вычтен размер экрана, пульсометра, иных частей, изолированных автором методики от электролита. Площадь поверхности составит около 0,2 см².

Расчет массы золота, осажденного на поверхность часов, и времени осаждения производится по тем же формулам, что и в пп. 1, 2.



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 9. Древнерусские пигменты

Среди множества пигментов, применявшихся древнерусскими мастерами, были минеральные красители разных цветов. Найденный в деревне в Ярославской области черепок глиняного горшочка был изрядно потерт, однако рисунок на его поверхности сохранился. Черепок был окрашен самыми популярными на Руси цветами: красным, зеленым и белым.

Чтобы не возить находку на экспертизу в город, дети, нашедшие его, решили самостоятельно провести химическую экспертизу красок с применением доступных бытовых реагентов, доступных в аптеках, продуктовых и бытовых магазинах.

Эксперимент показал, что при нагревании белая и красная краска превращаются в желтый порошок, а зеленая плавится и после образует черный твердый осадок.

1. Предположите состав минеральных пигментов, которыми может быть сделан рисунок на поверхности черепка. **(3 балла)**
2. Опишите химические превращения, происходящие с красками при нагревании, записав соответствующие химические реакции. **(5 баллов)**
3. Назовите три современных аналитических метода, применяемых для анализа структурного и элементного состава пленок, которыми состав пигментом на черепке мог бы быть изучен неdestructивно (без необходимости отделения краски от поверхности черепка). **(2 балла)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 9. Древнерусские пигменты

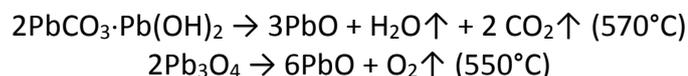
1. Белый: свинцовые белила – основной карбонат свинца $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$.

Красный: свинцовый сурик – ортоплюмбат свинца Pb_3O_4 ($2\text{PbO} \cdot \text{PbO}_2$). Другой красный краситель, используемый в древности – киноварь, сульфид ртути HgS .

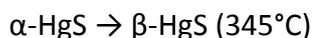
Зеленый: ярь-медянка – основной ацетат меди $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot n\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Другой зеленый краситель – малахит, основной карбонат меди $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$.

2. Если краски не обугливаются и не сгорают при нагревании, то пигменты – неорганические.

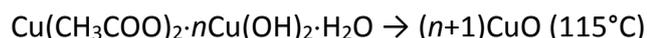
При нагревании свинцовых красителей до температур выше 570°C образуют красный PbO (глет), выше 625°C – образуется желтый PbO (массикот).



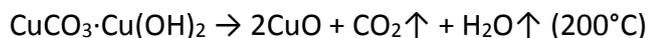
При нагревании киновари происходит потемнение пигмента, связанное с фазовым переходом при температуре 345°C , однако желтый продукт не образуется.



Зеленый – ярь-медянка (основной ацетат меди) может быть различной основности и иметь цвет от темно-зеленого и голубого до ярко-зеленого. Плавится выше 115°C .



Малахит разлагается при температуре 200°C с образованием черного продукта по реакции:

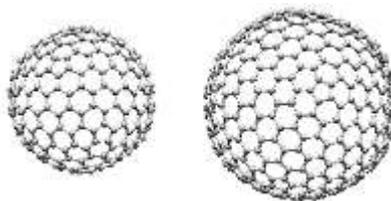


3. Для неdestructивного анализа фазового и элементного состава красок на практике используют следующие методы:

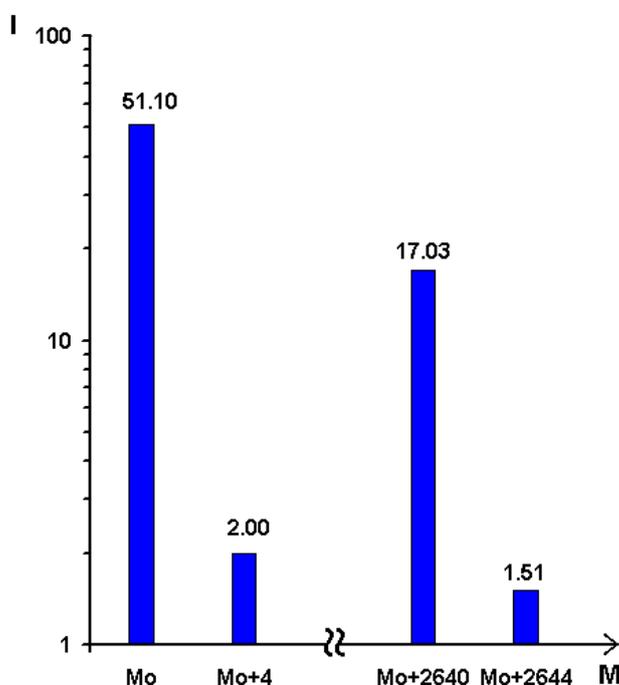
- рентгенофлуоресцентный и рентгеноспектральный микроанализ позволяют определить элементный состав пигментов,
- рентгенофазовый анализ позволяет точно описать фазовый состав пигментов.



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 10. Синтез двух фуллеренов



В некотором реакторе при температуре 900 °С в атмосфере инертного газа был проведен синтез смеси двух фуллеренов C_{n1} и C_{n2} . Помимо них, полученная смесь продуктов содержит еще два продукта: A_1 и A_2 . Навеска такой смеси сгорает без остатка с образованием двух газов X и Y , при этом $D_Y(X) = 11$. Упрощенный масс-спектр полученной смеси приведен на рисунке.



1. Расшифруйте X и Y . (1 балл)
2. Опишите структуру A_1 и A_2 . Как называется такой тип соединений? Приведите еще несколько примеров соединений такого же типа. (2 балла)
3. На основании данных масс-спектра:
 - 3.1. Оцените значения n_1 и n_2 . (4 балла)
 - 3.2. Найдите парциальное давление инертного газа в реакторе (в атм). (3 балла)

По пп. 3.1 – 3.2 перечислите сделанные вами допущения.

Длину связи С–С в обоих фуллеренах примите постоянной и равной 0.142 нм.

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 10. Синтез двух фуллеренов

1. При сгорании фуллеренов образуется CO_2 , следовательно, он является одним из двух газов смеси. Тогда молярная масса второго газа будет в 11 раз либо больше, либо меньше молярной массы CO_2 (44 г/моль), и составит 4 либо 484 г/моль. Первому варианту соответствует инертный газ гелий, который является инертным газом, использовавшимся при синтезе фуллеренов.
2. Тогда в масс спектре мы видим пики, отвечающие молекулам двух фуллеренов C_{n1} и C_{n2} , а также их соединениям включения с гелием, $\text{He}@\text{C}_{n1}$ и $\text{He}@\text{C}_{n2}$ в которых атом гелия находится во внутренней полости фуллеренов.

Пример таких соединений включения: газовые гидраты (например, гидрат метана $4\text{CH}_4 \cdot 23\text{H}_2\text{O}$), клатраты мочевины (например, гидропирит $(\text{NH}_2)_2\text{CO} \cdot \text{H}_2\text{O}_2$), интеркаляты графита (например, KC_8) и фуллерита (например, фуллерид Cs_3C_{60}).

3. Запишем уравнение Менделеева-Клайперона для условий образования молекул произвольного фуллерена C_n :

$$pV = \nu RT,$$

здесь:

$p = p_{\text{He}}$ – давление в условиях синтеза, равное парциальному давлению гелия,
 $V = (N_F + N_{\text{He}}) \cdot V_F$ – суммарный объем полостей всех синтезированных молекул фуллерена C_n ,
 $V_F = 4/3\pi r^3$ – объем одной молекулы фуллерена C_n (приблизительно считаем, что молекула фуллерена имеет близкую к сферическую форму, поэтому будем полагать, что внутренний объем полости равен объему этой сферы),
 N_F – число молекул фуллерена C_n без атомов гелия внутри,
 N_{He} – число молекул $\text{He}@\text{C}_n$ (фуллерена с атомами гелия внутри),
 $\nu = N_{\text{He}}/N_A$ – количество моль гелия, заключенное в объеме фуллеренов C_n .

То есть,

$$p_{\text{He}}(N_F + N_{\text{He}}) \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{N_{\text{He}}}{N_A} RT. \quad (1)$$

Выведем уравнение, связывающее радиус этого фуллерена C_n с его молярной массой. Для этого рассмотрим площадь поверхности фуллереновой молекулы.

С одной стороны, площадь поверхности сферического фуллерена составляет,

$$S_F = 4\pi r^2.$$

С другой стороны, поверхность фуллерена C_n можно рассматривать как совокупность двенадцати правильных пятиугольников и $(0,5n - 10)$ правильных шестиугольников. Приблизительно считая площадь пятиугольников равной площади шестиугольников, составляющей

$$1,5\sqrt{3} \cdot 0,142^2 \text{ нм}^2,$$

и, приравнивая друг к другу два способа вычисления площади поверхности, получаем:

$$4\pi r^2 = 1,5\sqrt{3} \cdot 0,142^2(0,5n + 2),$$

где $n = M/12$.

Тогда:

$$r = \sqrt{\frac{1,5\sqrt{3} \cdot 0,142^2(0,5M/12+2)}{4\pi}}. \quad (2)$$

Теперь запишем уравнение (1) отдельно для каждого из двух фуллеренов C_{n1} и C_{n2} и, чтобы избавиться от давления, поделим полученные выражения друг на друга:

$$\frac{r_1^3}{r_2^3} = \frac{N_{He1}(N_{F2}+N_{He2})}{N_{He2}(N_{F1}+N_{He1})}.$$

Полагая, что интенсивности пиков I в масс-спектре прямо пропорциональны числу соответствующих частиц N :

$$\frac{r_1^3}{r_2^3} = \frac{N_{He1}(N_{F2}+N_{He2})}{N_{He2}(N_{F1}+N_{He1})} = \frac{I_{He1}(I_{F2}+I_{He2})}{I_{He2}(I_{F1}+I_{He1})},$$

$$\frac{r_1^3}{r_2^3} = \frac{2(17,03 + 1,51)}{1,51(51,1 + 2)} = 0,4625$$

В то же время, как следствие из (2), получаем:

$$\frac{r_1^3}{r_2^3} = \frac{\sqrt{(0,5 M_0/12 + 2)^3}}{\sqrt{(0,5(M_0/12 + 2640/12) + 2)^3}}$$

$$\frac{0,5 M_0/12 + 2}{0,5(M_0/12 + 2640/12) + 2} = \sqrt[3]{0,4625^2} = 0,5981$$

$$0,5 M_0/12 + 2 = 0,29905 (M_0 + 2640)/12 + 1,1962$$

$$M_0 = \frac{0,29905 \cdot 2640/12 + 1,1962 \cdot 12 - 2}{(0,5 - 0,29905)/12} = 3880.$$

Следовательно,

$$n_1 = 3880/12 \approx \underline{324},$$

$$n_2 = (3880 + 2640)/12 = 6520/12 \approx \underline{544}.$$

Теперь, зная n_1 и n_2 , рассчитаем радиусы фуллеренов C_{n1} и C_{n2} :

$$r_1 = \sqrt{\frac{1,5\sqrt{3} \cdot 0,142^2(0,5 \cdot 324 + 2)}{4\pi}} = 0,83 \text{ нм},$$

$$r_2 = \sqrt{\frac{1,5\sqrt{3} \cdot 0,142^2(0,5 \cdot 544 + 2)}{4\pi}} = 1,07 \text{ нм}.$$

Тогда парциальное давление инертного газа в реакторе составляет

$$P_{\text{He}} = \frac{3N_{\text{He}}RT}{4N_a\pi r^3(N_F + N_{\text{He}})}$$

$$P_{\text{He}} = \frac{3I_{\text{He}}RT}{4N_a\pi r^3(I_F + I_{\text{He}})}$$

$$P_{\text{He}} = \frac{3 \cdot 2 \cdot 8,314 \cdot 1173}{4 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \cdot 3,14 \cdot (0,83 \cdot 10^{-9})^3 (51,1 + 2) \cdot 101325} \approx 2,5 \text{ атм}$$

Ответ:

- примерные химические формулы фуллеренов – C_{324} и C_{544} ,
- синтез проводился при парциальном давлении гелия, равном **2,5 атм.**



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 тестов [викторин по предметам](#). Все прошедшие на очный тур обязательно решают задачи по всем четырем предметам.

Задания

1. Как заглянуть в клетку

Каждый биолог мечтает заглянуть внутрь живой клетки и увидеть объект исследования своими глазами. Для этого существует много способов. Речь идет, конечно же, о микроскопии. На рисунке представлены 4 изображения, полученные одним и тем же методом (масштаб разный)...

2. Болезни кентавров

В лаборатории Хогвартса изучали болезнь, которая вызывает дегенеративные неврологические расстройства у кентавров. Биопсия головного мозга пораженных кентавров обнаруживает агрегацию «прионного белка» – белка, который способен складываться в несколько различных форм...

3. Зуб отшельника

В лесу нашли отшельника, который утверждал, что ему 200 лет. При осмотре у стоматолога отшельнику вырвали больной зуб. В процессе исследования этого зуба ученые-биохимики изучили содержание различных биомолекул в дентине и опровергли слова отшельника о его возрасте...

4. Группы крови. Люди и их питомцы

Поговорим о группах крови. Попробуйте ответить на ряд вопросов, посвященных системам крови человека и его питомцев – кошек (и совсем немножечко) собак. Не на все из этих вопросов можно ответить, используя знания, полученные в рамках школьной программы...

5. Сел и поехал

Аспирант Коврижкин получил наноконструкцию, которая попадает в клетку путем эндоцитоза, однако свое терапевтическое действие осуществляет в клеточном ядре. Он задумался о том, как конструкция в составе эндоцитозной везикулы может добраться от поверхности клетки к ядру...

6. Волшебный Зверь Оця

На далеком Севере живет мальчик Ёгра, и у него есть друг – волшебный зверь Оця. Однажды Ёгра спросил: "Оця, почему у тебя глаза летом светятся золотом, а зимой – голубые как лёд?" Оця ответил: "В моем глазу есть светящийся гобелен. Летом плетение его нитей редко, и он золотой"...

7. Минипут или лилипут?

В фильмах «Артур и минипуты» и «Человек-муравей» показаны уменьшения людей до размера в несколько миллиметров. В фильмах «Артур и минипуты» Артур и сами минипуты размером около 2.5 мм. А в фильме «Человек-муравей» герои могут уменьшаться до размеров муравья...

8. Клинические испытания

В лаборатории были синтезированы наночастицы, обладающие бактерицидным действием. Ученые сразу предложили 2 способа их потенциального применения: (1) в качестве антисептика для рук и (2) как лекарство от одного из наиболее распространенных осложнений после гриппа...

9. Кроссворд «Аллель»

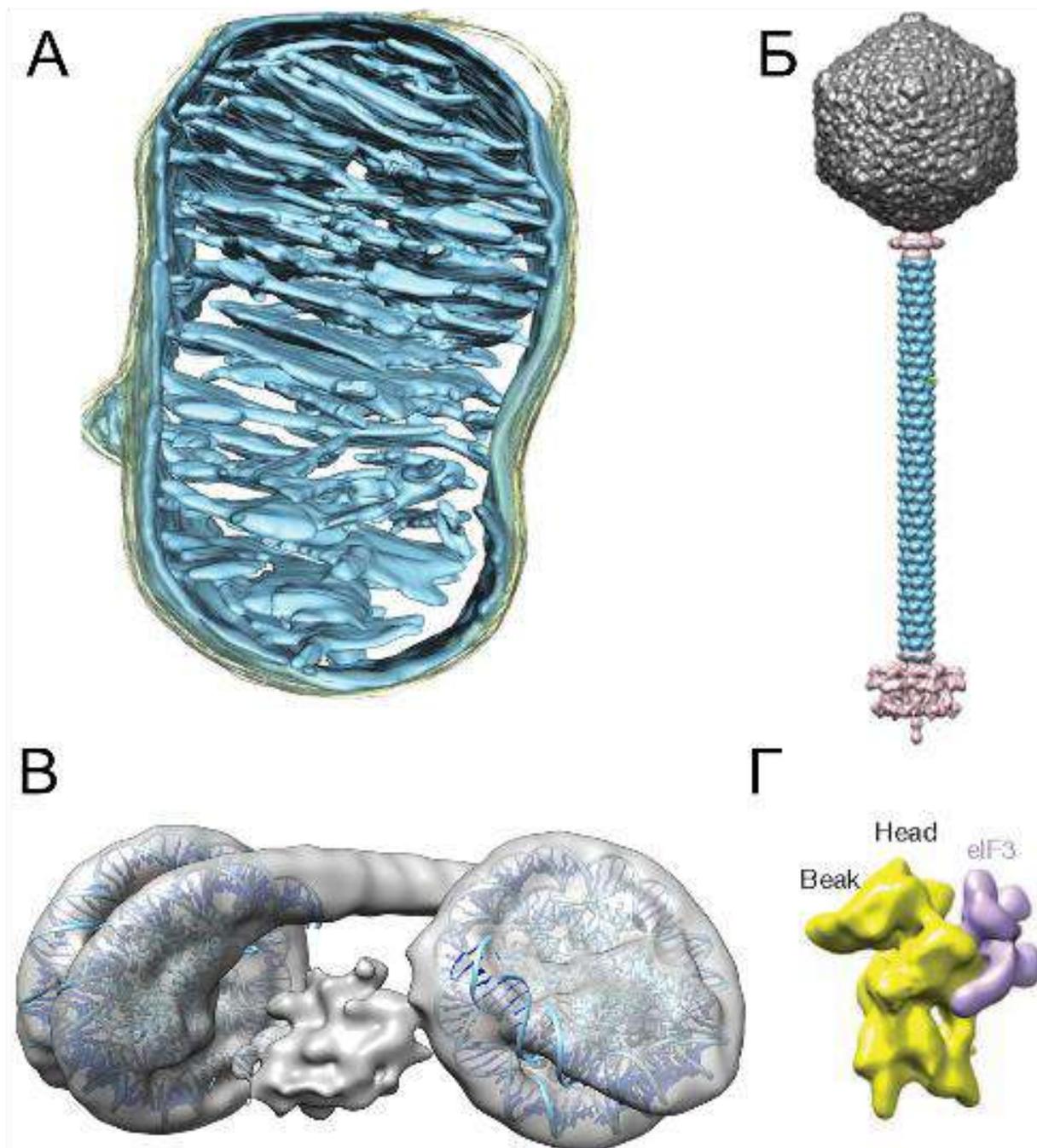
Предлагаем Вашему вниманию ставший уже традиционным генетический кроссворд «Аллель». По горизонтали: 5. Вирус бактерий. 7. Разновидность взаимодействия неаллельных генов, при котором один ген подавляет проявление другого(их) генов...

10. Бактерии-переростки

Микробиологи выделили из организма человека патогенные бактерии и высеяли их на питательную среду. Через несколько дней одни из них были явно больше других, но при этом имели один и тот же генотип. На правой фотографии все бактерии только что выделены из организма человека...

Задача 1. Как заглянуть в клетку

Каждый биолог мечтает заглянуть внутрь живой клетки и увидеть объект исследования своими глазами. Для этого существует много способов. Речь идет, конечно же, о микроскопии. На рисунке представлены 4 изображения, полученные одним и тем же методом (масштаб разный). За этот метод была присуждена Нобелевская премия по химии.



1. О каком методе идет речь? **(1 балл)**
2. Опишите основу этого метода (в чем его особенность, как исследовать крупные образцы). **(2 балла)**
3. Определите, что изображено на рисунках? **(4 балла)**

4. Какой(ие) еще метод(ы) позволяет(ют) получать схожие изображения с более высоким разрешением, но при этом требует более сложной методики приготовления проб? **(1 балл)**

5. Какие разновидности микроскопии позволяют исследовать:
 - а) строение клетки? **(1 балл)**
 - б) взаимодействие отдельных молекул внутри клетки? **(1 балл)**

Всего – 10 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 1. Как заглянуть в клетку

1. Криоэлектронная микроскопия.
2. Это разновидность просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), в которой образец исследуется при криогенных температурах (обычно в жидком азоте). Крупные образцы должны быть остеклованы замораживанием в жидком этане и разрезаны на тонкие срезы. По двумерным изображениям серии срезов можно воссоздать трехмерное изображение объекта.
3. А. Митохондрия.
Б. Бактериофаг.
В. Спираль ДНК (с гистоном).
Г. Рибосома.
4. Рентгеноструктурный анализ, ЯМР.
5.
 - а) Просвечивающая или сканирующая электронная микроскопия, оптическая микроскопия, флуоресцентная микроскопия, атомно-силовая микроскопия.
 - б) Флуоресцентная микроскопия (в том числе ее «сверхразрешающие» разновидности) при окрашивании исследуемых молекул; ПЭМ при мечении молекул наночастицами.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 2. Болезни кентавров

В лаборатории Хогвартса изучали болезнь, которая вызывает дегенеративные неврологические расстройства у кентавров. Биопсия головного мозга пораженных кентавров обнаруживает агрегацию «прионного белка» – белка, который способен складываться в несколько структурно различных форм. Были идентифицированы две версии белка. Нормальная форма преимущественно состоит из альфа-спиралей, тогда как вариант прионного белка имеет значительные структуры из бета-листов. Примечательно, что гидрофильные радикалы аминокислотных остатков располагаются по одну сторону «листа», гидрофобные — по другую. Так, белки с преимущественно бета-структурами имеют на внешней поверхности белка больше гидрофобных радикалов аминокислот.

Гермиона выделила нормальную и «прионную» формы белка и закристаллизовала их. Пробирки с белком были промаркированы. Но, к сожалению, маркер был нестойкий и маркировку случайно стерли с пробирок. Гермиона это обнаружила в тот момент, когда образцы должны были срочно передать в лабораторию маглов. Но она, потратив небольшое количество белка, с помощью простого эксперимента легко выяснила, в какой пробирке находится какой белок. В это же время в лаборатории маглов было разработано лекарство, которое селективно расщепляло ковалентные связи между двумя атомами серы несмежных аминокислот в полипептидной цепи прионной формы белка кентавров.

1. Назовите несколько примеров болезней, которые вызваны прионными белками в мире маглов? **(3 балла)**
2. С помощью каких белков в реальной клетке осуществляется контроль за укладкой молекулы белка в нативную форму? **(1 балл)**
3. Как вы думаете, как Гермиона различила свои образцы? **(4 балла)**
4. Какой уровень структуры белка будет наиболее затронут лекарством маглов? **(2 балла)**

Всего – 10 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 2. Болезни кентавров

1. Например, спорадическая болезнь Крейтцфельда–Якоба (sCJD), синдром Герстмана–Штраусслера–Шейнкера (GSS), фатальная семейная бессонница (FFI), куру и др. Для получения максимального количества баллов за этот подвопрос достаточно указать 3 варианта заболеваний.
2. Шапероны.
3. Она растворила оба образца в воде – нормальная форма белка растворяется быстрее, чем прионная форма.
4. Третичная структура белка.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 3. Зуб отшельника

В лесу нашли отшельника, который утверждал, что ему 200 лет. При осмотре у стоматолога отшельнику вырвали больной зуб. В процессе исследования этого зуба ученые-биохимики изучили содержание различных биомолекул в дентине и опровергли слова отшельника о его возрасте. По их подсчетам ему было около 70 лет.

1. Как вы думаете, какие молекулы в дентине могут подсказать возраст человека? **(3 балла)**
2. Что есть у этих молекул и чего нет у молекулы глицина? **(2 балла)**
3. Какой примерный процент этих биомолекул должен был бы быть в зубе отшельника, если бы он говорил правду о своем возрасте. Приведите расчеты. **(2 балла)**

Всего – 7 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 3. Зуб отшельника

1. L-аспарагиновая кислота самопроизвольно рацемизируется при температуре человеческого тела со скоростью 0,1 % в год. В период формирования зубов в дентине содержится только L-аспарагиновая кислота, у взрослого же человека в результате рацемизации образуется D-аспарагиновая кислота.
2. Молекула глицина не имеет стереоизомеров.
3. $0,1\% \times 200 \text{ лет} = 20\%$ D-аспарагиновой кислоты должно бы было быть в зубе.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 4. Группы крови. Люди и их питомцы

Поговорим о группах крови. Попробуйте ответить на ряд вопросов, посвященных системам крови человека и его питомцев – кошек (и совсем немножечко) собак.



Не на все из этих вопросов можно ответить, используя знания, полученные в рамках школьной программы, однако умение находить (и анализировать) информацию из открытых источников — это необходимое профессиональное качество ученого. Проверьте свои возможности. Вполне вероятно, что некоторые из этих знаний пригодятся вам в очном туре.

Пожалуйста, представьте ответ на вопрос в виде буквенной последовательности вида **ABCDEF**, где номер буквы – правильный с Вашей точки зрения ответ. Существует только один ответ на вопрос! Пробелов и номеров вопросов ставить не надо! Это значительно облегчит проверку. Помогите проверяющему, и проверяющий (возможно ;)) поможет Вам!

Пожалуйста, укажите какие из нижеперечисленных утверждений, на Ваш взгляд, ближе всего к истине.

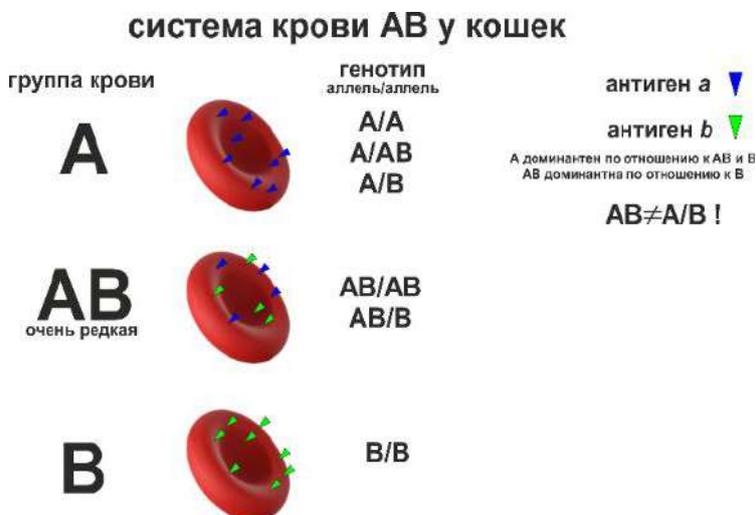
1. У человека присутствует **(2 балла)**:

- A) 3 группы крови;
- B) 4 группы крови;
- C) 8 групп крови;
- D) более 30 групп крови?

2. В человеческой крови **(2 балла)**:

- A) первая группа – универсальный донор, четвертая – универсальный реципиент;
- B) первая группа – универсальный донор эритроцитов, четвертая – универсальный донор плазмы;
- C) эритроцитарную массу и плазму можно переливать от любого донора к любому пациенту;
- D) достаточно знать группу крови по системе ABO и резус-фактор, чтобы безопасно переливать кровь;

3. У человека в системе АВО в крови О группы к 10-15 годам появляются антитела к антигенам, похожая ситуация наблюдается и в А и В группах крови, там появляются несовпадающие пары антитело-антиген (антиген А – антитела к антигену В и антиген В – антитела к антигену А, соответственно), то есть в организме появляются антитела к отсутствующим антигенам. Как вы думаете, откуда берутся антитела к антигенам? **(2 балла)**
- А) в настоящее время ученые пытаются это выяснить;
 - В) в геноме есть соответствующие гены и они включаются со временем;
 - С) в результате развития иммунного ответа на вирус гриппа и/или штаммы некоторых бактерий;
 - Д) в результате действия некоего вируса, передающего клеткам хозяина соответствующие антигены, полученные у другого зараженного.
4. Что более опасно при переливании крови (здесь мы рассматриваем только взрослых животных и людей, также известно, что переливаем «неправильную» кровь) **(2 балла)**:
- А) переливание крови от кошки-кошке;
 - В) от собаки-собаке;
 - С) обе эти ситуации одинаково опасны;
 - Д) обе эти ситуации одинаково безопасны;
5. Наиболее распространенная система групп крови у кошек – это система АВ, однако она отличается от человеческой с похожим названием. Данная система содержит три группы крови. Группа крови определяется сочетанием аллелей А, В или АВ, кодирующихся в одном гене. Аллель А доминантна по отношению к АВ и В, а аллель АВ доминантна по отношению к В (смотри рисунок). Какая ситуация может возникнуть в результате скрещивания кошки с кровью группы В и кота с группой А? **(2 балла)**
- А) ничего опасного из-за различных групп крови у кошки и котят не произойдет;
 - В) есть вероятность гибели плода из-за несовместимости групп крови;
 - С) есть большая вероятность гибели котят с отличной от материнской группой крови в первые часы (дни) жизни;
 - Д) обе эти ситуации из пункта В и С одинаково вероятны при рождении котят с отличной от материнской группой крови.



Всего – 10 баллов



**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
 Решение задачи 4. Группы крови. Люди и их питомцы**

За эту задачу можно получить максимум 10 баллов, по 2 балла за подвопрос.

Ответы на подвопросы в виде буквенной комбинации:

ДВААС

Рассмотрим ответы более подробно:

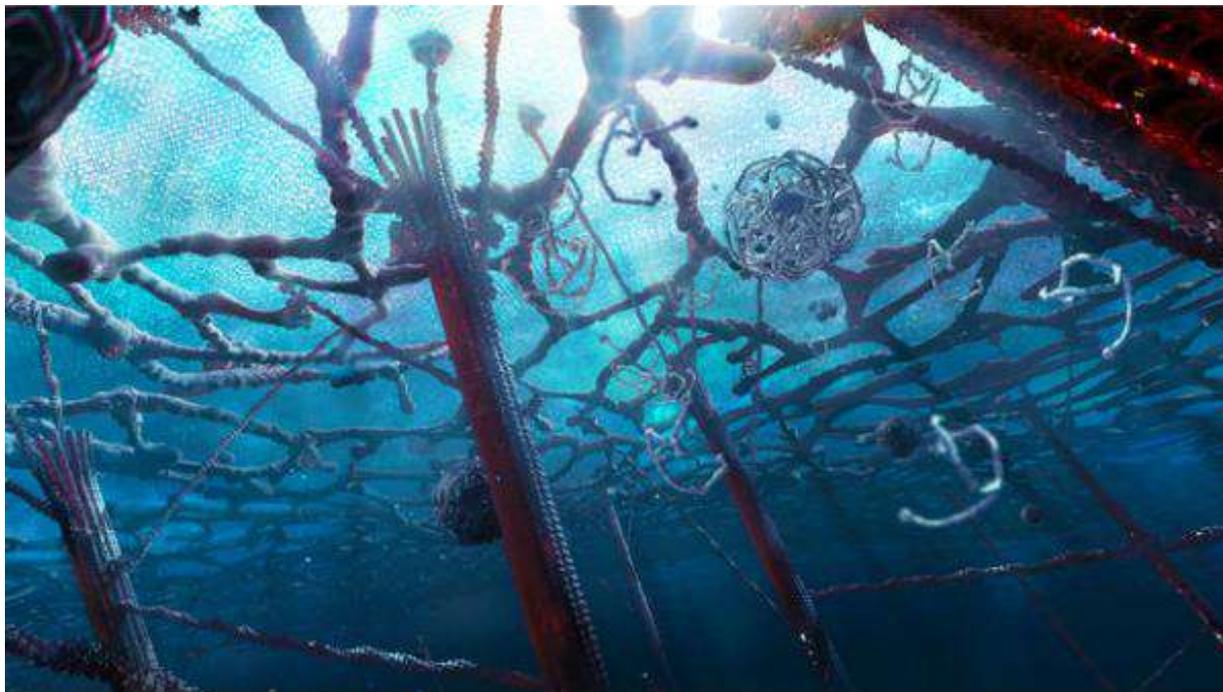
1. Для правильного ответа на вопрос нужно понимать, что такое группа крови. Немного упрощенно, группа крови – набор некоторых определенных антигенов эритроцитов, определяемых при помощи специальных методик. Система крови – это совокупность антигенов, контролируемых определенными генами (как правило одним), содержащими различное число аллелей (например, система групп крови АВО, содержащая О, А, В и АВ группы крови, другими примерами могут быть система резус-фактора, система Келла и т.д.). В крови находится множество систем крови и, соответственно, еще больше групп, что и определяет ответ на подвопрос.
2. Здесь необходимо вспомнить, что содержит кровь различных групп. Ниже приведена таблица, в которой указано, какие антитела и антигены содержат компоненты крови различных групп:

	Группа крови			
	О	А	В	АВ
плазма	Антитела к антигенам А и В	Антитела к антигенам В	Антитела к антигенам А	нет
эритроциты	нет	Антиген А	Антиген В	Антигены А и В

Из таблицы видно, что плазма О группы содержит антитела к антигенам А и В, значит, ее добавление к крови любой группы вызовет склеивание эритроцитов. В плазме крови группы АВ антител нет, значит, она безопасна для всех групп системы АВО. Зато эритроциты О группы не содержат антигенов, значит, при их добавлении к крови различных групп они не склеятся, что делает их наиболее безопасными.

3. Как это ни странно, но единого ответа на этот вопрос нет. Существует довольно широкий спектр гипотез, посвящённых этому вопросу, поэтому ответ «науке это неизвестно» будет наиболее приемлемым.
4. Чтобы правильно ответить на этот вопрос, нужно знать о том, что у собак, в отличие от кошек, изначально антител к антигенам в крови нет. Они могут выработаться уже после переливания крови, но на это уходит в среднем 5-8 дней. За это время состояние животного может стабилизироваться, могут подвезти «правильную» кровь, могут синтезироваться «свои» эритроциты, наконец (а вот последующие переливания при наличии антител уже опасны). Таким образом наиболее приемлемым в этом случае будет ответ А – более опасно переливание «неправильной» крови от кошки кошке.

5. В данной ситуации велика вероятность рождения котят с группой крови А (в зависимости от генотипа кота она вообще может быть 100%) или АВ. Это может привести к несовместимости групп крови. При этом, через плаценту в утробе матери антитела практически не передаются и угрозы жизни плоду не несут. Однако, после рождения кишечник котят в первые несколько суток жизни способен поглощать в неизменном виде опасные для котенка материнские антитела, получаемые вместе с молоком, что считается наиболее частой причиной "синдрома угасания котят" в неонатальном периоде.



Аспирант Коврижкин получил наноконструкцию, которая попадает в клетку путем эндоцитоза, однако свое терапевтическое действие осуществляет в клеточном ядре. Он задумался о том, как конструкция в составе эндоцитозной везикулы может добраться от поверхности клетки к ядру: «Везикула «пойдет пешком» или «поедет по железной дороге»?»

1. Предположите, что скрывается под понятиями «пойти пешком» и «поехать по железной дороге». **(2 балла)**
2. Как вы думаете, могут ли «ходить пешком» такие «солидные» органеллы, как митохондрии и хлоропласты? Почему? **(1 балл)**
3. Могут ли ездить на поезде отдельные молекулы, такие как глюкоза, или ионы, например, ионы кальция, натрия? Почему? **(1 балл)**
4. Какие типы «рельсов» в клетке вы знаете? **(2 балла)**
5. Произошла авария, и все «поезда» в клетке остановились. Предположите, что могло произойти? **(3 балла)**
6. Каким еще «транспортом» могут перемещаться в клетке эндоцитозные везикулы? Придумайте аналогию и опишите механизм. **(1 балл)**

Всего – 10 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 5. Сел и поехал

1. «Пойти пешком» - передвигаться с помощью простой диффузии под действием броуновского движения молекул воды. «Поехать на поезде» - использовать специальные системы внутриклеточного транспорта, такие как микротрубочки и микрофиламенты (актин).
2. Относительно крупные объекты, такие как митохондрии и хлоропласты, будут передвигаться с помощью диффузии крайне медленно, т.к. количество соударений молекул растворителя с разных сторон будет большим и приблизительно одинаковым.
3. Нет, т.к. для перемещения при помощи микротрубочек и микрофиламентов вещества должны находиться внутри везикулы. Одиночные молекулы глюкозы и ионы транспортируются путем просто диффузии.
4. Микротрубочки, перемещение по ним осуществляется при помощи моторных белков кинезина и динеина. Актин, перемещение осуществляется при помощи молекул миозина.
5. Транспорт с использованием микротрубочек и микрофиламентов является активным, происходит с затратой АТФ. Возможная причина «аварии» – нехватка АТФ. Это возможно при истощении субстратов цикла Кребса или гликолиза, добавлении агентов, нарушающих работу митохондрий, например, ингибиторы дыхательной цепи, разобщителей окислительного фосфорилирования. Другим типом «аварии» может быть добавление агентов, разрушающих элементы цитоскелета, например, цитохалазина.
6. Возможно также перемещение с потоком цитоплазмы (это не то же самое, что диффузия). Характерно для тех клеток, где есть выраженные потоки цитоплазмы, например, циклозис. Аналогия – водный транспорт, лодка и т.п.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 6. Волшебный Зверь Оця



На далеком Севере живет мальчик Ёгра, и у него есть друг – волшебный зверь Оця. Однажды Ёгра спросил:

– Оця, почему у тебя глаза летом светятся золотом, а зимой – голубые как лёд?

Оця ответил:

– В моем глазу есть светящийся гобелен. Летом плетение его нитей редко, и он золотой. Зимой же мне приходится напрягать зрение, давление в глазу возрастает и нити гобелена прижимаются друг к другу, плетение становится плотным, гобелен становится голубым.

– Значит, нити гобелена не меняют цвет, но сам гобелен окрашивается по-разному в зависимости от их расположения?

– Так и есть, – ответил Оця.

– Выходит, что зимой ты видишь хуже? – с сочувствием спросил мальчик Ёгра.

– Я хуже различаю мелкие детали, но зато могу издали заметить тебя, когда ты приходишь встретиться со мной, – утешил его Оця, – и в этом мне помогает синий цвет светящегося гобелена.

1. Кто такой зверь Оця, что такое светящийся гобелен и есть ли он у других зверей (каких?) и у мальчика Ёгры? Что представляют собой нити гобелена? **(4 балла)**
2. Почему глаза зверя Оця меняются зимой и летом (а не весной и осенью, например)? Почему зимой ему приходится напрягать зрение? **(2 балла)**
3. Зачем зверю Оця светящийся гобелен? **(2 балла)**
4. Как в нанотехнологиях называется изменение окраски поверхности или структуры при изменении расположения или размеров ее отдельных элементов? **(1 балл)**
5. Почему именно синий цвет светящегося гобелена помогает зверю Оця видеть лучше? **(4 балла)**

Всего – 13 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 6. Волшебный Зверь Оця

1. Зверь Оця – северный олень, у него в зависимости от сезона меняется окраска глаз. Светящийся гобелен – Tapetum lucidum – слой сосудистой оболочки глаза, расположен позади сетчатки, представляет собой «зеркальце», отражательную оболочку. Состоит из волокон коллагена и кристаллов гуанина. Тапетум есть у кошек, собак, других млекопитающих и даже у некоторых ракообразных. У человека тапетума нет.
2. На севере в полярных широтах зимой полярная ночь и темно, летом – полярный день, однако снег местами не тает и дает дополнительное отраженное освещение. Поэтому зимой и летом глаза оленя адаптируются к пониженной и повышенной освещенности.
3. Как и у других животных, тапетум отражает поток света, уже прошедший сквозь сетчатку, обратно, таким образом увеличивая вероятность поглощения фотонов зрительным пигментом. Это адаптация к условиям пониженной освещенности.
4. Структурная окраска. Примеры в живой природе – окраска бабочек, хамелеона и т.п.
5. Синий свет лучше рассеивается на неоднородностях среды. Поэтому он не просто отражается от тапетума, но и рассеивается во всех направлениях. Таким образом, вероятность поглощения фотонов пигментными клетками сетчатки еще больше увеличивается. Кроме того, в течение полярной ночи спектр освещения смещается в синюю и УФ область, и именно эта область спектра лучше отражается тапетумом, увеличивается вероятность поглощения именно «синих» фотонов.

Использованная литература

Stokkan Karl-Arne, Folkow Lars, Dukes Juliet, Neveu Magella, Hogg Chris, Siefken Sandra, Dakin Steven C. and Jeffery Glen Shifting mirrors: adaptive changes in retinal reflections to winter darkness in Arctic reindeer. 22 December 2013, Volume 280 (Issue 1773). *Proc. R. Soc. B.* <http://doi.org/10.1098/rspb.2013.2451>



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 7. Минипут или лилипут?

В фильмах «Артур и минипуты» и «Человек-муравей» показаны уменьшения людей до размера в несколько миллиметров. В фильмах «Артур и минипуты» Артур и сами минипуты размером около 2.5 мм. А в фильме «Человек-муравей» герои могут уменьшаться до размеров муравья (около 5 мм) и увеличиваться до 10 метров. При этом они могут совершать «скачок» и оказываться в квантовом мире.

При расчетах считать рост человека равным 180 см.

1. Обоснуйте, возможно ли подобное изменение размеров человеческого организма в случаях, когда:
 - 1.1. клетки изменяют размер равномерно, при этом число клеток не меняется. **(2 балла)**
 - 1.2. клетки не изменяют размер, при этом их количество меняется при неизменном размере молекул и атомов **(2 балла)**. Что происходит с АТФ? **(2 балла)**
2. Возможно ли при изменении размеров клеток изменение количества молекул в клетках? Необходимо ли оно? **(2 балла)**
3. Что при изменении размеров выгоднее – изменять внешний вид и физиологию, как в фильме «Артур и минипуты», или оставаться в исходном физиологическом состоянии, как в фильме «Человек-муравей»? В качестве «клеток сравнения» возьмите эритроциты, размер которых в диаметре составляет около 8 мкм и в толщину в самом широком месте равен 2 мкм, диаметр гемоглобина – около 7 нм. **(2 балла)**

Всего – 10 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 7. Минипут или лилипут?

1. Уменьшение или увеличение невозможно:

- 1.1. При равномерном изменении размера клеток, произойдет изменение размера человека в 720-360 раз. При этом, размер маленьких клеток будет сопоставим с толщиной плазматической мембраны – в клетках не будет места для внутриклеточных структур. На примере эритроцита получаем, что он будет иметь диаметр 10-22 нм и ширину 2.7-5.5 нм. В таком случае, при отсутствии изменения своих молекулярных размеров гемоглобин не сможет расположиться в эритроците, так как толщина плазматической мембраны составляет 10 нм.
- 1.2. При равномерном изменении количества клеток необходима либо энергия на их образование (при увеличении), либо существование системы регуляций, которые утилизируют бы клетки (при уменьшении). В обоих случаях процессы будут проходить с затратой энергии в виде АТФ и дополнительных строительных материалов, которого не хватит при увеличении человеческого организма. Так, некоторые клетки расходуют примерно 75% всей АТФ на синтез новых соединений (белков). Больше всего энергии тратится на синтез веществ в фазу роста клетки. При постоянном синтезе АТФ необходимо большое количество сахаров, учитывая увеличение размера в 5.5 раз, организму не хватит всех запасов углеводов, белков и жиров на синтез АТФ. Человек погибнет от изнеможения.

При уменьшении организму будет необходимо быстро избавиться от продуктов распада клеток и лишних молекул, что может привести к токсическому воздействию, либо к перегрузке работы выделительной системы. При распаде сложных органических молекул будут образовываться простые молекулы с выделением энергии в виде АТФ и тепла.

Энергия, освобождающаяся при распаде органических веществ, не расходуется сразу, а запасается в форме АТФ. Первый этап: подготовительный – ферментативное расщепление сложных органических веществ до простых: белковые молекулы – до аминокислот, жиры – до глицерина и карбоновых кислот, углеводы – до глюкозы, нуклеиновые кислоты – до нуклеотидов. Распад высокомолекулярных органических соединений осуществляется или ферментами желудочно-кишечного тракта или ферментами лизосом. Вся высвобождающаяся при этом энергия рассеивается в виде тепла. Образовавшиеся небольшие органические молекулы могут быть использованы в качестве «строительного материала» или могут подвергаться дальнейшему расщеплению. Второй этап: бескислородный (гликолиз) – дальнейший ферментативный распад без участия кислорода. Происходит в цитоплазме клеток. В результате образуется 2 АТФ. Третий этап: стадия кислородного расщепления (аэробное дыхание), происходит в митохондриях. Полное окисление органических веществ с образованием 36 АТФ. На кислородном этапе энергия так же частично выделяется в виде тепла.

2. Возможно, так как при уменьшении размеров, клетки становятся слишком малыми для содержания в себе большого количества молекул. При увеличении размеров произойдет нарушение осмотического давления в клетках, что может привести к изменению их формы (набухание или усыхание) при неизменном количестве молекул до и после изменения размеров. Поэтому для поддержания осмотического давления в клетках и отсутствия осмотического шока необходимо пропорциональное изменение количества молекул в организме (таких как, вода и микро-макроэлементы). При изменении размеров происходит изменение количества АТФ.
3. Лучше превратиться в минипута, потому как их организм отличен от человеческого, а значит, в нем протекают другие пути метаболизма, организм более приспособлен к окружающей среде и иное функционирование клеток. Возможно, у них эритроциты другой формы, либо иная система кровообращения с отличными от человеческих форменными элементами крови.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 8. Клинические испытания

В лаборатории были синтезированы наночастицы, обладающие бактерицидным действием. Ученые сразу предложили 2 способа их потенциального применения: (1) в качестве антисептика для рук и (2) как лекарство от одного из наиболее распространенных осложнений после гриппа – инфекции, вызванной бактериями вследствие ослабления иммунитета.

1. В каком из этих двух случаев потребуются клинические испытания? **(2 балла)**

2. Перед началом клинических испытаний необходимо провести доклинические испытания на животных. Разработайте протокол доклинических испытаний для препарата с пероральным способом введения. В своем ответе не забудьте упомянуть:
 - 2.1. Сколько групп животных вы будете исследовать. **(1 балл)**
 - 2.2. Как вы будете оценивать их состояние. **(2 балла)**
 - 2.3. Предположите, в каких тканях может происходить накопление разработанного препарата на основе наночастиц, и как это можно будет проверить. **(1 балл)**
 - 2.4. По каким критериям можно оценить эффективность и безопасность лекарства. **(1 балл)**

Каждое утверждение обоснуйте.

3. Как вы считаете, для каких животных нужно получать специальное разрешение при исследовании действия на них наночастиц? Ответ обоснуйте. **(3 балла)**
 - 3.1. Дафнии
 - 3.2. Улитки
 - 3.3. Насекомые
 - 3.4. Рыбы
 - 3.5. Лягушки
 - 3.6. Ящерицы
 - 3.7. Птицы
 - 3.8. Мыши и крысы
 - 3.9. Собаки
 - 3.10. Обезьяны

Всего – 10 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 8. Клинические испытания

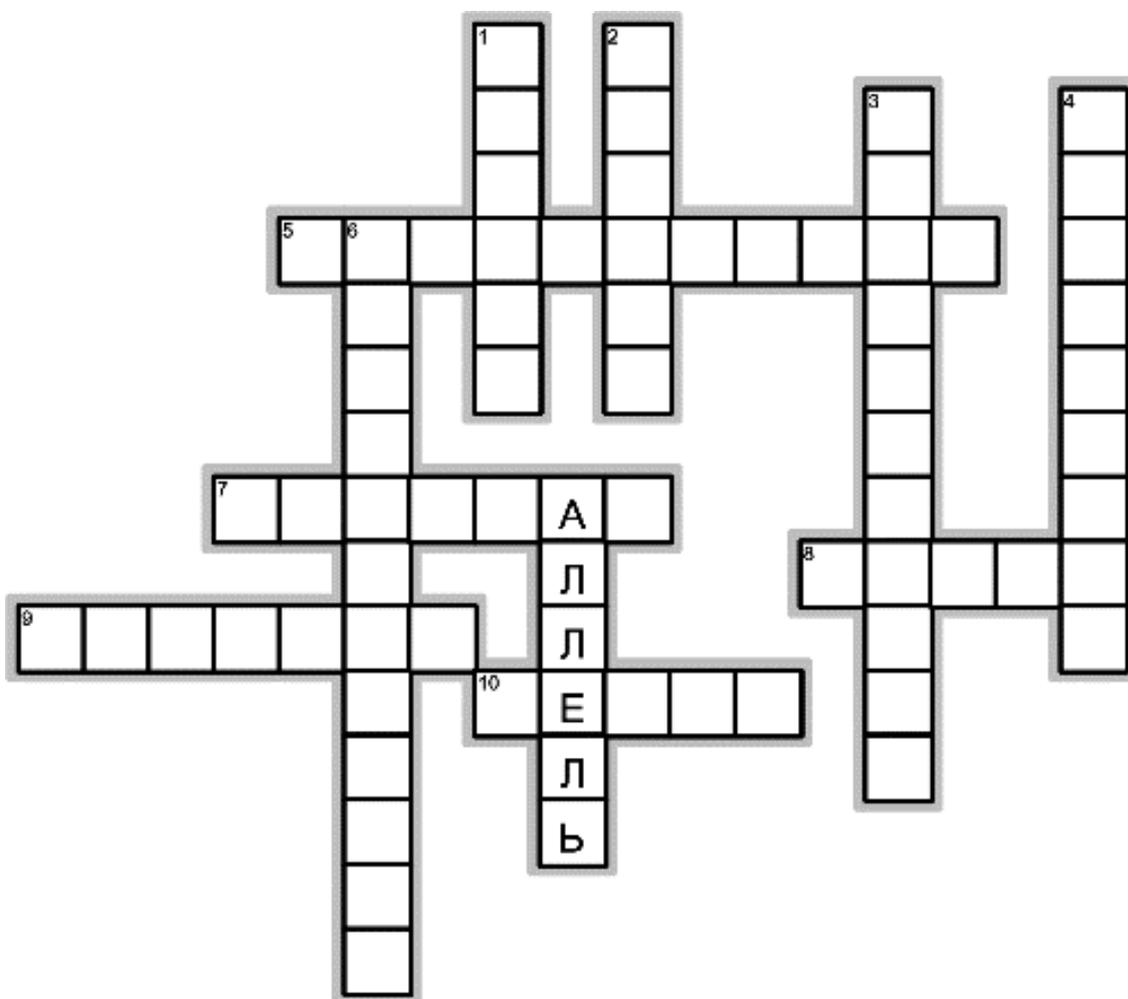
1. Только для лекарства (2).
2. Проведение доклинических испытаний должно быть грамотно спланировано, ведь от этого зависит безопасность и эффективность лекарства:
 - 2.1. Необходимо как минимум 2 группы животных: контрольная (которая будет получать «пустышку» без действующего вещества) и опытная (которой будут давать препарат). В настоящее время рекомендовано проводить доклинические испытания как минимум на 2 видах животных.
 - 2.2. Состояние животных необходимо оценивать по нескольким параметрам. Как минимум по общему состоянию животного (поза, поведение, вес и т.д.) и биохимическим анализам.
 - 2.3. Чаще всего лекарства и продукты их метаболизма накапливаются в печени, поэтому необходимо провести гистологию печени.
 - 2.4. Эффективность – по решению проблемы (например, устранению бактериального заражения в случае применения антибиотика). При этом необходимо результат «опытной» группы сопоставлять с «контрольной» группой, так как выздоровление может происходить само собой за счет иммунитета. Безопасность – по общему состоянию животного, выживаемости, отсутствию побочных эффектов.
3. По Европейским нормам FELASA, для исследований с участием позвоночных животных (группы 3.4 – 3.10) необходимо получать разрешение специальной биоэтической комиссии.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 9. Кроссворд «Аллель»

Предлагаем Вашему вниманию ставший уже традиционным генетический кроссворд «Аллель». За каждое правильно отгаданное слово вы получаете **1 балл**.



По горизонтали

5. Вирус бактерий.
7. Разновидность взаимодействия неаллельных генов, при котором один ген подавляет проявление другого(их) генов.
8. Участок ДНК, несущий "полезную" информацию о синтезе белка.
9. Перестройка хромосомы при которой происходит потеря части молекулы ДНК.
10. Совокупность всех генов, характерных для набора хромосом данного вида организмов.

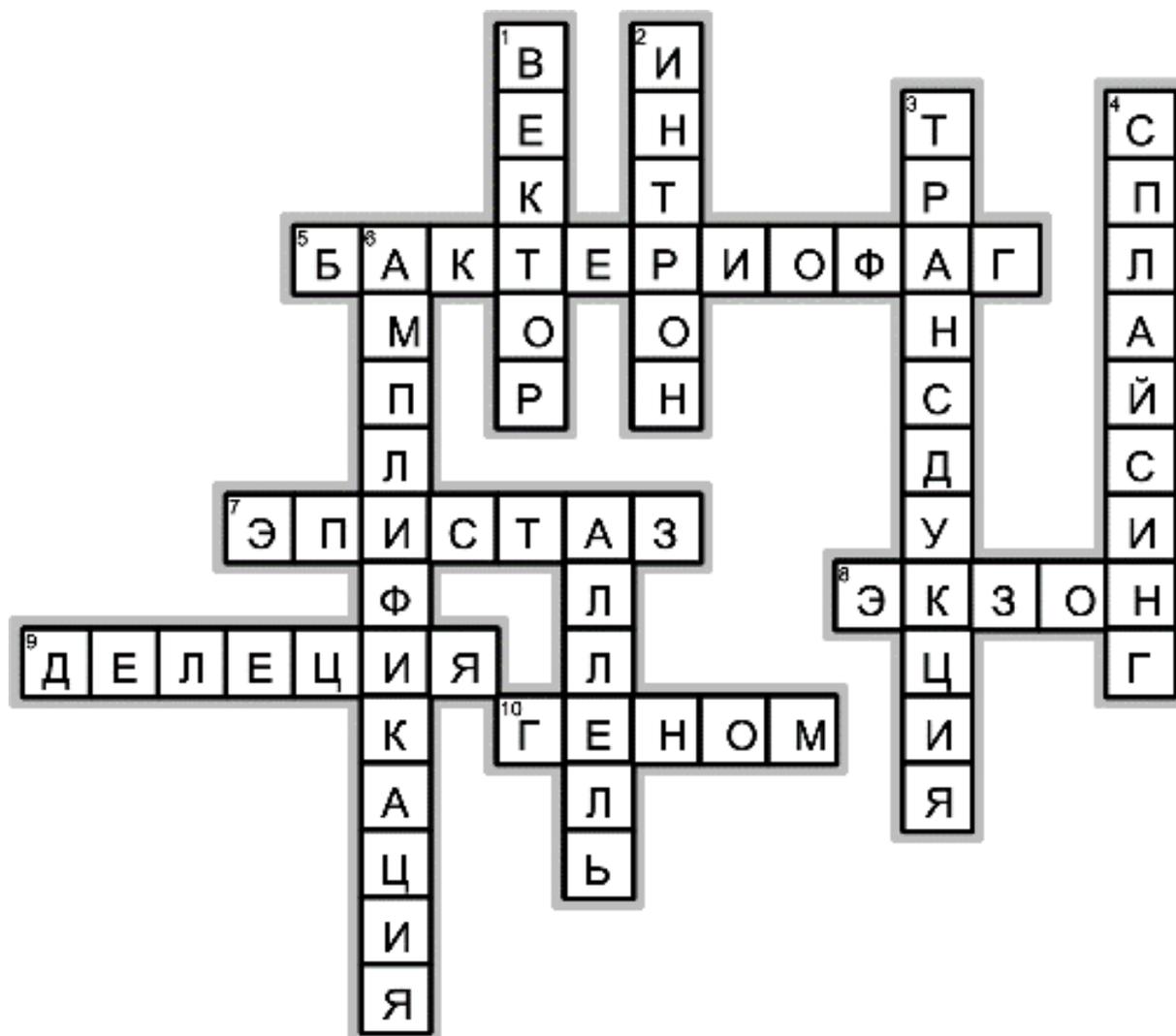
По вертикали

1. Структура, содержащая генетический материал и служащая для внесения чужеродной генетической информации в клетку.
2. Участок гена, который не несет информации, относящейся к синтезу белка.
3. Перенос фрагментов ДНК при помощи вируса.
4. Процесс вырезания нуклеотидных последовательностей, не несущих информации о структуре белка из мРНК.
6. Увеличение числа копий фрагментов ДНК.

Всего – 10 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 9. Кроссворд «Аллель»

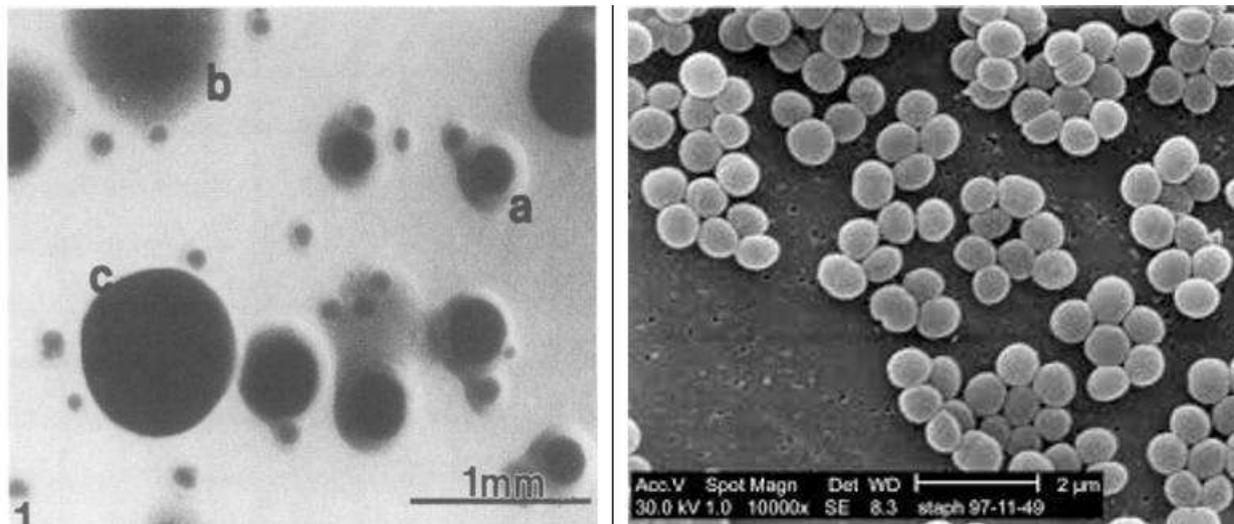


По горизонтали

- 5. **Бактериофаг** – вирус бактерий.
- 7. **Эпистаз** – разновидность взаимодействия неаллельных генов, при котором один ген подавляет проявление другого(их) генов.
- 8. **Экзон** – участок ДНК, несущий "полезную" информацию о синтезе белка.
- 9. **Делеция** – перестройка хромосомы, при которой происходит потеря части молекулы ДНК.
- 10. **Геном** – совокупность всех генов, характерных для набора хромосом данного вида организмов.

По вертикали

- 1. **Вектор** – структура, содержащая генетический материал и служащая для внесения чужеродной генетической информации в клетку.
- 2. **Интрон** – участок гена, который не несет информации, относящейся к синтезу белка.
- 3. **Трансдукция** – перенос фрагментов ДНК при помощи вируса.
- 4. **Сплайсинг** – процесс вырезания нуклеотидных последовательностей не несущих информации о структуре белка из мРНК.
- 6. **Амплификация** – увеличение числа копий фрагментов ДНК.



Микробиологи выделили из организма человека патогенные бактерии и высели их на питательную среду. Через несколько дней одни из них были явно больше других, но при этом имели один и тот же генотип. На правой фотографии все бактерии только что выделены из организма человека и все они имеют один и тот же размер, на левой фотографии – часть бактерий имеет явно больший размер, чем у остальных. Масштабы, показанные на левой и правой микрофотографиях горизонтальными линиями, разные. При окраске по Грамму бактерии меньшего размера окрашивались в синий цвет, а бактерии большего размера не окрашивались совсем.

1. Что есть у всех бактерий с правой фотографии, в отличие от больших бактерий с левой фотографии? **(2 балла)**
2. Какие из бактерий на фотографиях более устойчивы к осмотическому шоку? **(2 балла)**
3. Как вы думаете, какие из бактерий на этих фотографиях менее устойчивы к антибиотикам пенициллинового ряда и почему? **(2 балла)**
4. К какому основному классу относятся эти бактерии по форме? **(2 балла)**
5. Исходя из фотографий предположите, способны ли эти бактерии к самостоятельному движению? **(2 балла)**

Всего – 10 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 10. Бактерии-переростки

1. У всех бактерий с правой фотографии, в отличие от бактерий с левой картинки, есть клеточная стенка, состоящая из пептидогликана.
2. Какие из бактерий на фотографиях более устойчивы к осмотическому шоку? Более устойчивы к осмотическому шоку бактерии с правой фотографии, так как они имеют клеточную стенку, в отличие от L формы – бактерий с левой фотографии, не имеющих клеточной стенки.
3. Менее устойчивы к антибиотикам пенициллинового ряда бактерии с правой фотографии, так как пенициллин блокирует синтез пептидогликана и приводит к гибели бактерии.
4. По форме эти бактерии являются кокками.
5. Так как на фотографии не наблюдается ни пилей, ни жгутиков, то, более вероятно, что не способны.



Конкурс наставников "Наноэлементы"

Специальный конкурс

Категория участников: учителя, преподаватели, тьюторы

Вопрос №1

1



Главный вопрос! Укажите, пожалуйста, информацию (ФИО, класс, название школы) об участниках наноолимпиады, подготовленных Вами, которые прислали решения по комплексу предметов "химия, физика, математика, биология" (задачи и/или тесты) в рамках текущего теоретического заочного тура XIV Всероссийской олимпиады "Нанотехнологии - прорыв в будущее!". Оценивается количество участников и качество их выступления на Олимпиаде.

Мои ученики приняли участие в Олимпиаде (приведите ниже список их фамилий)

Я прохожу тест для самообразования или интереса.

Вопрос №2

2



Укажите, пожалуйста, главного "конкурента" Д.И.Менделеева, которого в странах Запада считают альтернативным "первооткрывателем" Периодического закона:

Юлиус Лотар Мейер

Иоганн Дёберейнер

Александр Эмиль Шанкуртуа

Джон Александр Ньюлендс

Юрий Цолакович Оганесян

Вопрос №3

3



Для построения нашего скелета Природа использует труднорастворимые фосфаты. Чем удобен для этого гидроксилapatит?
его легко перевести в более растворимую форму при изменении pH (и наоборот)
он имеет большую молекулярную массу
он имеет высокую плотность
он имеет низкую твердость
он обладает бактерицидными свойствами
у него высокая диэлектрическая проницаемость

Вопрос №4

4



Какая общая область применения характерна для этих металлов: серебро, никель, платина, палладий?
люминесценция
катализ
магнетохимия
антибактериальная и фунгицидная обработка
электрохимическая энергетика
медицинское протезирование

Вопрос №5

5



Нобелевская премия по химии за 2019 год присуждена Джону Гуденафу, Стэнли Уиттингему и Акире Йошино за выдающийся вклад в создание литий-ионных аккумуляторов. Помимо лития, какие элементы сыграли определяющую роль в развитии данной области и присуждении премии?
никель, водород
цинк, кадмий
серебро, кислород
ванадий, кремний
марганец, алюминий, сера
углерод, кобальт

Вопрос №6

6



Для осуществления мечты Человечества о "зеленой" водородной энергетике очень нужно найти хорошее "хранилище" водорода. Какое из приведенных ниже веществ может считаться наиболее перспективным для этих целей?

металлорганические каркасы

циклогексан

интерметаллиды

вода

углеродные нанотрубки

Вопрос №7

7



Для каких практических целей наиболее подходят SPION?

для магнитной записи

для направленной доставки лекарств

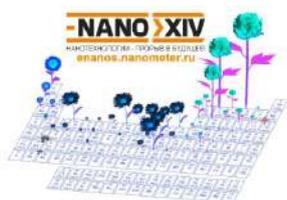
для стелс-технологии

для гипертермии

для аккумуляторной батареи

Вопрос №8

8



Элементы 4 группы "короткопериодного" варианта Таблицы Д.И.Менделеева - углерод, кремний, титан, олово, свинец - очень широко применяются в альтернативной энергетике, особенно в солнечной. А какой из элементов данного семейства демонстрирует свою собственную, уникальную, область применения, связанную с безопасностью и антитеррором?

углерод

кремний

титан

олово

свинец

Вопрос №9

9



В какой из форм "наноуглеродных" материалов наблюдается обычно sp-гибридизация?

- наноалмаз
- карбин
- полиацетилен
- графен
- графан
- фуллерен

Вопрос №10

10



Какой из элементов ниже активно используется и в ядерной, и в электрохимической энергетике?

- гафний
- цирконий
- цинк
- ртуть
- золото
- дейтерий
- третий



1. Список участников.

Список участников, привлеченных к участию к Олимпиаде каждым наставником, являлся частью задания и отражал, по сути, активность наставника как тьютора, подготовившего учеников для решения теоретических и практических заданий олимпиады. В силу этого, жюри оценивало этот пункт с существенным весом.

2. Правильный ответ: Юлиус Лотар Мейер.

Лотар Мейер (Майер), немецкий химик, конечно, являлся наиболее известным и значимым «конкурентом» Дмитрия Ивановича Менделеева в вопросе создания Периодической таблицы химических элементов. Несмотря на то, что еще в 1864 году Лотар Мейер опубликовал один из вариантов своей классификации химических элементов, весьма продвинутый и совершенный по сравнению с работами других задействованных в истории Периодической таблицы ученых, наиболее полный вариант ее был опубликован им в 1870 году, то есть на несколько месяцев позже всемирно известного варианта Д.И.Менделеева, который был представлен в 1869 году. Однако ключевая разница в работах ученых состояла в том, что Д.И.Менделеев полагал Периодический закон как естественный и фундаментальный, обладающей глубокой прогностической силой, что он продемонстрировал на нескольких «экаэлементах», в то время как Лотар Майер, скорее, рассматривал периодическую таблицу лишь как важную классификацию. Стоит отметить, что Лотар Майер признал приоритет Д.И.Менделеева.

3. Правильный ответ: его легко перевести в более растворимую форму при изменении рН (и наоборот).

Фосфаты кальция и биоматериалы на их основе имеют различную растворимость, прочность, морфологию частиц при формировании костной ткани, однако только гидроксиапатит (ГАП) демонстрирует уникальное сочетание малой растворимости в нейтральной или близкой к ней среде, изменение величины растворимости в

зависимости от кислотности среды и удивительную морфологию строительных блоков костной ткани – пластинчатых наночастиц ГАП. Это позволяет, во-первых, легко формировать уникальный бионанокompозит с коллагеновыми волокнами, сложной, иерархической структурой и неповторимым комплексом прочностных характеристик, а, во-вторых, существенное изменение растворимости ГАП с изменением pH позволяет остеобластам и остеокластам модулировать костную ткань. Таким образом, природа создала самовосстанавливающийся конструкционный материал (кость) с совершенно уникальными свойствами, параметры которого в полной мере человечеству не удастся воссоздать и по сей день.

4. Правильный ответ: катализ.

Благородные металлы не были активно замечены в магнетохимии, хотя платина, никель, конечно, играют немалую роль в данной области химии и для создания магнитных материалов. Никакой из указанных элементов не представляет большого интереса для создания люминесцентных материалов. Палладий, платина, никель не замечены в создании самых эффективных препаратов для антибактериальной и фунгицидной обработки, хотя, конечно, часть из указанных элементов в медицине используется, например, никель в составе нитинола может применяться в качестве конструкционных материалов для медицинского протезирования. Остаются катализ и электрохимическая энергетика. Все элементы, включая серебро, применяются в создании либо топливных элементов (Pt, Pd, Ni), либо аккумуляторов (Ni, Ag), однако аккумуляторы с серебром давно не имеют какого-либо практического значения, занимая очень узкую нишу. В то же время, все абсолютно элементы широко известны в единственной практически важной области – в создании каталитически активных материалов. Кстати, в топливных элементах и платина, и палладий, и никель играют первичную роль именно катализаторов.

5. Правильный ответ: углерод, кобальт.

Для классического литиевого типа аккумуляторов из всех перечисленных элементов («кроме лития») важны углеродные (нано)материалы как компоненты отрицательного электрода, что предложено японцем Акирой Йршино, и кобальт в составе кобальтита лития – материала положительного электрода, разработанного выдающимся химиком и материаловедом Дж. Гуденафом.

6. Правильный ответ: циклогексан.

«Хранилище» водорода должно отдавать более 5% по массе водорода в достаточно мягких условиях, а также забирать его обратно при необходимости. металлоорганические каркасы и тем более интерметаллиды слишком тяжелы, чтобы соответствовать критерию в 5%, а углеродные нанотрубки не дотягивают до этого критерия потому, что им «не хватает» и без того достаточно большой площади поверхности. Вода слишком прочно держит водород и может быть его источником при применении лишь энергозатратных методов типа электролиза или фотодиализа. И только циклогексан при мягком каталитическом дегидрировании и формировании бензола может обратимо отдавать три моля водорода на моль исходных молекул, то есть содержит $6/84 > 5$ масс.% «подвижного» водорода!

7. Правильный ответ: для гипертермии.

SPION – это суперпарамагнитные наночастицы оксидов железа. Их магнитный момент достаточно мал, поэтому они на практике плохо подходят для магнитной записи и направленной доставки лекарств – тепловые флуктуации могут «перевернуть» магнитные моменты с потерей записанной информации, а магниту, даже самому сильному, не хватает силенок таскать за собой слабо намагничивающиеся наночастицы (на то они и суперпарамагнитные). Для аккумуляторных батарей оксиды железа обладают достаточно низкой удельной емкостью, для стелс-технологий они не обладают весомой проводимостью и взаимодействием с радиочастотными волнами. А вот гипертермия (разогрев переменным магнитным полем SPION, введенных в очаг поражения, например, онкологическим заболеванием) работает экспериментально вполне эффективно.

8. Правильный ответ: олово.

Антитеррор требует предотвращать взрывы, например, путем заблаговременного обнаружения взрывчатых веществ, что с успехом делает «электронный нос», основанный на сенсорах из диоксида олова.

9. Правильный ответ: карбин.

Говоря жаргонно, sp-гибридизация углерода, это то, что есть в ацетилене, и единственное вещество с тройными связями из перечисленных – карбин.

10. Правильный ответ: цирконий.

Конечно, дейтерий в составе тяжелой воды очень важен для замедления нейтронов (как и производные гафния с большим сечением захвата нейтронов). Тритий может играть роль термоядерного топлива и, возможно, важен в бета-вольтаике. Но лишь цирконий (и его сплавы) из всего вышеперечисленного используется как уникальная оболочка ТВЭЛов (тепловыделяющих элементов с ядерным топливом), без которых не могут работать современные АЭС.



Викторина по математике для школьников

Тестовый конкурс

Категория участников: школьники 7 - 11 классов

Вопрос №1



СПИНОДАЛЬНЫЙ РАСПАД

Установление и анализ форм зависимостей энергии Гиббса системы от химического состава и других параметров – основа химической термодинамики.

Наноструктурирование материалов иногда создается за счет так называемого спинодального распада, т.е. расслоения однородного вещества на различные фазы. Для этого состав исходного материала, находящегося при определенной температуре, должен «попасть» на выпуклую часть кривой зависимости энергии Гиббса от состава. Тогда даже малое изменение состава самопроизвольно будет со временем усиливаться, как говорят, контрастироваться, и система распадется макроскопически на две разные фазы. На вогнутых частях кривой энергии Гиббса находятся составы, которые распадаются через образование и рост зародышей новых фаз. **А как математически, если известна кривая энергии Гиббса системы, найти геометрическое место точек, так называемую спинодаль, разделяющую режимы зародышеобразования и спинодального распада? Ответ поясните.**

необходимо найти максимум на кривой, ноль первой производной энергии Гиббса по составу

необходимо найти минимум на кривой, ноль первой производной энергии Гиббса по составу

необходимо найти нули второй частной производной энергии Гиббса по составу

необходимо найти отрицательные значения третьей частной производной энергии Гиббса по составу

необходимо найти положительные значения третьей частной производной энергии Гиббса по составу

Вопрос №2



КОНФИГУРАЦИОННАЯ ЭНТРОПИЯ

В химии для самопроизвольного протекания процессов в изолированных системах, не обменивающихся с окружением ни веществом, ни энергией, выполняется закон возрастания энтропии S – величины, которая описывает хаотичность системы. Он гласит, что энтропия изолированной системы лишь увеличивается или остается постоянной («хаос в системе возрастает»). Саму энтропию можно рассчитать, если знать число микросостояний системы W – эквивалентных размещений (перестановок) молекул в пространстве, соответствующих наблюдаемому макросостоянию системы с некоторыми температурой, давлением и другими параметрами состояния. Математически это выражается соотношением Больцмана $S = k \ln W$, где k – постоянная Больцмана. **Можете ли вы оценить, во сколько раз возрастет число микросостояний изолированной системы, если оно исходно было равно 10, а сама энтропия выросла в 10 раз?**

- в десять раз
- в двадцать раз
- в сто раз
- в тысячу раз
- в миллиард раз

Вопрос №3



ЯДЕРНЫЙ МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС

Явление ядерного магнитного резонанса (ЯМР) связано с существованием у ядер атомов ненулевого спина (квантовомеханического параметра ядра). В сильном магнитном поле такие ядра способны резонансно поглощать в радиочастотном диапазоне, что можно использовать для установления структуры молекулярных веществ и наночастиц. Несколько ядер с ненулевым спином, находящихся в молекуле рядом, могут взаимодействовать, поскольку каждое ядро обладает своим локальным магнитным полем и либо увеличивает общее поле, суммирующееся векторно с внешним полем и полем соседних ядер, либо уменьшает его локально у каждого соседа, причем каждый сосед влияет на всех. В зависимости от количества взаимодействующих ядер возникает очень

большое число различных сочетаний, отображающихся в ЯМР спектрах в виде характерных групп пиков. **Какую простую математическую конструкцию используют спектроскописты для расшифровки таких спектров?**

Пифагоровы штаны
ленту Мёбиуса
золотое сечение
Архимедову спираль
треугольник Паскаля

Вопрос №4



МЕЖСЛОЕВОЕ РАССТОЯНИЕ

Для анализа кристаллической структуры многих веществ – от белков до алмаза – используют дифракцию рентгеновского излучения. Такое излучение имеет очень короткую длину волны, сопоставимую с параметрами кристаллической решетки большинства веществ, электронная оболочка атомов в кристаллической структуре рассеивает («отражает») такое излучение. Когда атомы в структуре упорядочены, то их слой выступает в роли интерференционных центров, а вся плоскость, проходящая через такие атомы, – в виде отражающей плоскости. Очевидно, в кристалле можно провести достаточно большое, но ограниченное, количество семейств параллельных отражающих плоскостей под разными углами относительно системы координат, привязанных к элементарной ячейке. Эти плоскости будут отличаться межплоскостными расстояниями, поэтому дифрактограмма будет иметь дискретный характер и ограниченное количество дифракционных максимумов («пиков»). А положение пиков определяются известным уравнением Брэгга – Вульфа: $2*d*\sin(\text{Thetta}) = n*L$, в котором d – расстояние между отражающими кристаллографическими плоскостями, Thetta – угол между отражающей плоскостью и падающим лучом рентгеновского излучения с длиной волны L (n – целое положительное число, порядок отражения, в нашем случае n будет равно 1). У вещества, имеющего слоистую структуру, максимальная величина межплоскостных расстояний равна расстоянию между реальными, физически существующими слоями атомов. **При каких углах мы увидим на дифрактограмме пик, точно соответствующий расстоянию между слоями такой фазы?**

при малых углах
при больших углах
в середине дифрактограммы
по краям дифрактограммы
он будет появляться периодически по всей дифрактограмме в соответствии с

периодическим изменением синуса

Вопрос №5



ИНДИЦИРОВАНИЕ РЕНТГЕНОГРАММЫ

При дифракции рентгеновских лучей каждый пик на дифрактограммах кристаллических веществ обозначается своим набором чисел hkl – так называемых индексов Миллера. Эти пики позволяют определить очень важные величины строения твердого вещества – параметры элементарной ячейки, то есть минимального по объему кирпичика, которым можно заполнить весь кристалл, выложив элементарные ячейки впритык одну за другой. Для кубической решетки межплоскостные расстояния d , экспериментально определяемые из положения пиков на дифрактограмме, константа (ребро) кубической элементарной ячейки a и варьирующиеся индексы Миллера связаны следующим соотношением: $Q = A * N$, где $Q = 10\,000 / d^2$, $A = 10\,000 / a^2$, $N = (h^2 + k^2 + l^2)$. Экспериментально были получены следующие значения Q для трех первых пиков: 840.65, 1120.80, 2241.88. Проведите расчет и **укажите ниже полученное вами среднее значение параметра решетки a , а также соответствующий набор индексов Миллера для пиков.**

5.970 (1, 0, 0 – 0, 1, 0 – 0, 0, 1)

5.976 (1, 0, 0 – 2, 0, 0 – 3, 0, 0)

5.971 (2, 2, 2, - 1, 0, 0 – 3, 1, 2)

5.979 (7,7,1 – 0, 0, 1 – 4, 3, 1)

5.974 (1,1,1 – 2,0,0 – 2,2,0)

Вопрос №6



ЦЕНТР ИНВЕРСИИ

Очень многие важные свойства кристаллов, делающие их перспективными материалами, основаны на том, что в них нет центра инверсии, например, в пьезоэлектриках, используемых для создания пошаговых электрических нанодвигателей, или нелинейно-оптических кристаллах, таких, как в зеленых лазерных указках, которые представляли собой в свое время твердотельный лазер с накачкой инфракрасным лазерным диодом и

нелинейным элементом для кратного уменьшения длины волны ($1064 / 2 = 532$ нм). Центром симметрии (инверсии) кристаллического многогранника называется точка, лежащая внутри кристалла, в диаметрально противоположных направлениях от которой располагаются одинаковые элементы. При наличии центра симметрии в кристалле, каждой грани отвечает другая грань, равная и параллельная (обратно параллельная) первой. Плоскость симметрии делит кристалл на две зеркально равные части. Ось симметрии – воображаемая ось, при повороте вокруг которой на некоторый угол фигура совмещается сама с собой в пространстве. Центр симметрии «генерируется» в точке пересечения осей и плоскостей симметрии. **Какое единственное из перечисленных ниже веществ не имеет центра инверсии?**

перовскит CaTiO_3
левовращающий альфа-кварц
хлорид натрия
флюорит CaF_2
алмаз

Вопрос №7



ЭНЕРГИЯ АКТИВАЦИИ

Энергия активации E_a в химии – минимальное количество энергии, которое требуется частице, чтобы преодолеть некоторый энергетический барьер и вступить в химическую реакцию. Константа скорости реакции $k \sim \exp(-E_a/RT)$, где R – универсальная газовая постоянная, а T – абсолютная температура. Очень часто энергию активации определяют линеаризацией – подбором так называемых аррениусовских координат, в которых тангенс угла наклона к прямой определяет величину энергии активации. **Что это могут быть за координаты?**

k и $\exp(T)$
 $1/k$ и $\exp(1/T)$
 $1/k$ и $1/T$
 $\ln k$ и T
 $\ln k$ и $1/T$

Вопрос №8



РАЗБАВЛЕНИЕ ПОПОЛАМ

В химической практике для получения разбавленных растворов очень часто используют простой прием. Берут половину раствора и добавляют чистый растворитель того же объема, перемешивают, потом процедуру пошагово повторяют, пока не получат нужную концентрацию. Предположим, у вас есть раствор с концентрацией 1 моль на литр. **На каком шаге нужно остановиться, чтобы получить наномолярный раствор?**

десятом
двадцатом
тридцатом
сороковом
пятидесятом

Вопрос №9



ПРОСТО, КАК ДВАЖДЫ ДВА

Обычно считается, что дважды два – четыре. Однако для компьютера $2 * 2 = 100$.
Объясните, почему?

это ошибка
это десятичная система исчисления
это перевод из десятичной системы исчисления в бинарную
это четвертичная система исчисления
это двоичная система исчисления

Вопрос №10



КВАЗИКРИСТАЛЛЫ

В 1982 году Дан Шехтман (Израиль) наблюдал на закристаллизовавшемся быстроохлажденном алюмо-марганцевом расплаве дифракцию с осью пятого порядка, которая невозможна в обычной трехмерной периодической решетке. Так официально были открыты квазикристаллы, а в 2011 году за них была присуждена Нобелевская премия по химии. **А какими фигурами можно замостить плоскость без зазоров, чтобы на ней были фигуры с осью пятого порядка?**

ромбами
правильными пятиугольниками
пятилучевыми звездами
квадратами
шестиугольниками



1. **Правильный ответ: необходимо найти нули второй частной производной энергии Гиббса по составу.**

Математически – это задача на поиск точек перегиба на гладкой кривой, поэтому необходимо найти нули второй частной производной энергии Гиббса по составу.

2. **Правильный ответ: в миллиард раз.**

Как нетрудно оценить, соотношение энтропий в двух разных состояниях будет равно соотношению логарифмов, поэтому новое число микросостояний будет равно числу исходных состояний в степени, равной соотношению изменения энтропий, а число раз – этой же величине, но в степени без единицы, так что правильный ответ – миллиард раз (10^9 раз).

3. **Правильный ответ: треугольник Паскаля.**

Для анализа спектров необходимо считать биномиальные коэффициенты, показывающие число «сочетаний из n элементов по k элементам». И только треугольник Паскаля связан с указанными величинами, потому что по сути представляет собой таблицу биномиальных коэффициентов, имеющую треугольную форму. В треугольнике Паскаля на вершине и по бокам стоят единицы, а каждое число равно сумме двух расположенных над ним чисел.

4. Правильный ответ: при малых углах.

Синус – монотонно возрастающая функция в диапазоне углов (0 – 90 градусов), используемых для съемки, поэтому в соответствии с законом Брэгга – Вульфа $d = L/(2 \cdot \sin\theta)$, то есть максимальное межплоскостное расстояние будет наблюдаться при малых углах.

5. Правильный ответ: 5.974 (1,1,1 – 2,0,0 – 2,2,0).

Значения получаются перебором. Среднее значение параметра решетки – 5.974, набор индексов Миллера: 111, 200, 220.

6. Правильный ответ: левовращающий альфа-кварц.

Это левовращающий альфа-кварц, в нем есть винтовая ось симметрии, которая исключает наличие центра симметрии. Другое, говорящее, название – пьезокварц.

7. Правильный ответ: $\ln k$ и $1/T$.

Удобно строить линейную зависимость в координатах логарифм константы скорости реакции – обратная температура.

8. Правильный ответ: тридцатом.

2 в степени 30 = 1 073 741 824, поэтому наномолярные концентрации возникнут на 30 шаге разбавления.

9. Правильный ответ: это перевод из десятичной системы исчисления в бинарную.

Это, очевидно, перевод из десятичной системы исчисления в бинарную, которая является внутренней системой для большинства (но не всех) компьютеров, применяющих триггерные элементы с состояниями ноль (выключено) и единица (включено).

10. Правильный ответ: ромбами.

Квазикристаллы обладают парадоксальной с точки зрения классической кристаллографии структурой, связанной с красивыми теоретическими построениями на основе мозаик Пенроуза. Теория мозаик Пенроуза позволила отойти от привычных представлений о пространственных кристаллографических группах симметрии, основанных на периодических заполнениях пространства. В мозаиках Пенроуза, покрывающих пространство без зазоров, не наблюдается обычной трансляционной симметрии, они содержат самоподобные повторяющиеся элементы и обладают симметрией с осями пятого порядка. Один из типов мозаики Пенроуза строится из плиток двух типов ромба, у которых одна и та же длина стороны, но разные углы.



Викторина по физике для школьников

Тестовый конкурс

Категория участников: школьники 7 - 11 классов

Вопрос №1



РАЗМЕРНЫЙ ЭФФЕКТ

Гипсохромный и батохромный сдвиги люминесценции квантовых точек одного и того же состава в зависимости от изменения их размера являются одним из самых ярких (в буквальном смысле) проявлений «размерных эффектов» в нанотехнологиях, когда физические свойства материала зависят от размера составляющих его элементов (в частности, наночастиц). **А в чем причина «размерного эффекта» люминесценции для квантовых точек** (поясните ответ)?

изменение знака носителей заряда при изменении длины волны возбуждающего излучения и размера квантовой точки
увеличение параметров решетки при увеличении размера квантовой точки
попадание электрона в квантовую яму
ослабление химических связей при уменьшении размера квантовой точки
увеличение концентрации ловушек на поверхности квантовой точки при увеличении ее размера

Вопрос №2



МАЛИНОВЫЙ РАСТВОР

Всем известно, что большинство металлов – блестящие, хорошо отражающие свет вещества, поскольку содержат много «свободных» электронов, однако если металлы сильно измельчить, то получаются, как правило, различные «черни» – порошки или коллоидные растворы черного или металлического цвета. **А как сделать раствор металлического серебра в воде малинового цвета** (поясните ответ)?

получить коллоидный раствор нанодисперсных пластинок металлического серебра
получить коллоидный кристалл из микросфер серебра
подвергнуть агрегации «чернь» серебра в растворе
получить сферические наночастицы серебра в растворе размером 5 – 10 нм
малиновых коллоидных растворов металлического серебра в водной среде не существует, нужно использовать другие дисперсионные среды

Вопрос №3



ГИПЕРТЕРМИЯ

Для терапии онкологических заболеваний разрабатывают метод локальной магнитной гипертермии, когда в опухоль вводят суспензию (золь) суперпарамагнитных наночастиц оксидов железа (или подобные биосовместимые магнитные материалы), а затем производят воздействие переменным магнитным полем. Парамагнитные наночастицы – однодоменные, то есть имеют все магнитные спины, выстроенные в одном направлении. Разумеется, все они «следят» за магнитным полем и пытаются его направлению соответствовать. Если поле переменное, то есть изменяет с точностью до наоборот вектор напряженности, то такие частицы либо пытаются сами повернуться по полю, либо переворачивают свои спины по полю. В зависимости от частоты переменного поля, вязкости среды, размера и формы магнитных наночастиц и на тот, и на другой процесс затрачивается энергия внешних систем, то есть внутри системы наночастиц в опухоли энергия магнитного поля диссипирует в тепло, опухоль разогревается и ей становится очень нехорошо. Важнейший фактор для эффективного поглощения энергии магнитного поля опухолью с наночастицами – не только его амплитуда (она обычно небольшая, около 100 Эрстед), но и частота (субмегагерцовый диапазон). Свойствам **какой из ниже перечисленных термодинамических систем опухоль в наибольшей степени соответствует при разогреве в условиях взаимодействия с высокочастотным магнитным полем** (в ответе обязательно поясните, почему, и попробуйте для пояснения механизма передачи энергии использовать Первый закон термодинамики)?

изобарно-изотермической

изохорно-изотермической
открытой, диссипативной
изолированной
адиабатической

Вопрос №4



ЭФФЕКТ ЛОТОСА

Ну кто не знает про пресловутый «эффект лотоса», когда капли жидкости катаются беспрепятственно по супергидрофобной поверхности как круглые шарики! А что (гипотетически) **произойдет с такой системой, если жидкость будет доведена до сверхкритического состояния** (свою гипотезу поясните)?

капли увеличатся в размере
капли уменьшатся в размере
исходная жидкость смочит всю поверхность «лотоса»
сверхкритический флюид распределится равномерно по поверхности «лотоса»
ровным счетом ничего принципиально нового не произойдет

Вопрос №5



ЭФФЕКТ ТИНДАЛЯ

В колбочках одинаковой формы и с одинаковым количеством частиц в единице объема находятся наночастицы различного состава. В одной – золь квантовых точек селенида кадмия, в другой – желтый гидрозоль наночастиц серебра, в третьей – коллоидный раствор белоснежного диоксида титана, в четвертой – бурая взвесь наночастиц гидроксида железа (III), в пятой – мицеллярная вода. **В какой из колбочек будет лучше всего виден луч синей лазерной указки?**

CdSe
Ag
TiO₂

$\text{Fe}(\text{OH})_3$

Мицеллярная вода

Вопрос №6



ГЕТЕРОСТРУКТУРА

В качестве новых поколений солнечных элементов рассматривают тонкопленочные гетероструктуры на основе гибридных перовскитов, типичным представителем которых является иодоплюмбат метиламмония. Гетероструктурой такой солнечный элемент является потому, что сам он располагается не между электродами непосредственно (один из которых прозрачный), а отделен от них тонким слоем диоксида титана (n-проводящим блокирующим слоем) и органическим p-проводящим слоем (или p-проводящим неорганическим слоем). **Зачем эти дополнительные, «лишние», n- и p- слои нужны?**

они предотвращают химическое взаимодействие гибридного перовскита с материалом электрода

они делают поверхность электродов гладкой, а границу раздела (интерфейс) - однородной

они «высасывают» носители своего знака из слоя перовскита

они делают поверхность электродов шероховатой, то есть увеличивают площадь границы раздела фаз

они отражают и рассеивают свет, фокусируя его на светопоглощающем слое перовскита

Вопрос №7



НАНОПОЗИЦИОНЕРЫ

Для работы многочисленных устройств в современной науке и технике все чаще используют нанопозиционеры – элементы, которые способны за счет внешнего воздействия, например, импульсов электрического поля, механически перемещать различные объекты на расстояния всего в несколько нанометров. Такие элементы, в частности, эффективно работают в составе систем сканирующей зондовой микроскопии.

Какие из типов материалов, перечисленных ниже, используются для создания

таких нанопозиционеров, ответ поясните?

сегнетоэлектрики
ферромагнетики
ферроэластики
ферримагнетики
термоэлектрики

Вопрос №8



ФОТОНИКА

В последнее время, не в последнюю очередь благодаря известным последствиям закона Мура, все чаще пытаются найти совершенно новые принципы для дальнейшего развития информационных технологий. Одно из подобных перспективных направлений – фотоника, то есть создание элементной базы управления световыми потоками в интересах отображения, хранения, передачи, обработки информации. Одним из важных элементов фотоники являются фотоннокристаллические системы – среды с периодическим диэлектрическим контрастом, простейшим вариантом которых является плотнейшая упаковка одинаковых микросфер диоксида кремния, полистирола и целого ряда других материалов. Для описания особенностей поглощения света такой периодической структурой (наличие максимумов поглощения) используют модифицированное уравнение Брэгга. Модификация включает введение одного важного параметра, характеризующего фотонный кристалл. **Что это за параметр** (ответ поясните)?

коэффициент экстинкции
коэффициент преломления
коэффициент отражения
квантовый выход люминесценции
энергия выхода электрона

Вопрос №9



СПИНТРОНИКА

В 2007 году физикам Альберту Ферту и Петеру Грюнберну была вручена Нобелевская премия по физике за открытие и исследование гигантского магнетосопротивления, которое может найти применение в датчиках магнитного поля, энергонезависимой памяти, устройствах обработки информации. В работах ученых рассматривали особенности поведения в магнитном поле электрического сопротивления сверхрешеток (гетероструктур) из тонких пленок ферромагнитных и неферромагнитных материалов. Самым интересным в обнаруженном явлении изменения сопротивления таких структур в магнитном поле оказалось то, что был предложен абсолютно иной фундаментальный принцип работы с электронами, нежели тот, который используется в обычной микроэлектронике. Этот же принцип лежит, по сути, в основе развивающейся сейчас области спинтроники, которая рассматривается как еще одна альтернатива современной микроэлектронике. **Что это за принцип?**

баллистическое рассеяние электронов на тепловых колебаниях решетки (электрон – фононное взаимодействие)
преобразование носителей заряда с нечетным спином (фермионов) в пары и формирование бозонов (четный спин) для бездиссипативного протекания заряда
спин-зависимое рассеяние электронов
исчезновение спинов (преобразование их в нулевой спин)
возникновение примесных уровней в запрещенной зоне

Вопрос №10



ИОНИСТОР

Одной из самых цитируемых (10 000 цитирований) статей в области наноматериалов в журнале семейства Nature недавно стала работа, описывающая (помимо других вариантов источников тока) строение и функции ионистора или суперконденсатора. В этих электрохимических устройствах “обкладками” конденсатора служит, фактически, двойной электрический слой на границе раздела электрода и электролита, поэтому ионисторы по своим функциональным параметрам занимают промежуточное положение между обычным классическим конденсатором и химическим источником тока. **А зачем в этих устройствах используют «нанюглерод» (графен и углеродные нанотрубки), ответ поясните?**

для создания химически инертных слоев
для достижения огромной площади поверхности
для уменьшения массы суперконденсатора
для обеспечения электронной проводимости электродов
все вышеперечисленное



**Викторина для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Ответы. Физика**



1. Правильный ответ: попадание электрона в квантовую яму.

Батохромный сдвиг – смещение в длинноволновую («красную»), а гипсохромный – в коротковолновую («синюю») область спектра. Энергетический спектр квантовой точки принципиально отличается от объемного полупроводника, поскольку электрон в нанокристалле ведет себя как в трехмерной потенциальной «яме», возникающей из-за того, что квантовая точка имеет ограниченный размер и вне квантовой точки нет атомов полупроводника. В такой яме возникает лишь несколько возможных дискретных стационарных уровней энергии для электрона и дырки с характерным расстоянием между ними

$$\hbar^2/2md^2,$$

где d – размер нанокристалла (квантовой точки), m – «эффективная масса» электрона. Иными словами, энергетический спектр квантовой точки зависит от ее размера. Аналогично переходу между уровнями энергии в атоме, при переходе носителей заряда между энергетическими уровнями в квантовой точке может излучаться или поглощаться фотон. Длиной волны поглощения или люминесценции легко управлять, изменяя размеры самой квантовой точки, поэтому иногда квантовые точки называют «искусственными атомами». В терминах полупроводниковых материалов это можно назвать возможностью контроля эффективной ширины запрещенной зоны.

2. Правильный ответ: получить коллоидный раствор нанодисперсных пластинок металлического серебра.

Как ни странно, правильный ответ – коллоидный раствор нанопластинок серебра. Наночастицы серебра являются очень эффективными поглотителями

электромагнитного излучения в видимой области. Это связано с тем, что электронный газ металлических наночастиц эффективно взаимодействует с электрической компонентой падающего возбуждающего излучения (электромагнитной волны), при этом в электронном газе возбуждаются коллективные колебания (плазмоны) – стоячие волны, длина волны (частота) которых в существенной степени зависит от размеров (протяженности) наночастиц в направлении такой волны. Электроны не могут «выпрыгнуть» за пределы наночастицы и остаются в ней, хотя коллективное колебание и создает локально диполь, состоящий из положительно заряженного катионного остова металла и смещенной электронной плотности (электронного газа). Если определенная длина волны падающего излучения эффективно возбуждает такие «стоячие волны» в наночастицах, то излучение эффективно поглощается и возникает пик поглощения «плазмонного резонанса». Излучение с такой длины волны «вычитается» из «белого света», а окраска коллоидного раствора, поглотившего излучение в районе пика «плазмонного резонанса», будет определяться оставшимися «дополнительными» цветами. К сожалению, лишь изменение размера наночастиц серебра, даже вплоть до 5 нм, сдвигает пик поглощения до 400 нм (синяя часть спектра), в результате такие растворы окрашены в «цыплячий» дополнительный желтый цвет. Для того, чтобы раствор стал малиновый, необходимо иметь в коллоидном растворе два пика поглощения, связанных с дополнительным параметром – анизотропией частиц серебра (их формой). Поэтому достаточно просто (в том числе экспериментально) подобрать такой размер и форму (пластинки, диски и пр.) наночастиц серебра, чтобы их коллоидный раствор выглядел малиновым (лиловым). В принципе, при таком подходе можно получить практически любую окраску водного коллоидного раствора анизотропных наночастиц серебра в видимой области спектра.

3. **Правильный ответ: адиабатической.**

Очевидно, система обменивается энергией с окружающими телами и в ней повышается температура, поэтому она не может быть ни изотермической, ни изолированной. В открытой системе разогрев вряд ли возможен в контролируемом режиме из-за интенсивного обмена и веществом, и теплом. Единственная система, которая, по определению, обменивается энергией, но не теплом – это адиабатическая система. В ней закон сохранения выполняется очень просто: изменение внутренней энергии неизолированной термодинамической системы равно разности между количеством теплоты, переданной системе, и работой, совершенной системой над внешними телами. В адиабатической системе теплота, по определению, не передается, потому закон можно переформулировать по-другому: вся работа, совершаемая внешним магнитным полем, идет на увеличение внутренней энергии опухоли с наночастицами, то есть она нагревается. Осталось пояснить, почему система адиабатическая (скорее, «квазиадиабатическая»). Это возникает из-за того, что частота внешнего магнитного поля велика, поэтому «элементарные акты» воздействия магнитным полем (между периодами изменения его направления) осуществляются за очень короткое время, а за это время теплопередача вовне просто не успевает осуществляться. Очевидно, использование такой аналогии для поля низкой частоты уже работать не будет.

4. Правильный ответ: сверхкритический флюид распределится равномерно по поверхности «лотоса».

При переходе жидкости в сверхкритическое состояние исчезает различие между жидкой и паровой фазами, то есть свойства вещества в сверхкритическом состоянии будут чем-то промежуточным между газом и жидкостью. Поэтому «сверхкритический флюид» обычно обладает высокой плотностью, близкой к плотности жидкости («высокоплотный газ»), но и очень низкой вязкостью («очень текучая жидкость»), кроме того, поверхностное натяжение и граница раздела между жидкостью и паром тоже исчезает. «Эффект лотоса» основан на том, что формируются лишь «точечные» контакты между листом и жидкостью, то есть реализуется практически полная несмачиваемость или супергидрофобность. Большей площади контакта просто не возникает из-за особой морфологии поверхности («мохнатые волокна») и большой энергии поверхностного натяжения на границе воды и воздушной (паровой) фазы, находящейся между «мохматыми волокнами». Иными словами, вода не проникает в структуру листа из-за того, что ее туда не пускает воздух. В сверхкритическом состоянии жидкость приобретает, как отмечалось выше, особые свойства и эффект лотоса перестает работать, сверхкритический флюид (более не исходная жидкость) распределится по поверхности листа.

5. Правильный ответ: CdSe.

Луч будет лучше всего виден в среде квантовых точек (проверено на лекциях по неорганической химии химического факультета МГУ). Знаменитый эффект Тиндаля основан на рассеянии света при прохождении светового пучка через оптически неоднородную среду. Однако очень важно, какие частицы (или объекты) составляют эту среду. Совершенно точно луч будет плохо виден и достаточно быстро затухнет в желтом гидрозоле наночастиц серебра. На то он и желтый, чтобы хорошо поглощать синий свет, а плазмонные наночастицы серебра – вообще рекордсмены по поглощению электромагнитного излучения. Хуже поглощает, но поглощает, синий цвет окрашенный в желто-коричневый цвет гидроксид железа (III). Скорее всего, классически проявит себя конус Тиндаля в коллоидном растворе диоксида титана. Если диоксид титана белый, то он не поглощает в видимой области спектра, а только в ультрафиолетовой. Мицеллярная вода имеет мицеллы с не очень большой разностью коэффициентов преломления на границе раздела воды и мицелл, поэтому этот раствор точно не выиграет гонку. А вот квантовые точки будут возбуждаться синим лазерным лучом и ярко люминесцировать (видимо, зеленым светом, но это зависит от их размера). Таким образом, к рассеянию добавится люминесценция, и луч будет выглядеть ярче всего, в буквальном смысле. При большой концентрации квантовых точек, возможно, будет светиться только часть раствора, потом может произойти концентрационное тушение, но зато в начале участка свечение будет очень ярким.

6. Правильный ответ: они «высасывают» носители своего знака из слоя перовскита.

Самый подходящий вариант касается «высасывания» носителей своего знака. В светопоглощающем слое перовскита при поглощении фотона образуется пара «электрон и дырка». Она мигрирует по слою и вполне может умереть, аннигилировать, встретившись со своим антиподом по знаку (возможно, от другой пары). Чем дальше носители бродят (диффундируют, мигрируют) или / и чем выше их

концентрация, тем выше вероятность их гибели в ходе люминесценции, которая является побочным эффектом работы солнечных батарей и снижает, разумеется, их эффективность. Электроны и дырки нужно разделять непрерывно, тогда под действием потока фотонов возникнет разность потенциалов, а в замкнутой цепи потечет ток. Как раз для разделения зарядов электрон- и дырочно-проводящие слои и вводятся, в них переходят носители заряда соответствующего знака, то есть они, образно говоря, «высасываются» необходимыми дополнительными слоями, и лишь потом передаются электродам. В результате возникает непрерывный фототок без паразитной люминесценции, эффективность солнечного элемента возрастает.

7. Правильный ответ: сегнетоэлектрики.

Сегнетоэлектрики являются одновременно и пьезоэлектриками (обратное не всегда верно), то есть материалами, которые изменяют свой размер (деформируются) при приложении внешнего электрического поля. Таким образом, стимул-воздействие в виде электрического потенциала вызывает действие – сжатие или растяжение, что можно использовать (и успешно используется) для нанопозиционирования, в том числе, в устройстве сканирующего зондового микроскопа.

8. Правильный ответ: коэффициент преломления.

Комбинируя известный закон Брэгга-Вульфа: $2d \sin \theta = k\lambda_{med}$, где d – расстояние между слоями упорядоченных микросфер, θ – угол между падающим лучом и дифрагирующими плоскостями, k – порядок дифракции ($k = 1, 2, 3\dots$), $\lambda_{med} = \lambda/n(\lambda)$ – длина волны излучения в среде с показателем преломления n (λ – длина волны того же излучения в вакууме), и закон Снелла: $\sin \theta / \sin \gamma = n$, где дополнительная величина γ – угол преломления, а n – показатель преломления среды, получаем уравнение, описывающее дифракцию света в среде с периодически изменяющимся коэффициентом преломления:

$$\lambda = \frac{2d}{k} \sqrt{n^2(\lambda) - \sin^2 \theta}$$

9. Правильный ответ: спин-зависимое рассеяние электронов.

В основе эффекта ГМС лежит спин-зависимое рассеяние электронов в сверхрешётке, то есть зависимость сопротивления слоёв от взаимной ориентации их намагниченности и направления спинов электронов. Это связано с тем, что перенос (туннелирование, в частности) электронов с параллельными спинами между слоями происходит легче, чем для антипараллельных. Спин системы самопроизвольно не изменяется, это запрещено, поэтому если внешнее магнитное поле или поле слоя сможет создать спин-поляризованные носители (то есть с одной и той же ориентацией спинов по полю), то только их перемещение в системе будет осуществляться существенно легче, то есть электрическое сопротивление в системе упадет. Обычный закон Ома (рассеяние электронов на тепловых колебаниях решетки) здесь (и в спинтронике) заменяется более фундаментальным принципом, основанным на незыблемых постулатах квантовой механики, – управлением ориентацией спина электрона для контроля концентрации носителей заряда.

10. Правильный ответ: все вышеперечисленное.

Особенно ценным является то, что нанокуглеродные материалы позволяют обеспечить большую площадь поверхности, необходимую для создания эффективно работающего суперконденсатора. Толщина возникающего в ионисторах (и вообще возникающего всегда) двойного электрического слоя мала, поэтому при увеличении площади поверхности, на которой он располагается, резко возрастает запасаемый в таком конденсаторе заряд, а значит и энергия, которая оказывается существенно выше по сравнению с энергией обычных конденсаторов той же формы и размера со слоем диэлектрика между обкладками.



Викторина по биологии для школьников

Тестовый конкурс

Категория участников: школьники 7 - 11 классов

Вопрос №1



НИТЬ СУДЬБЫ

Биоинформатика – наука, к сфере ответственности которой относится изучение способов передачи информации в живом организме. Все мы сложные (во всех смыслах) и передать генетическую информацию от родителей к детям можно биологически только с помощью очень длинной молекулы, биополимера, в которой эта информация закодирована. **Какая из молекул (объектов), перечисленных ниже, будет по длине точно больше человеческого роста, если ее растянуть?**

гем
хроматин
билирубин
НАДФ
АТФ

Вопрос №2



НАНОРОБОТЫ ВНУТРИ НАС

Многие клеточные органеллы содержат наноэлектромеханические системы (НЭМС), которые очень похожи на нанороботов (но не являются ими в прямом смысле) и состоят при этом из биополимеров, которые отлично умеет строить организм. Типичный пример – митохондрии – это органеллы размером около микрона, обычно в эукариотических клетке содержится около 2000 митохондрий, общий объем которых составляет до 25% от общего объема клетки. Митохондрия ограничена гладкой внешней мембраной, однако имеет еще и складчатую внутреннюю мембрану с очень большой поверхностью, складки которой входят в матрикс митохондрий и образуют кристы. Митохондрии являются генератором универсального топлива (АТФ) для организма за счет окислительного фосфорилирования, а также активно участвуют в превращении пирувата в ацетил-КоА, цитратном цикле, цикле мочевины, синтезе гормонов, поставляют клетке продукты промежуточного метаболизма и помогают поддерживать концентрацию Ca^{2+} в цитоплазме на постоянном низком уровне. Для выполнения основных функций во внутреннюю мембрану митохондрии встроены специальные белковые комплексы, один из которых в процессе своей работы буквально становится похож на вращающую мельницу или ротор наноробота. **Что это за комплекс** (как он работает, стоит сказать в пояснениях к ответу)?

сукцинат дегидрогеназа
АТФ-синтаза
убихинон оксидоредуктаза
цитохром С редуктаза
цитохром С оксидаза

Вопрос №3



БЛИЗОСТЬ

В нанотехнологиях есть класс явлений, которые объединяют общим (нестрогим) термином «эффекты близости», которые возникают из-за очень небольших расстояний (единицы нанометров) между нанообъектами (или между молекулами и нанообъектами) и связаны с «бесконтактным» переносом энергии, туннелированием и т.д. между различными частями наносистемы. Чудес здесь нет никаких, конечно, но для наносистем такое поведение совершенно характерно. А где внутри себя **зеленые растения при фотосинтезе реализуют «эффекты близости»** и тем самым существенно повышают эффективность улавливания и преобразования солнечной энергии (и было бы хорошо, если в пояснениях к ответу они будут четко описаны)?

строма
внутримолекулярная система тетрапиррольного кольца хлорофилла

цитоплазма
феофитин
мембраны тилакоидов

Вопрос №4



ФУКАМИЗАЦИЯ

В известной серии романов братьев Стругацких о прогрессорстве, в том числе, в основополагающей части «Волны гасят ветер» описана фантастическая процедура фукамизации для повышения жизненных сил и защитных реакций человека. Основной ее частью являлось введение сыворотки УНБЛАФ (бактерии жизни), что приводило к биоблокаде и спасало почти от любых инопланетных болезней. **А какой из нижеперечисленных реальных биологических объектов выполняет подобные функции на самом деле** (и, как всегда, ответ поясните)?

эпидермис
макрофаги
зигота
тромбоциты
эритроциты

Вопрос №5



ЛИПОСОМЫ

Во всем мире продолжают разрабатываться современные системы доставки лекарств, которые способны уменьшить дозу вводимого лекарства, доставить его целевым образом и повысить эффективность терапии. Одной из важных и вполне реальных стратегий при этом является создание систем доставки с контролируемым высвобождением лекарства, например, если лекарственный препарат доставляется в контейнере (часто для этого в качестве модели используют липосомы), то его можно в нужный момент или в нужном месте разрушить за счет внешнего воздействия («стимула»). В качестве такого стимула может выступать температура, магнитное или электрическое поле, изменение кислотности среды, световой импульс и пр. В МГУ уже несколько лет разрабатывается система стимул – высвобождения на основе магнитных липосом. Причем в отличие от других подобных работ для «активации» липосом с магнитными наночастицами (обычно оксиды железа) используют низкочастотное магнитное поле (до 100 Гц), совершенно безвредное для человеческого организма. Как Вы думаете, **какой основной механизм**

разрушения такой липосомы с пришитыми наночастицами оксида железа может реализоваться на практике (ответ, пожалуйста, поясните)?

генерирование магнонов
генерирование плазмонов
гипертермия (локальное повышение температуры)
химическое растворение наночастиц и электропорация мембраны за счет градиента катионов железа
колебания наночастиц в пространстве и механическое разрушение оболочки

Вопрос №6



АФК

Одним из самых опасных факторов для живых клеток является присутствие активных форм кислорода – супероксидного анион-радикала, перекисей, синглетного кислорода. Последнее используют в процессе фотодинамической терапии (ФДТ) для уменьшения объема опухолей в процессе облучения светом. **Какое из приведенных ниже веществ и почему вы бы использовали для ФДТ?**

наночастицы кремния
наночастицы оксида железа
наночастицы диоксида кремния
наночастицы диоксида гафния
наночастицы металлической меди

Вопрос №7



БАНЯ

Чистота – залог здоровья. Одной из самых лучших в этом плане является классическая баня. К сожалению, если неправильно топить баню, то можно «угореть» (а если кто угорел, то такого пострадавшего нужно вынести на воздух для вентиляции). **Что происходит при отравлении угарным газом с красными кровяными тельцами «угоревшего»?**

угарный газ опасен для мембраны эритроцитов и разрушает ее, эритроциты лопаются
угарный газ реагирует с гистидином, которым белковая часть привязана к железу в тетрапиррольном кольце, в результате тетрапиррольный цикл выходит наружу из белковых субъединиц

молекула монооксида углерода прочно занимает, как более сильный лиганд, место у иона железа в гемоглобине, к которому обычно присоединяется переносимый кислород, и тем самым блокирует его перенос

будучи диполем, молекула угарного газа электростатически связывается с азотом пуриновых оснований и тем самым изменяет конформацию белковых субъединиц
монооксид углерода растворяется в плазме крови, меняет кислотность и блокирует работу цинк-содержащих ферментов, выводящих гидрокарбонат-ионы

Вопрос №8



СОЛНЦЕ

Растения уже очень давно научились использовать энергию Солнца, а Человечество только учится делать хорошие солнечные батареи для преобразования света, например, в электричество. Обычно для этого используют неорганические или гибридные (в последнее время) материалы, но были и попытки сделать солнечные батареи и из белков, посмотрев, как они работают, у самой Природы. **Какой из перечисленных ниже белков для этого подходит, поясните?**

бактериородопсин
гемопорфирин
гемоцианин
альбумин
глютен

Вопрос №9



МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ ЖИЗНЬ

Природа едина, и живые организмы – это не только биополимеры на основе углерода, азота, кислорода, водорода, фосфора и других неметаллических элементов, это еще и

катионы металлов, которые выполняют крайне важные функции. Например, мы не сможем думать, бегать и стучать сердцем без натрия и калия, потому что на их обмене через натриевые каналы основана передача нервных импульсов. Моллюски используют соединения меди (гемоцианин), чтобы дышать, мы используем железо в составе гемоглобина для того же самого. Кроме того, металл-содержащие белки используются разными организмами для того, чтобы защищать себя от повреждений и проникновения бактерий. **А с помощью какого металлического элемента (в составе, разумеется, специального соединения и, кстати, очень токсичного для людей), «защищает» себя мухомор?**

ртуть
свинец
хром
кобальт
ванадий

Вопрос №10



ДЕПО

В последнее время все более популярным становится тераностика – направление использования одного и того же наноматериала как для терапии, так и для медицинской диагностики. Парамагнитные наночастицы оксидов железа (SPION) являются типичным примером, поскольку могут применяться, например, и для терапии онкологических заболеваний (локальная магнитная гипертермия), и для диагностики, как контрасты магнито-резонансной томографии. Конечно, такие материалы для биологических и медицинских применений не должны быть токсичны, и за этим следит нанотоксикология. Считается, что оксиды железа нетоксичны. Но так ли это? Может быть, наш организм просто хорошо научился «прятать» опасные свободные ионы железа в специальные хранилища, до лучших времен, в результате чего, как бы мы ни старались есть железные гвозди, концентрация железа в среде организма, даже в плазме крови, в которой плавают насыщенные железом эритроциты, остается поразительно низкой. **Что выступает в качестве такого хранилища железа на черный день в нашем организме («депо» железа), поясните?**

эритроциты
глия
стволовые клетки
ферритин
костный мозг



**Викторина для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Ответы. Биология**



1. Правильный ответ: хроматин.

Наследственность закодирована в ДНК последовательностью из нуклеотидов аденина, гуанина, тимина и цитозина. В клетках человека (если не принимать в расчет половые клетки) существует 23 пары хромосом, в каждой из которых имеется от 1.7 до 8.5 сантиметров ДНК, поэтому если вытянуть в одну единую цепочку ДНК всех хромосом, то нетрудно подсчитать, что эта суммарная длина составит около 2 метров, что превышает средний человеческий рост. Соответственно, если вытащить такие нити из всех клеток организма, то суммарная длина такой нити составит 20 миллиардов километров, этого достаточно, чтобы несколько десятков раз дотянуться нитью до нашего светила и обратно. Клетка очень сильно компактирует ДНК в пространстве, оставляя ее, в то же время, доступной для воспроизведения генетической информации. Первый уровень – образование двойной спирали ДНК по принципу комплементарности. Второй уровень – упаковка молекулы ДНК в нуклеосомную нить с помощью гистоновых и негистоновых белков. Этот уровень организации хроматина обеспечивается четырьмя видами нуклеосомных гистонов, которые образуют напоминающие по форме диск или шайбу белковые тела – коры, состоящие из восьми молекул, при этом молекула ДНК соединяется с белковыми корами, спирально накручиваясь на них. В результате основу структуры хроматина составляет нить, представляющая собой цепочку повторяющихся единиц – нуклеосом. Вдоль нуклеосомной нити, напоминающей цепочку бус, имеются области ДНК, свободные от белковых тел. Эти области, расположенные с интервалами в несколько тысяч пар нуклеотидов, играют важную роль в дальнейшей упаковке хроматина, так как содержат нуклеотидные последовательности, специфически

узнаваемые различными негистоновыми белками. В результате нуклеосомной организации хроматина двойная спираль ДНК диаметром 2 нм приобретает диаметр 10 – 11 нм. Третий уровень – это хроматиновая фибрилла, формирующаяся за счет сближения белковых кор специальным гистоном, в результате чего формируется компактная структура, построенная по типу соленоида, то есть собственно элементарная хроматиновая фибрилла с диаметром 20 – 30 нм. Четвертый уровень – интерфазная хромонема, возникающая за счет скручивания самой нуклеосомной нити; каждая хроматида состоит из одной фибриллы. Пятый уровень – метафазная хроматида, возникающая при дальнейшей упаковке хроматиновых фибрилл, которые образуют петельные домены, внутри которых встречаются более конденсированные участки. Упакованная хроматиновая фибрилла образует хроматиду, а две хроматиды – одну хромосому, располагающуюся в ядре клетки.

2. Правильный ответ: АТФ-синтаза.

Дыхательная (электрон-транспортная) цепь митохондрий похожа на осторожное и аккуратное путешествие по лесенке окислительно-восстановительных реакций и для этого включает в себя три белковых комплекса (комплексы I, III и IV), сукцинатдегидрогеназу (комплекс II) и подвижные молекулы-переносчики – органический убихинон, обожающий жить и ползать в «жирной» мембране (кофермент Q) и комплекс железа с изменяемой степенью окисления переходного металла, небольшой водорастворимый гемсодержащий белок цитохром c, способный к плаванию в межмембранном пространстве. АТФ-синтаза (комплекс V), не принимает непосредственного участия в переносе электронов, однако именно она генерирует АТФ за счет градиента протонов. При окислении НАДН + H⁺ комплекс I переносит электроны на убихинон. Образующиеся при окислении сукцината, ацил-КоА и других субстратов электроны переносятся на убихинон комплексом II, при этом окисленная форма кофермента Q восстанавливается в ароматический убигидрохинон. Последний переносит электроны в комплекс III, который доставляет их на цитохром c, а он, в свою очередь, переносит электроны на себе к комплексу IV, цитохром c-оксидазе. И вот тут уже цитохром c-оксидаза отдает электроны основному окислителю – молекулярному кислороду. При восстановлении кислорода образуется вода, для чего требуются два протона, поэтому перенос электронов неизбежно сопряжен с возникновением градиента протонов, потому что белковые комплексы вшиты во внутреннюю мембрану, которая сама по себе не пропускает протоны (на то она и мембрана). Перенос протонов должен происходить из матрикса в межмембранное пространство, и лишь АТФ-синтаза позволяет осуществить обратное движение протонов в матрикс, чтобы весь цикл был непрерывен, при этом как раз и формируется АТФ. Перенос протонов помпой (насосом) АТФ-синтазой осуществляется за счет наличия встроенного во внутреннюю мембрану протонного канала и «ручки» (ротора) каталитической части АТФ-синтазы, которая обращена в матрикс митохондрии. «Ствол» этого своеобразного вращающегося насоса образуют полипептиды в протонном канале и часть «ротора». Цикл перекачки протонов (каталитический цикл) состоит из трех стадий: связывание АДФ, формирование фосфоангидридной связи и освобождение конечных продуктов, включая АТФ. При каждом переносе протона через белковый канал в матрикс все три активных центра на «ротаторе» катализируют очередную стадию реакции. При этом энергия протонного транспорта прежде всего расходуется на поворот и изменение конформаций субъединиц, из которых и состоит данная «нанозлектромеханическая» система (НЭМС).

3. **Правильный ответ: мембраны тилакоидов.**

Фотосинтез – процесс со сложной пространственно-временной организацией и этапами, которые очень различны по своей сути и характерным скоростям процессов, включая процессы фотофизической, фотохимической и чисто химической природы. На первом этапе фотосинтеза происходит улавливание и поглощение квантов света пигментами (хлорофиллами или бактериохлорофиллами), переход таких пигментов в возбуждённое состояние, передача энергии другим молекулам фотосистемы, и, разумеется, еще и частичная потеря поглощенной энергии, что снижает эффективность всего фотосинтеза (и именно этого природа пытается избежать за счет использования эффектов «близости»). На втором этапе происходит разделение зарядов в реакционных центрах, молекулы воды формируют гидроксильные радикалы при контакте с катион-радикалами, образовавшимися при участии молекул хлорофилла после передачи ими своего электрона пластохинону на первом этапе. Затем гидроксильные радикалы при участии марганец-содержащих центров преобразуются в кислород и воду. Одновременно происходит перенос электронов по фотосинтетической электрон-транспортной цепи и синтез высокоэнергетических продуктов, включая АТФ, служащий в клетке источником энергии, и НАДФ, использующийся как восстановитель – НАДФ*Н. Эти два этапа входят в световую стадию фотосинтеза. На третьем этапе хлорофилл поглощает квант света и передает электрон ферредоксину. Затем хлорофилл получает обратно электрон после последовательности событий на первом и втором этапах, а ферредоксин восстанавливает универсальный восстановитель НАДФ, чтобы все вернулось на круги своя. Четвёртый, «темновой», этап происходит без участия света и включает в себя биохимические реакции синтеза органических веществ с использованием химической энергии (в том числе в составе АТФ), накопленной на светозависимой стадии. Сам фотосинтез растений осуществляется в хлоропластах – двухмембранных органеллах, относящихся к классу пластид (и немного эволюционно напоминающих «митохондрии наоборот»). Внутреннее пространство хлоропласта заполнено бесцветным содержимым (стромой) и пронизано мембранами (ламеллами), которые, соединяясь друг с другом, образуют тилакоиды, на фотосинтезирующих мембранах которых располагаются фотосинтетические комплексы, содержащие молекулы хлорофилла и другие вспомогательные пигменты (каротиноиды), а тилакоиды, в свою очередь, группируются в стопки, называемые гранами, и именно этот элемент строения и позволяет реализовать «эффекты близости» для повышения эффективности сбора и преобразования энергии света. Сам хлорофилл выполняет две основные функции, включающие поглощение и передачу энергии. Более 90% всего хлорофилла хлоропластов входит в состав светособирающих комплексов тилакоидов, выполняющих роль антенны, передающей энергию к реакционному центру фотосистем I или II. А вот передача энергии идёт резонансным путём (механизм Фёрстера, один из известных эффектов «близости») и занимает для одной пары молекул 10^{-10} – 10^{-12} секунды, причем расстояние такого бесконтактного переноса энергии составляет около 1 нм, чему, несомненно, способствует существование стопок – гран.

4. **Правильный ответ: макрофаги.**

Макрофаги – клетки, которые естественным образом существуют в нас с самого рождения и они способны захватывать и переваривать многие бактерии (увы, не все), а также являются эффективными пожирателями остатков погибших клеток,

чужеродных, токсичных для организма частиц (кстати, с отловом и удалением наночастиц у них могут быть проблемы). Обычно количество макрофагов резко увеличивается при различных воспалениях. К несчастью, макрофаги далеко не столь эффективны и универсальны, как фантастическая «бактерия жизни», но очень помогают нам в борьбе с инфекциями и болезнями.

5. Правильный ответ: колебания наночастиц.

Из разумных здесь всего два ответа – магнитомеханическое воздействие за счет колеблющихся наночастиц железа на нежную мембрану липосомы и контролируемое высвобождение лекарственного препарата или же локальный разогрев наночастиц железа в переменном магнитном поле и, соответственно, разрушение оболочки за счет повышения температуры. Второй случай возможен только в полях высокой частоты (килогерцы и выше), а вот первый (без разогрева) экспериментально реализуется в полях всего до 100 Герц (низкочастотное поле).

6. Правильный ответ: наночастицы кремния.

Фотодинамическая терапия (ФДТ) — метод лечения онкологических заболеваний, некоторых заболеваний кожи или инфекционных заболеваний, основанный на применении фотосенсибилизаторов (в том числе красителей), и, как правило, видимого света определенной длины волны. В ФДТ желателно использовать свет в диапазоне 600 – 900 нм, который, обладая достаточной энергией для возбуждения синглетного кислорода, имеет максимальную глубину проникновения в ткани. Синглетный кислород — основной активный компонент ФДТ, он существенно эффективней невозбужденного кислорода окисляет липиды, белки и другие биомолекулы, а также способствует развитию фотосенсибилизаторных эффектов в тканях. Биосистемы обладают необычайно высокой чувствительностью к этому веществу. Синглетный кислород и радикалы вызывают в клетках опухоли некроз / апоптоз, ФДТ также приводит к нарушению питания и гибели опухоли за счет повреждения ее микрососудов. Достаточно легко генерирует синглетный кислород именно нанокристаллический кремний, это нетоксичные квантовые точки, которые проникают в ткани (эндоцитируются, в частности) и возбуждаются красным светом в «окне прозрачности» тканей организма.

7. Правильный ответ: молекула монооксида углерода прочно занимает, как более сильный лиганд, место у иона железа в гемоглобине, к которому обычно присоединяется переносимый кислород, и тем самым блокирует его перенос.

Основной функцией эритроцитов является перенос кислорода из легких к тканям и транспорт в обратном направлении диоксида углерода. Транспорт кислорода обеспечивается гемоглобином – тетрамером, в котором каждая белковая цепь несёт гем, являющимся комплексом протопорфирина IX с ионом железа (II). Именно с Fe (II) обратимо связывается, координируясь как лиганд, молекулярный кислород, при этом образуется оксигемоглобин. К сожалению, его стабильность существенно падает в присутствии угарного газа, который очень прочно связывается с ионом железа и тем самым блокирует транспорт кислорода. Транспорт углекислого газа эритроцитами происходит с участием карбоангидразы, содержащейся в их цитоплазме. Этот фермент катализирует обратимое образование гидрокарбоната из воды и

углекислого газа, диффундирующего в эритроциты. Угарный газ тут уже ни при чем, он инертен и не реагирует с водой, тем более, не изменяет рН.

8. Правильный ответ: бактериородопсин.

Бактериородопсин относится к семейству мембранных светочувствительных белков и может быть выделен из галобактерий, причем в достаточно больших количествах. Поскольку этот белок участвует в преобразовании энергии света в энергию необходимых бактериям химических связей в полезных для них соединениях, наподобие тому, как это делает хлорофилл в растениях, то это свойство можно использовать для создания людьми биологических солнечных батарей, правда, для этого его лучше оставить в исходной мембране. Система, включающая бактериородопсин, действует как управляемый светом протонный насос, поэтому, как и в «обычной» солнечной батарее, происходит разделение зарядов (создается градиент концентрации протонов и возникает электрический потенциал). К сожалению, эффективность и долговечность таких солнечных батарей оставляет желать лучшего.

9. Правильный ответ: ванадий.

Амавадин – сложный хелатный анион – восьмикоординированный комплекс четырехвалентного ванадия с тетрадентантным лигандом, производным N-гидроксиимино-2,2'-дипропионовой кислоты, $([V\{NO[CH(CH_3)CO_2]_2\}_2]^{2-})$, выделенный из мухоморов. Биологическая роль этого соединения для мухомора не ясна до конца, хотя известно, что он участвует в окислительно-восстановительных процессах. В какой-то степени он похож на пероксидазы в высших организмах, контролирует концентрацию перекиси водорода, способствует восстановлению поврежденных тканей мухомора и обеспечивает токсическую защиту от потенциальных вредителей.

10. Правильный ответ: ферритин.

Ферритин – белковый комплекс из 24 субъединиц (может существовать до 20 изоферритинов), состоящий из белка апоферритина и фосфатных соединений железа (III) в количестве до 4 000 атомов железа на ферритин. Таким образом, основная функция ферритина – уникальное внутриклеточное депо железа, то есть связывание лишнего, хранение до поры, до времени и возвращение необходимого железа нуждающимся в нем клеткам любых органов и тканей.



Викторина по химии для школьников

Тестовый конкурс

Категория участников: школьники 7 - 11 классов

Вопрос №1



БЮРОКРАТИЧЕСКИЙ РАЗМЕР

По рекомендациям союза чистой и прикладной химии (IUPAC, International Union of Pure and Applied Chemistry), нанообъектом можно считать то, что хотя бы по одному из измерений меньше 100 нм. При этом, очевидно, что эта рекомендация лишь дает ограничение на размер сверху, в то же время, нанообъекты – это обычно то, что больше типичной молекулы и представляет собой надмолекулярное образование. Поскольку средний размер распространенных молекул варьируется от 0.2 до 1 нм, то, если строго следовать этому определению, далеко не все, что маленькое, можно назвать нано. Будьте в данном случае формалистами (не слушайте, что говорят!), и сами **оцените (найдите) размеры объектов, приведенных ниже, и потом назовите единственный нанообъект, который там присутствует.**

фуллерен C₆₀

альбумин

водород H₂

многослойная липосома

капля тумана

вирион вируса табачной мозаики

Вопрос №2



МАТРЕШКА

Обычно предполагают, что все «нано» – это то, что имеет размер по одному из измерений меньше 100 нм. Другая точка зрения заключается в том, что граница «нано» – это размер, при котором происходят какие-либо существенные изменения структуры или свойств вещества (материала). Так, самый твердый материал – алмаз – при уменьшении размеров частиц до 1 – 5 нм перестает быть обычным, кубическим, «объемным», а становится икосаэдрическим, это то, что точно можно называть «наноалмазом». Икосаэдрический наноалмаз имеет «луковичную» (кластерную) структуру, потому что состоит из нескольких вложенных одна в другую, как в матрешке, оболочек. Самое интересное, что из таких «кусочков» невозможно собрать обратно объемную структуру, потому что структура принципиально другая, имеет ось пятого порядка (как у пятиугольника) и, пристыковывая такие блоки один к другому, невозможно без пустот заполнить все трехмерное пространство. Как вы думаете, **почему происходит переход от кубического к икосаэдрическому алмазу при уменьшении размера?** Единственный верный ответ приведен ниже, Вам только нужно его выбрать.

переход увеличивает поверхность системы, которая благоприятствует стабилизации, как и для других ультрадисперсных материалов
переход уменьшает поверхностную энергию системы
переход увеличивает количество свободных (оборванных) связей на поверхности
переход увеличивает количество ковалентных связей между атомами углерода внутри наноалмаза и делает его существенно прочнее
переход изменяет тип связи с ковалентной на ионную и тем самым увеличивает энергию связей

Вопрос №3



НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ

За последнее столетие наше Человечество совершило огромное количество выдающихся открытий, но некоторые из них занимают особое место и связаны с вечной мечтой – уметь работать с энергией, без которой не может существовать никакая цивилизация, особенно современная. Одно из самых эффективных устройств хранения электрической энергии, которую только Человечество и научилось хорошо использовать в своей жизни, – это литий-ионные аккумуляторы. Они настолько вросли в нашу повседневную жизнь, что мы не представляем без них своего существования. Поэтому совершенно неудивительно, что за эту эпохальную разработку американцам Джону Гуденафу, Стэнли Уиттингэму и японцу Акире Йошино в этом году присуждена самая престижная Нобелевская премия по химии. Стэнли Уиттингэм изобрел одно из первых веществ, дисульфид титана, который оказался отличным катодом для будущих литий-ионных аккумуляторов. К сожалению, оказалось, что металлический литий, который использовали в виде анода, делал такую батарейку взрывоопасной, но проблема была решена, когда Акира Йошино предложил использовать углеродные материалы, которые превратили опасную батарейку в безопасную. Наконец, величайший химик и кристаллограф современности Джон Гуденаф

(97 лет), придумал и синтезировал правильный катодный материал, который сейчас находится в большинстве используемых нами аккумуляторов, – кобальтит лития, сложный слоистый оксид кобальта и лития. Это сделало современные аккумуляторы практически рекорсменами по мощности, емкости, напряжению и запасаемой в них энергии. К тому же, это очень легкие батарейки, потому что углерод легкий, да и сам литий настолько легкий металл, что он может плавать в воде, правда, при этом с ней, как любой щелочной металл, реагирует. **Почему использование углеродных материалов сделало аккумуляторы безопаснее?** Укажите самую правильную и наиболее существенную причину из тех, что перечислены ниже.

гидрофобные углеродные материалы изолируют активные материалы аккумулятора от воды и воздуха

без использования углеродных материалов у лития могут вырасти «усы»

углеродные материалы в силу хорошей теплопроводности рассеивают тепло, накапливающееся при зарядке

углеродные материалы легко отдают литий при зарядке и самопроизвольно включают его в свой состав при разрядке аккумулятора

углеродные материалы катализируют электрохимическое разложение лития

Вопрос №4



КИРПИЧ КАК НАНОМАТЕРИАЛ

Любое вещество имеет наноуровень структуры (если только это не инертный газ, наверное). Считается, что если изменение этого уровня (наноуровня) приводит к существенному улучшению практически важных (целевых) свойств всего материала в целом, то его можно называть и считать наноматериалом, даже если это очень плотное вещество, которое не состоит из наночастиц как таковых. Например, в области сверхпроводимости, за которую в сумме присуждено около 5 – 6 Нобелевских премий, разработаны способы получения «кирпичей» (массой около килограмма каждый) купратного высокотемпературного сверхпроводника $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ путем медленной кристаллизации высокотемпературных (выше 1200 °С) расплавов. При этом получают очень плотную (до 95% плотности от теоретической) крупнокристаллическую керамику, которую, казалось бы, сложно даже близко назвать наноматериалом. В то же время, последующий отжиг такой керамики в области средних температур (500 – 700 °С) и окисление в кислороде приводит к формированию несовершенств структуры, которые позволяют захватывать проникающий в сверхпроводник второго рода магнитный поток в виде так называемых вихрей Абрикосова, прищипливать (пиннинговать) их и обеспечивать рекордные характеристики – магнитную левитацию транспорта, прохождение тока в сотни тысяч ампер (на квадратный сантиметр) без потерь на электрическое сопротивление. **Какой дефект из перечисленных ниже делает такой сверхпроводник наноматериалом, обеспечивая рекордные функциональные характеристики путем модификации наноуровня крупнокристаллической керамики?**

одионочная вакансия кислорода в кристаллической решетке
микротрещина в псевдомонокристаллической области
остатки расплава на границах зерен керамики
флуктуации состава
кристаллографическая разориентация зерен керамики

Вопрос №5



СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ

В последние пять лет очень активно развивается направление, связанное с созданием солнечных батарей нового поколения с использованием уникальных светопоглощающих слоев на основе гибридных органо-неорганических перовскитов с общей формулой ABX_3 , где А – большой катион (обычно «органический» катион метиламмония), В – катион поменьше (обычно свинец(II)) в октаэдрическом окружении анионов (обычно иодид-ион). Октаэдры VX_6 , соединяясь лишь вершинами, образуют трехмерный каркас, в пустотах которого как раз и находятся большие катионы А. Обычно такая структура стабильна, если она геометрически соразмерна по критерию толерантности Гольдшмидта, сравнивающего радиусы А, В и X. Получают такие материалы в виде тонкопленочных гетероструктур – своеобразного сэндвича из очень тонких слоев, каждый из которых играет свою особую роль в прямом превращении солнечной энергии в электрическую. Эффективность превращения энергии достигает для этих материалов очень высоких значений до 24%. Если В – свинец (один из самых тяжелых металлов с крупным по размеру катионом) и X – иод (один из самых тяжелых и крупных по размеру анионов неметаллов), то **чем можно заменить из ниже перечисленного «органический» катион А**, который создает много проблем – делает такой перовскит менее термически стабильным из-за разложения самого органического катиона, повышает его стоимость и сложность производства?

катион лития
катион бария
катион титана (IV)
катион рубидия
ничто из выше перечисленного

Вопрос №6



ХИРАЛЬНОСТЬ

В наном мире, как в органической химии, науках о жизни, фармацевтике, физике, кристаллохимии, часто большую роль играет особое свойство – хиральность, когда изображение не может быть совмещено само с собой, а лишь со своим зеркальным отражением. **Какой единственный объект ниже не будет проявлять на практике хиральность?**

винтообразные раковины садовых улиток
человеческие руки
D- и L-ряды фармацевтических препаратов
одностенные углеродные нанотрубки
многостенные углеродные нанотрубки

Вопрос №7



НЕОРГАНИЧЕСКИЙ НЕМАТИК

Оксид ванадия (V) – уникальное вещество, которое известно в школе как катализатор получения серной кислоты, но этим далеко не ограничивается его роль. Он может выступать в качестве строительных слоев для получения неорганических нанотрубок, аэрогелей, материалов катода для химических источников тока, матрицы для создания полифункциональных органо-неорганических материалов. Из него также получают ксерогели – высушенные без повышения температуры («на воздухе») гели со слоистой структурой, формирующейся за счет удаления растворителя из коллоидного раствора. В этом плане оксид ванадия (V) – один из немногих неорганических оксидов, который формирует в растворе жидкокристаллическую фазу типа «нематик» из длинных взаимно ориентированных лент (нитей, нанолент), распределенных в объеме растворителя (обычно водного раствора). Как вы думаете, **за счет какого явления или процесса формируются такие сконденсировавшиеся из полиэдров ванадий – кислород длинные наноленты?**

формирование сопряженных (кратных) связей ванадий – ванадий
электростатическое взаимодействие катионов ванадия, окруженных сольватной оболочкой
диполь – дипольное взаимодействие наночастиц металлического ванадия с «шубой» из гидроксид-ионов
вандерваальсова самосборка наночастиц оксида ванадия (V)
оляция и оксоляция

Вопрос №8



ЧИСТЮЛИ

В чем принципиальное сходство мыла, липосом и мицеллярной воды?

отсутствие щелочной среды при растворении в воде

наличие молекул кислорода

наличие ПАВ

наличие углеводов

наличие жирных кислот

Вопрос №9



БЕЗ СВЯЗИ

Как считается, катенаны и ротаксаны – молекулы «без химической связи», за создание и исследование которых была присуждена недавняя Нобелевская премия и которые могут быть интересны для создания переключаемых, триггерных сред, то есть систем «молекулярной электроники» с новыми принципами записи и обработки информации. Но если в этих молекулах «нет» химической связи, то **какая тогда валентность углерода, который входит в состав таких молекул?**

0

1

2

3

4

Вопрос №10



ЗОЛОТО ОСЕНИ

Желтые, оранжевые, красные листья чудесной осени, специфический окрас тыкв праздника Хеллоуин, элементы молекулярной электроники и искусственные

фотособирающие системы связаны с одним и тем же типом веществ, который указан ниже. **Что это за тип?**

гематопорфирины
каротиноиды
гемоцианины
мускаруфин
охра



**Викторина для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Ответы. Химия**



1. Правильный ответ: вирион вируса табачной мозаики.

Фуллерен имеет диаметр 0.7 нм, это молекула, белок альбумин имеет размер 4 микрона, водород имеет размер молекулы 0.23 нм, капли тумана имеют диаметры в единицы микрон, многослойные липосомы также часто имеют микронный размер, и лишь вирус табачной мозаики – это палочка длиной примерно 300 нм и диаметром около 20 нм, то есть нанообъект по определению IUPAC.

2. Правильный ответ: переход уменьшает поверхностную энергию системы.

Появление замкнутых плоских оболочек при уменьшении размера наноалмаза означает, что четыре ковалентные связи, которые имелись в объемном алмазе (sp^3 -гибридизация) превращаются в три плоские связи углерод – углерод, примерно как в стабильном графите (sp^2 -гибридизация), одновременно изменяются силы взаимодействия между оболочками (становятся слабее, в графите они считаются вандер-ваальсовыми между слоями) и электронная структура (появляются делокализованные электроны). Фактически, многие «луковичные», икосаэдрические наноалмазы представляют собой алмазоподобное ядро, «завернутое» в фуллереноподобные структуры, что устраняет крайне невыгодные «оборванные» связи на поверхности структуры и тем самым уменьшает поверхностную энергию системы.

3. **Правильный ответ: без использования углеродных материалов у лития могут вырасти «усы».**

Использование металлического лития приводит часто к росту его нитевидных кристаллов («усов») при зарядке аккумулятора, что может привести к короткому замыканию, взрыву и пожару, однако это явление в существенной мере подавляется, если литий не осаждается при зарядке, как металл, а входит в структуру (интеркалируется) в углеродный материал.

4. **Правильный ответ: флуктуации состава.**

При термообработке в области средних температур ионы неодима и бария так распределяются по зернам (псевдомонокристаллическим областям) керамики, что возникают нанофлуктуации состава размером 5 – 10 нм. В пространственной области флуктуаций, в которых кристаллическая решетка самопроизвольно (за счет расслаивания твердого раствора) обогащается неодимом, сверхпроводящие свойства подавляются в магнитном поле (поля около 1 Тесла). Такие области становятся несверхпроводящими и выступают в роли тех самых дефектов, несовершенств структуры, которые эффективно припиливают вихри Абрикосова и обеспечивают бездиссипативный перенос тока через сверхпроводник. Трещины, разориентация и непроводящие прослойки расплава могут только мешать протеканию тока между зернами, а одиночные вакансии – атомарные (точечные) дефекты, а не наноуровень структуры.

5. **Правильный ответ: ничто из выше перечисленного.**

К сожалению, ничем неорганическим пока что такой катион заменить нельзя, потому что все перечисленные выше ионы либо не подходят по типу к замещению в позиции А – катиона, либо (все!) существенно меньше по своему радиусу, чем катион метиламмония, который как раз соответствует по своему размеру требуемому по критерию толерантности Гольдшмидта (то есть остальные катионы маленькие и дестабилизируют структуру). Даже Cs^+ , самый крупный чисто неорганический катион, мал для такой структуры.

6. **Правильный ответ: многостенные углеродные нанотрубки.**

Многостенные углеродные нанотрубки состоят из отдельных тубуленов, возможно, со своей хиральной сверткой графеновых слоев, вложенных друг в друга, поэтому их совокупность обычно совершенно стохастична и неизвестны примеры, когда у них была бы определенная «хиральность», фактически для такого объекта сам термин сложно применить.

7. **Правильный ответ: оляция и оксоляция.**

Рост лент происходит при подкислении раствора и поликонденсации простейших анионов метаванадата в изополианионы и далее, через образование оловых, а затем оксоловых мостиков (после отщепления воды) в длинные цепи и наноленты, «плавающие в растворе» и формирующие нематик-анизотропную жидкость (или жидкий кристалл), содержащую «нити» с хорошим ориентационным порядком (они

параллельны друг другу) и достаточно произвольным позиционным порядком (центры масс нанолент не упорядочены друг относительно друга).

8. Правильный ответ: наличие ПАВ.

Если мыть руки с мылом, то частички жира и грязи заключаются в мицеллы – «коробочки» из молекул с «жирным» хвостом (чаще всего, алифатическим), который не любит воду (точнее, водородная сетка молекул воды не любит, чтобы эти хвосты ее рвали) и «полярной» головой, которая как раз обожает встраиваться в водородную сетку воды. Такие молекулы называются амфифильными, поверхностно-активными веществами (ПАВ), например, стеарат, олеат, додецилсульфат, лаурат натрия. Последнее происходит от того, что они любят располагаться на поверхности, сглаживая те искажения, которые чужеродные тела (капли жира или грязи) вносят в структуру воды (растворителя). В результате жир окутывается жирными хвостами ПАВ, которые торчат внутрь, поскольку их природа, как и жира, «неполярная», а снаружи оказываются полярные части ПАВ (карбоксигруппы солей жирных кислот, например, для ионногенных ПАВ). Они делают такие мицеллы аффинными (повышают сродство) к воде, и жир с рук переходит в воду. Мицеллярная вода – это стабильный раствор мицелл из ПАВ, которые по природе мало чем отличаются от «пустых» мицелл, формирующихся при использовании обычного мыла, а липосомы – это искусственно созданные микро- и наноконтейнеры, напоминающие одностенные или многостенные, часто довольно сложной структуры, мицеллы, используемые в косметике, разрабатываемые для доставки лекарств и прочее. Объединяет все эти объекты аббревиатура ПАВ – поверхностно-активных веществ. Для мицеллярной воды и липосом совсем необязательно использовать производные жирных кислот, существуют и другие варианты. Собственно, и современное мыло – это тоже поверхностно-активные вещества, но не обязательно только классические и ионногенные.

9. Правильный ответ: 4.

Разумеется, валентность углерода остается равной 4, потому что именно он формирует части молекул катенанов (вдетых друг в друга колец) и ротаксанов (кольцо на стержне со стопорами), между которыми нет прочной ковалентной и других сильных типов связей, хотя ван-дер-ваальсовы взаимодействия никто не исключал. Внутри частей этих типов молекул – нормальная, прочная ковалентная связь. Так что термин «соединения без химической связи» не совсем корректно применим к этим элементам типа «молекулярных машин».

10. Правильный ответ: каротиноиды.

Этот класс – каротиноиды, природные органические пигменты, тетратерпены и тетратерпеноиды, продукты химических превращений каротина (ликопина). Поскольку они содержат сопряженные связи и достаточно хорошо умеют поглощать свет, то их уже давно пытаются использовать искусственно при создании устройств молекулярной электроники и фотособирающих систем.



Заключительный этап. Тур первый

Комплекс предметов

Категория участников: школьники 7-11 классов

Задания заключительного этапа XIV Всероссийской Интернет-Олимпиады "Нанотехнологии - прорыв в будущее!" по комплексу предметов "химия, физика, математика, биология" в дистанционном формате. Тур первый, сложные задачи.

На **первом туре** Вам будет предложено 12 сложных задач по 4 предметам (химия, физика, математика, биология), каждая оценивается в 20 баллов. Можно решать любые из них, но в общий зачет пойдет результат только за **ОДНУ задачу с наибольшими баллами ПО КАЖДОМУ ПРЕДМЕТУ**. Например, если Вы решите полностью две задачи по химии и больше ничего, то Ваш общий результат будет 20 баллов. Если Вы решите на 50% по одной задаче из физики, химии, математики и биологии, Вы наберете 40 баллов. Максимальная сумма баллов за тур — **80 баллов**.

При обнаружении **идентичных решений** оценка будет обнуляться. Деления баллов на количество списавших авторов не предусмотрено.

[Даты и порядок проведения заключительного этапа](#)

[Расписание этапа](#)

Задания

1. Химия. Сложные задачи

2. Физика. Сложные задачи

3. Математика. Сложные задачи

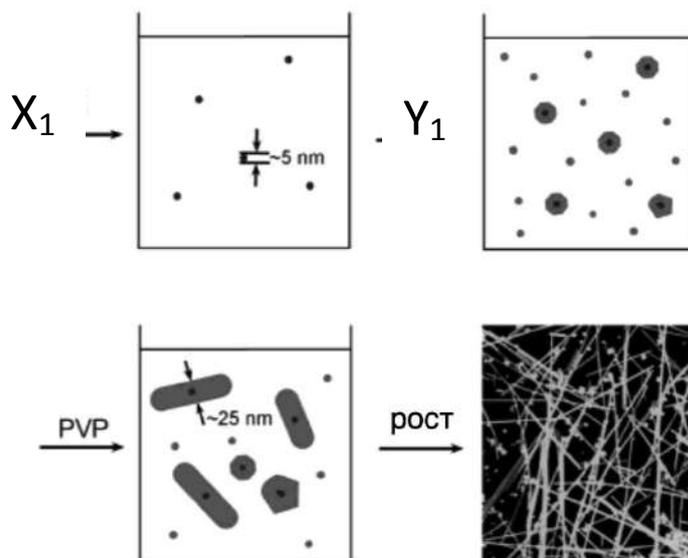
4. Биология. Сложные задачи



Химия для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап) Сложные задачи

Задача 6. Синтез нанопроволок (20 баллов)

По одному из методов синтез нанопроволок Y проводят следующим образом. Сначала в этиленгликоль, содержащий некоторое количество воды, добавляют несколько капель раствора вещества X_1 в этиленгликоле и смесь нагревают до 160 °С. При этом происходит выделение газа, не поддерживающего горение (*реакция 1*). Однако ввиду низкой концентрации этого газа никаких пузырьков не наблюдается. Образовавшийся раствор содержит в себе наночастицы простого вещества X , выступающие в роли затравок при синтезе нанопроволок. На следующей стадии в раствор вводят вещество Y_1 и продолжают нагревание. При этом наночастицы увеличиваются в размере, так как на них кристаллизуется простое вещество Y , образующееся при взаимодействии Y_1 с этиленгликолем (*реакция 2*). Эта реакция также сопровождается образованием газообразного продукта, аналогично реакции 1. Введение поливинилпирролидона (PVP) направляет рост наночастиц таким образом, что их форма начинает отклоняться от сферической. Так образуются нанопроволоки Y . Весь процесс можно представить схемой:



Вещество X_1 представляет собой коричневый порошок, плохо растворимый в воде, но растворимый в соляной кислоте. При внесении в этот раствор медной фольги раствор окрашивается в зеленый цвет, а на поверхности фольги образуется серый налет простого вещества X (*реакция 3*). Вещество X_1 может быть получено из X по реакции с хлором (*реакция 4*), причем из 1.000 г X образуется 1.350 г X_1 (выход 99%).

Известно, что масса медной фольги, внесенной в 200 г 1.70%-го раствора Y_1 , после окончания реакции (*реакция 5*) возрастает на 1.52 г, причем поверхность фольги покрывается серым налетом Y . Термическое разложение Y_1 приводит к образованию серого порошка Y и выделению бурого газа (*реакция 6*). При действии на 200 г 1.70%-го раствора Y_1 избытка хлорида натрия образуется белый творожистый осадок Y_2 массой 2.87 г (*реакция 7*).

1. Определите неизвестные вещества X , X_1 , Y , Y_1 , Y_2 . Подтвердите расчетом. **(9 баллов)**
2. Запишите уравнения реакций 1 – 7. **(9 баллов)**
3. Какое применение находят полученные нанопроволоки? **(2 балла)**

Задача 7. Синтез в нанореакторах (20 баллов)

Синтез наночастиц бинарного соединения **X** был проведён в три стадии:

- а) к исходному раствору, содержащему 3.6 г нитрата двухвалентного металла **M**, добавили избыток раствора гидроксида натрия, выпавший вначале осадок растворился в избытке щелочи;
- б) к полученному раствору прибавили раствор тиомочевины;
- в) после перемешивания данной системы в неё сразу ввели ПАВ для образования мицелл, в которых и был осуществлён синтез наночастиц.

В результате было получено 2.0 г наночастиц. При этом в нанореакторы удалось ввести лишь 77% катионов металла **M**, а все остальные стадии прошли с выходом 100%.

1. Определите металл **M** и состав соединения **X**. Ответ подтвердите расчётами. Атомные массы округляйте до целых чисел. **(5 баллов)**
2. Напишите уравнения химических реакций, упомянутых в методике синтеза. **(6 баллов)**
3. Почему формирование наночастиц произошло именно в мицеллах, а не в момент смешивания реагентов? **(2 балла)**
4. Рассчитайте число синтезированных шарообразных наночастиц, если их радиус равен 3.0 нм, а плотность 7.5 г/см³. **(3 балла)**
5. Назовите возможную область применения наночастиц соединения **X**. Почему синтез в нанореакторах делает их использование наиболее предпочтительным? Ответ обоснуйте. **(4 балла)**

Задача 8. Наносорбент (20 баллов)

Двухслойный оксид графита (ДОГ), (формула наноструктуры $\text{CO}_{0.34}\text{H}_{0.02}$) охотно сорбирует некоторые жидкости на внутренние поверхности за счет взаимодействия с кислородосодержащими группами ($-\text{O}-$) и ($-\text{OH}$), расположенными на этих поверхностях (см. рис. 1)

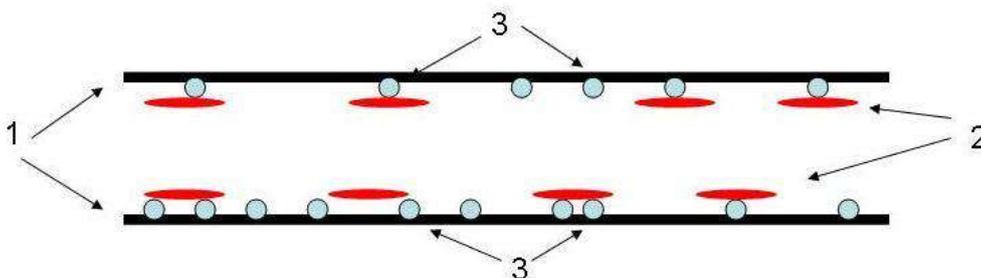


Рис. 1. Двухслойный оксид графита. 1 – графеновый лист, 2 – сорбированные молекулы метанола, 3 – кислородосодержащие группы ($-\text{O}-$) или ($-\text{OH}$) на внутренней поверхности

Метанол, сорбированный в межплоскостное пространство, занимает приблизительно 40% всей внутренней поверхности каждого графенового листа ($1300 \text{ м}^2\text{г}^{-1}$). Одна молекула метанола занимает на поверхности площадь 18 \AA^2 .

1. Какие из перечисленных жидкостей должен сорбировать ДОГ: вода, метанол, толуол, октан, октанол, гексан, ацетонитрил? **(4 балла)**
2. Каким общим свойством обладают эти жидкости? Каким параметром характеризуется это свойство? **(2 балла)**
3. Сколько граммов метанола сорбировалось внутри 10 мг двухслойного оксида графита? **(6 баллов)**
4. Какова вероятность того, что кислородосодержащая группа на внутренней поверхности ДОГ связана с сорбированной молекулой метанола? Примите, что каждая группа связывает не более одной молекулы метанола. **(8 баллов)**



Химия для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)
Сложные задачи. Решения

Решение задачи 6. Синтез нанопроволок (20 баллов)

1. Из описания свойств вещества Y_2 можно предположить, что это – хлорид серебра. Тогда $\nu(\text{AgCl}) = 2.87 / 143.5 = 0.02$ моль.

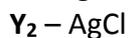
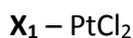
В предположении, что Y_2 находится в эквимольном отношении с Y_1 , получаем молярную массу последнего 170 г/моль, что соответствует нитрату серебра AgNO_3 . Это подтверждает и расчет по уравнению реакции 5.

Вещество X_1 представляет собой хлорид металла X . Для определения вещества X_1 воспользуемся его реакцией с хлором. Из 1.000 г X теоретически должно получиться $1.350 / 0.99 = 1.364$ г хлорида.

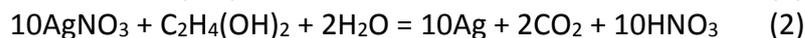


$$\nu(\text{Cl}_2) = (1.364 - 1.000) / 71 = 0.00513 = n/2 \cdot \nu(X) = n/2 \cdot 1/M(X).$$

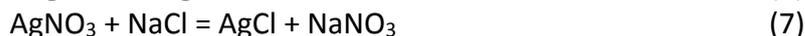
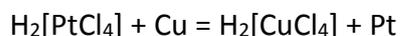
$$M(X) = 97.5n. \text{ При } n = 2, M(X) = 195 \text{ г/моль, это – платина.}$$



2. Уравнения реакций:



или



3. Нанопроволоки представляют собой одномерные проводники, свойства которых значительно отличаются от свойств обычных металлов. Нанопроволоки серебра находят применение в качестве электродов при создании гибких дисплеев. Кроме того, они обладают антибактериальным действием, а также находят применение в оптике.

За определение веществ X и Y – по 3 балла = **6 баллов**.

За определение веществ X_1 , Y_1 , Y_2 – по 1 баллу = **3 балла**.

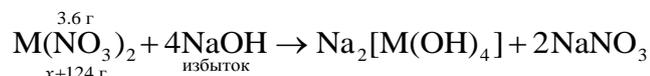
За уравнения реакций 1 и 2 – по 2 балла = **4 балла**.

За уравнения реакций 3 – 7 по 1 баллу = **5 баллов**.

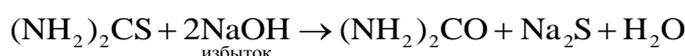
За применение нанопроволок – **2 балла**.

Решение задачи 7. Синтез в нанореакторах (20 баллов)

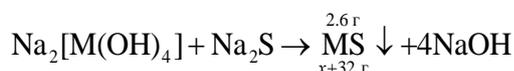
1. Схематично запишем уравнения реакций. Так как взаимодействие нитрата металла с избытком гидроксида натрия приводит к образованию только растворимых соединений, то



Тиомочевина в щелочной среде гидролизуеться, поэтому является источником сульфид-ионов. Значит, соединение **X** – нерастворимый сульфид металла **M**.



Образовавшиеся гидроксокомплекс металла **M** и сульфид натрия вступают в реакцию внутри мицеллы:



По закону сохранения массы, количества вещества нитрата металла **M**, гидроксокомплекса металла и сульфида металла равны. Кроме того, масса наночастиц в пересчёте на 100% равна

$$m(\text{MS}) = \frac{2,0 \cdot 100\%}{77\%} = 2,6 \text{ г}$$

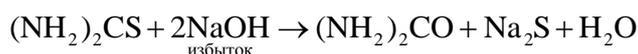
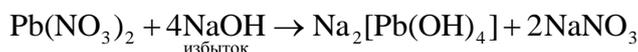
Пусть молярная масса металла **M** равна x г/моль. Тогда

$$\frac{3,6}{x+124} = \frac{2,6}{x+32}$$

$$x = 207,2$$

Следовательно, металл **M** – это свинец Pb, а соединение **X** – сульфид свинца PbS.

2. Уравнения реакций:



3. Поскольку в момент смешивания растворов $\text{Na}_2[\text{Pb}(\text{OH})_4]$ и $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$ сульфид-анионы отсутствуют, мгновенное образование наночастиц PbS невозможно. Однако, в результате щелочного гидролиза тиомочевина постепенно разлагается с выделением сульфид-аниона, который способен вступить в реакцию. К этому времени мицеллы уже сформированы, поэтому рост наночастиц происходит внутри них.
4. Объём одной наночастицы

$$V_1 = \frac{4}{3} \pi R^3$$

Масса одной наночастицы

$$m_1 = \rho V_1 = \frac{4}{3} \pi \rho R^3$$

Значит, масса N наночастиц равна

$$m_N = N m_1 = \frac{4}{3} \pi \rho N R^3$$

Так как было синтезировано 2.0 г наночастиц, то их число равно

$$N = \frac{3}{4} \cdot \frac{m_N}{\pi \rho R^3}$$

$$N = \frac{3}{4} \cdot \frac{2.0 \text{ г}}{3.14 \cdot 7.5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot (3 \cdot 10^{-7} \text{ см})^3} \approx 2.36 \cdot 10^{18}$$

5. Наночастицы сульфида свинца можно использовать в качестве квантовых точек, поскольку они являются полупроводниками, а их размер составляет несколько нанометров. Синтез в нанореакторах позволяет получать наночастицы строго определённого размера, что делает их использование в качестве квантовых точек наиболее предпочтительным.

Решение задачи 8. Наносорбент (20 баллов)

1. Вода, метанол, октанол, ацетонитрил. (по **1 баллу** за каждый правильный ответ, минус 1 балл за каждый неправильный ответ, но не меньше 0)
2. Это полярные жидкости. Они характеризуются высокой диэлектрической проницаемостью и большим дипольным моментом молекулы.
3. Молекулы метанола занимают 40% внутренней поверхности, т.е. $1300 \times 0.4 = 520 \text{ м}^2/\text{г}$. Таким образом, сорбировалось $520 : 18 : 10^{-20} = 2.9 \times 10^{19}$ молекул/г = 4.8×10^{-3} моль/г = $4.8 \times 32 \times 10^{-3} \text{ г/г} = 154 \times 10^{-3} \text{ г/г} = 154 \text{ мг/г}$. Внутрь 10 мг ДОГ сорбируется 1.54 мг метанола.
4. Молярная масса ДОГ составляет 17.46 г/моль. 1 моль ДОГ содержит $0.34 \times 6.02 \times 10^{23} = 2.05 \times 10^{23}$ атомов кислорода. 10 мг ДОГ содержат $2.05 \times 10^{23} \times 10^{-2} : 17.46 = 12 \times 10^{19}$ атомов кислорода. Кислородосодержащие группы содержат по одному атому кислорода. Согласно пункту (3), 10 мг ДОГ сорбируют 2.9×10^{19} молекул спирта. Максимальная вероятность соответствует случаю, когда каждая кислородосодержащая группа связана только с одной молекулой спирта. Искомая вероятность составляет $2.9 : 12 = 0.24$.



Физика для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)
Сложные задачи

Задача 6. Графеновый детектор (20 баллов)

Традиционные фотодетекторы формируют только плоское изображение, поскольку весь падающий свет целиком поглощается. Ученые из Мичиганского университета предложили использовать прозрачные фотодетекторы из графена для формирования объемного изображения, о чем они сообщили в журнале Nature Photonics.

На рис. 1 приведена принципиальная оптическая схема эксперимента. Для иллюстрации принципа работы в эксперименте строилось изображение маленького отверстия с помощью собирающей линзы, а несколько графеновых детекторов располагалось вблизи построенного изображения.

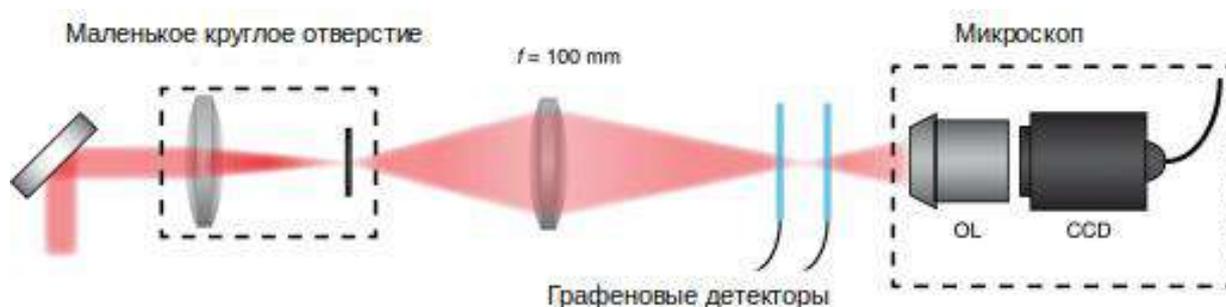


Рисунок 1: Принципиальная схема эксперимента

1. Найдите, на каком расстоянии от линзы получается изображение маленького отверстия, если фокусное расстояние $F = 100$ мм, а расстояние от отверстия до линзы $d = 300$ мм. Линзу считать тонкой. **(3 балла)**
2. Выполните необходимые построения на рис. 2 для графического определения местоположения изображения точечного источника света, расположенного на оптической оси. **(7 баллов)**

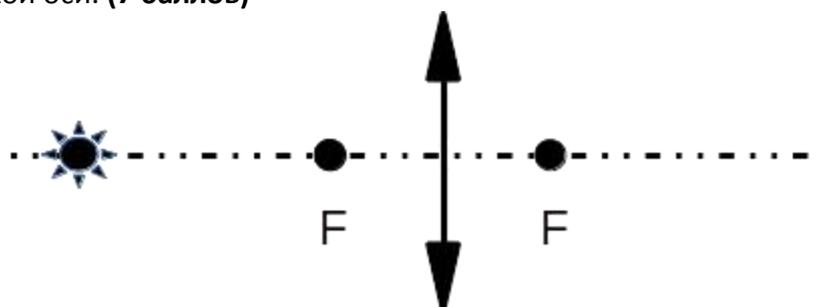


Рисунок 2: К вопросу №2

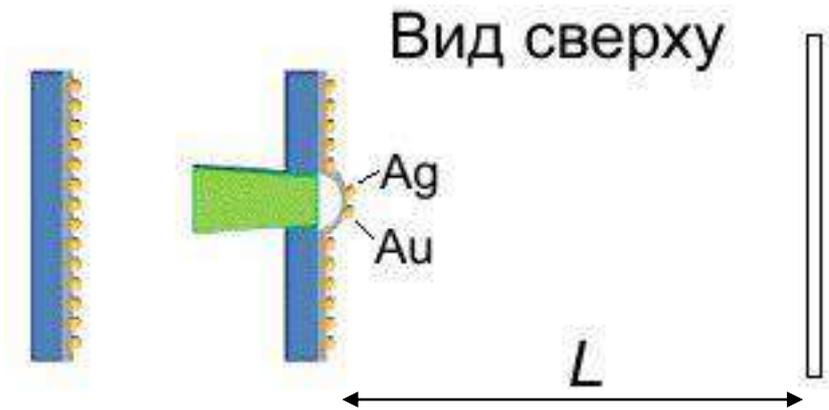
3. Найдите отношение интенсивности света, падающего на 10-й детектор, к интенсивности света, падающего на 1-й детектор, I_{10}/I_1 . Известно, что 1-й детектор расположен на расстоянии $L_1 = 140$ мм от линзы, а 10-й – на расстоянии $L_{10} = 170$ мм. Каждый детектор пропускает 96% всей энергии падающего света. Отражением от детекторов можно пренебречь. **(10 баллов)**

Задача 7. Перенос двух наночастиц (20 баллов)

Как обсуждалось в одной из задач заочного тура, манипуляция отдельными наночастицами является весьма непростой задачей. Так, например, для ее решения может быть использована методика лазерного переноса, которая позволяет переносить отдельные наночастицы из массива в заданное место с высокой точностью.

Суть метода состоит в следующем. На прозрачную подложку наносится тонкая пленка из металла, на которую предварительно осаждается подготовленный для переноса массив наночастиц. Далее металлическая пленка освещается через прозрачную подложку фемтосекундным лазерным импульсом, нагревается и вздувается в результате термического расширения (см. рисунок). Получив достаточную энергию, отдельные наночастицы «стряхиваются» с пленки и переносятся на приемный экран.

В эксперименте по переносу использовались две наночастицы из золота (плотность $\rho_z = 19,32 \text{ г/см}^3$) и серебра (плотность $\rho_c = 10,49 \text{ г/см}^3$) одинакового диаметра 40 нм. Перенос осуществлялся на приемный экран, расположенный на расстоянии $L = 5 \text{ мм}$. Известно, что сила притяжения, удерживающая наночастицы на пленке, одинакова и равна $F_{\text{притяж}} = 3 \text{ пН}$, и что при вздутии пленка движется с ускорением, изменяющимся по закону $a = A \cdot \sin(\omega t)$, где $A = 10^7 \text{ м/с}^2$, $\omega = 2.5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$, а общее время вздутия пленки составило 170 мкс.



1. С какой разницей по времени наночастицы Au и Ag достигнут приемного экрана (начиная с момента действия лазерного импульса), если изначально они обе находились в одной горизонтальной плоскости и в центре действия лазерного луча? **(20 баллов)**

Задача 8. Исследование лепестков ромашки (20 баллов)

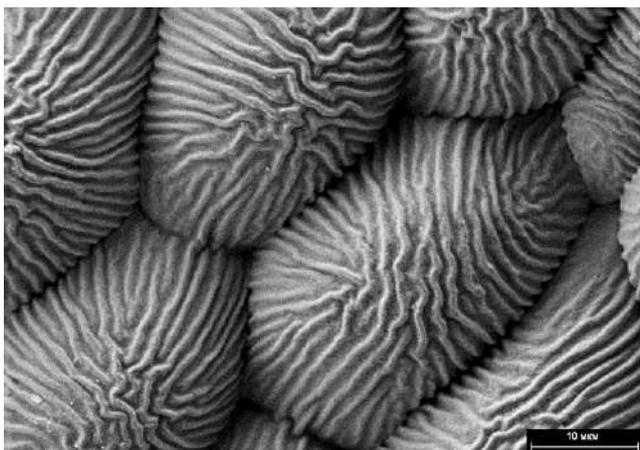


Рис. 1. Микрофотография лепестка ромашки, полученная с помощью растрового электронного микроскопа (увеличение 5000 раз, ускоряющее напряжение 3 кВ). На изображении – растительные клетки

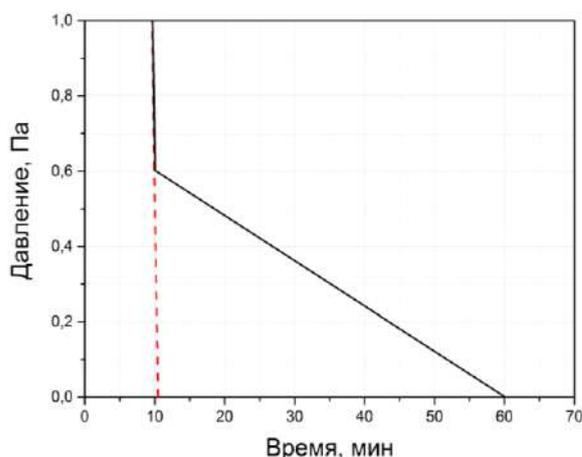


Рис. 2. Зависимость давления в рабочей камере от времени. Пунктирная линия соответствует вакуумированию пустой камеры, а сплошная – этой же камеры, содержащей лепесток ромашки

Растровая электронная микроскопия позволяет визуализировать мельчайшие детали объектов, которые невозможно рассмотреть в оптический микроскоп. Поскольку в этом методе изображение формируется в результате взаимодействия ускоренных электронов с веществом, исследование необходимо проводить в глубоком вакууме, чтобы минимизировать рассеяние электронного пучка. Очевидно, это накладывает некоторые ограничения на применение электронной микроскопии. Например, давление в пустой камере удаётся снизить с 10^5 Па до 0 Па за 10,5 минут. Однако при исследовании лепестка ромашки (рис. 1) полная откачка газов продолжается 60 минут. При этом, в первые 10 минут (до давления 0,6 Па) обе зависимости давления от времени совпадают (рис. 2; изображена только часть графиков, соответствующая низким давлениям).

1. Определите кинетическую энергию электронов, ускоренных напряжением 3 кВ. Оцените температуру электронного газа, обладающего такой энергией. **(6 баллов)**
2. На полученных изображениях растительные клетки выглядят слишком морщинистыми. Какие факторы, обусловленные использованием электронной микроскопии, приводят к такому эффекту? **(4 балла)**
3. Что является причиной расхождения временных зависимостей давления для пустой камеры и камеры, содержащей лепесток ромашки? **(3 балла)**
4. Оцените, насколько изменилась масса лепестка в результате исследования в электронном микроскопе, если объём камеры составляет 10 л, а температура равна 25 °С. Для простоты можно считать, что с 0,6 Па до 0 Па давление снижалось линейно. **(7 баллов)**

Список констант

Постоянная Планка $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с

Скорость света в вакууме $c = 2,998 \cdot 10^8$ м/с

Элементарный заряд $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл

Масса электрона $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31}$ кг

Масса протона $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27}$ кг

Постоянная Больцмана $k = 1,381 \cdot 10^{-23}$ Дж/К

Универсальная газовая постоянная $R = 8,314$ Дж/(моль·К)

Постоянная Авогадро $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹

Ускорение свободного падения $g = 9,81$ м/с²



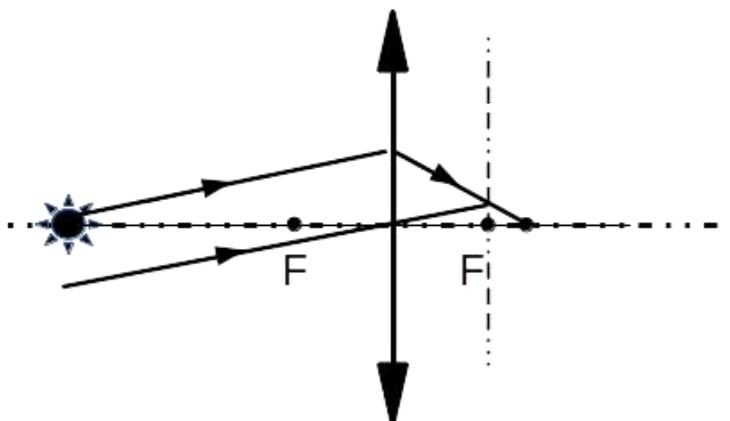
Решение задачи 6. Графеновый детектор (20 баллов)

1.

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$$

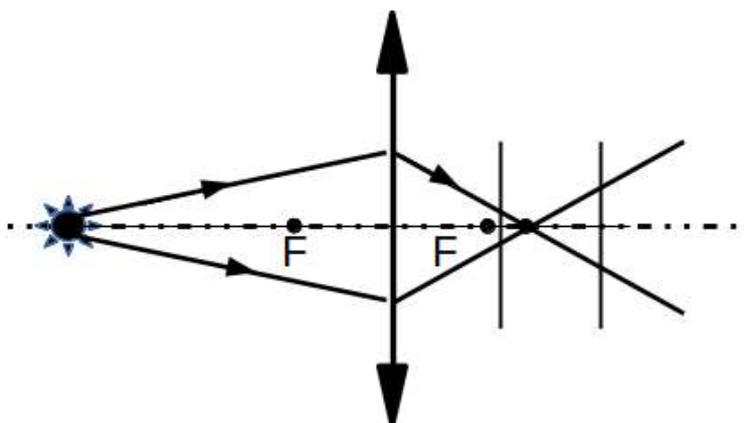
$$f = \frac{Fd}{d - F} = \frac{100 \cdot 300}{300 - 100} = 150 \text{ мм}$$

2. Изображение получится в месте пересечения 2-х лучей, вышедших из источника. Первый идет **вдоль** оптической оси не преломившись, второй пройдя через линзу преломляется и встречается с первым на оптической оси за фокусом. Чтобы найти угол преломления нужно построить вспомогательный луч, идущий параллельно второму. Вспомогательный луч не выходит из источника, и идет через центр линзы не преломившись. Его пересечение с фокальной плоскостью даст вторую точку для построения преломленного второго луча (первая точка на линзе в месте попадания второго луча).



3. Интенсивность — это отношение мощности к площади светового пятна. Интенсивность после прохождения каждого детектора падает в T раз, а отношение радиусов световых пятен найдем из подобия треугольников (см. рис.). На 10-ый детектор падает, пройдя через 9.

$$\frac{I_{10}}{I_1} = \frac{P_0 \cdot T^9 S_1}{S_{10} P_0} = \frac{T^9 R_1^2}{R_{10}^2} = \frac{T^9 (f - l_1)^2}{(l_{10} - f)^2} \approx 0,177$$



Решение задачи 7. Перенос двух наночастиц (20 баллов)

Приравнявая силы инерции и притяжения (сила реакции обращается в ноль), получаем формулу для момента времени отрыва наночастиц после начала действия лазерного импульса:

$$a_0 = \frac{-F_{\text{притяж}}}{m},$$

$$t_0 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{\frac{-F_{\text{притяж}}}{m}}{A},$$

которое составляет $t_0^{Au} \approx 144$ мкс для Au наночастицы и $t_0^{Ag} \approx 167$ мкс для Ag наночастицы.

Общее время переноса будет складываться из времени, необходимого для отрыва, и времени, необходимого для преодоления расстояния до экрана. Чтобы найти последнее, необходимо определить скорость в момент отрыва. Ускорение $a = A \cdot \sin(\omega t)$ является производной скорости, следовательно, скорость зависит от времени по закону:

$$v = \frac{A}{\omega} (1 - \cos(\omega t))$$

Зная моменты времени отрыва наночастиц, можно найти соответствующие скорости в момент отрыва:

$$v_0^{Au} \approx 760 \text{ м/с}$$

$$v_0^{Ag} \approx 600 \text{ м/с}$$

Общее время переноса для каждой из наночастиц:

$$t_{\text{общ}}^{Au} = t_0^{Au} + \frac{L}{v_0^{Au}} \approx 151 \text{ мкс}$$

$$t_{\text{общ}}^{Ag} = t_0^{Ag} + \frac{L}{v_0^{Ag}} \approx 175 \text{ мкс}$$

Откуда искомая разница времен равна: $\Delta t \approx 24$ мкс.

Решение задачи 8. Исследование лепестков ромашки (20 баллов)

1. Кинетическая энергия электрона, ускоренного напряжением 3000 В, равна

$$E_k = qU,$$

где U – ускоряющее напряжение (В). Следовательно,

$$E_k = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 3000 \text{ В} = 4,806 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}.$$

Тепловую энергию электронного газа можно рассчитать по формуле

$$E_h = \frac{3}{2} kT,$$

где k – постоянная Больцмана (Дж/К), T – температура (К).

Тепловая энергия электрона обусловлена его скоростью, то есть равна его кинетической энергии, поэтому

$$T = \frac{2E_k}{3k}$$

$$T = \frac{2 \cdot 4,806 \cdot 10^{-16} \frac{\text{Дж}}{\text{электрон}}}{3 \cdot 1,381 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}} \approx 2,32 \cdot 10^7 \text{ К}$$

2. Во-первых, происходит частичное обезвоживание клеток при вакуумировании рабочей камеры. Во-вторых, происходит частичное разрушение поверхности лепестка под действием высокоэнергетических электронов (термическое разрушение).
3. Поскольку при вакуумировании камеры происходит обезвоживание лепестка, изменение временной зависимости давления связано с наличием водяных паров, которые отсутствуют в пустой камере.
4. Согласно условию задачи, до десятой минуты временные зависимости давления совпадают, следовательно, в течение этого времени откачивается воздух, попавший в камеру при загрузке образца. Далее за 50 минут давление линейно снижается с 0,6 Па до 0 Па вследствие обезвоживания лепестка, то есть давление в камере обусловлено испарением воды из исследуемого лепестка. При таком низком давлении водяной пар можно считать идеальным газом, поэтому его массу, которая численно равна изменению массы лепестка, можно рассчитать по уравнению Менделеева-Клапейрона

$$\Delta p \cdot V = \Delta m \cdot \frac{RT}{M},$$

где Δm – масса пара, то есть изменение массы лепестка (кг), Δp – изменение давления пара (Па), V – объём камеры (м^3), M – молярная масса воды (кг/моль), R – универсальная газовая постоянная ($\text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$), T – температура (К).

Следовательно,

$$\Delta m = \Delta p \cdot \frac{VM}{RT}$$

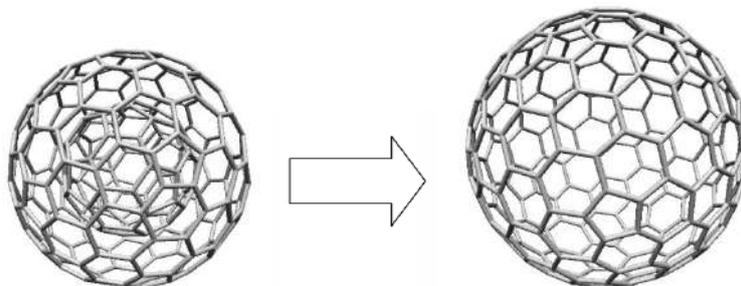
$$\Delta m = (0,6 - 0) \text{ Па} \cdot \frac{10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 0,018 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 298 \text{ К}} \approx 4,36 \cdot 10^{-8} \text{ кг} = 43,6 \text{ мкг}$$

Масса лепестка уменьшилась на 43,6 мкг.



Математика для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)
Сложные задачи

Задача 6. Изомерия фуллереновых матрешек (20 баллов)



Рассмотрим такие высокосимметричные фуллерены (углеродные каркасные молекулы), число атомов в которых можно записать как $N = 20(n^2 + nm + m^2)$, где n и m – некоторые целые неотрицательные числа и $n \geq m$. Условно разделим их на три типа:

тип I – $(n, 0)$, то есть, $m = 0$;	тип II – (n, n) , то есть, $m = n$	тип III – (n, m) , все остальные случаи
--	---	--

Два таких фуллерена, вложенные друг в друга, обозначим как $\{(n_1, m_1), (n_2, m_2)\}$ и назовем фуллереновой матрешкой.

1.
 - 1.1. Докажите, что если матрешка $\{(n_1, 0), (n_2, 0)\}$ имеет изомер¹ в виде фуллерена I типа $(n_3, 0)$, то матрешка $\{(n_1, n_1), (n_2, n_2)\}$ также имеет изомер – в виде фуллерена II типа (n_3, n_3) . **(3 балла)**
 - 1.2. Найдите n_1, n_2 и n_3 , если они образуют арифметическую прогрессию с шагом 1. **(3 балла)**
2.
 - 2.1. Докажите, что для любой матрешки вида $\{(n_1, n_1), (n_2, 0)\}$, где $n_1 \leq n_2$, существует изомерный ей фуллерен (n_3, m_3) , и выведите для него зависимости $n_3(n_1, n_2)$ и $m_3(n_1, n_2)$. **(6 баллов)**
 - 2.2. Как должны соотноситься между собой n_1 и n_2 в матрешке $\{(n_1, n_1), (n_2, 0)\}$, чтобы изомерный ей фуллерен относился: а) к I типу? б) ко II типу? **(2 балла)**
3. Рассмотрим матрешку из трех вложенных друг в друга фуллеренов I типа $\{(n_1, 0), (n_2, 0), (n_3, 0)\}$ и изомерный ей фуллерен I типа $(n_4, 0)$.
 - 3.1. Найдите наименьшие числа, удовлетворяющие условиям $n_2 - n_1 = n_4 - n_3$ и $n_3 = 3n_1$. **(5 баллов)**
 - 3.2. Рассчитайте N для фуллерена $(n_4, 0)$. **(1 балл)**

¹Изомерами называются структуры (как матрешки, так и отдельные фуллерены) с одинаковым числом атомов N , но разными значениями (n, m) .

Задача 7. Поиск углеродных паркетов (20 баллов)

Открытие графена и его уникальных свойств подталкивает ученых к моделированию и поиску иных геометрических форм плоских углеродных материалов. Далее мы будем искать плоские углеродные структуры в виде трехвалентного однородного замощения (далее ТОЗ), то есть, такого заполнения многоугольниками плоскости без пробелов и перекрытий, при котором:

- все многоугольники являются *правильными*,
 - в каждой вершине сходится по три ребра,
 - все вершины имеют одинаковое окружение (*эквивалентны*).
1. Чему равен угол в правильном n -угольнике? Чему равна сумма всех углов при любой вершине ТОЗ? **(2 балла)**
 2. Исходя из п. 1, найдите все комбинации многоугольников, отвечающие ТОЗ из:
 - 1) одинаковых многоугольников; **(2 балла)**
 - 2) двух разных многоугольников. **(5 баллов)**
 3. Могут ли ТОЗ состоять из трех различных многоугольников, у одного из которых нечетное число сторон? **(2 балла)** Исходя из п. 1, найдите все комбинации, отвечающие ТОЗ из
 - 1) трех разных многоугольников. **(4 балла)**
 4. Какая из найденных в п. 2 - 3 комбинаций многоугольников на самом деле не образует ТОЗ? Ответ обоснуйте. **(3 балла)**
 5. Каким из найденных ТОЗ может отвечать структура двумерного углерода, если угол между его ребрами не должен превышать 135° ? **(2 балла)**

Задача 8. Полые металлические дельтаэдры (20 баллов)

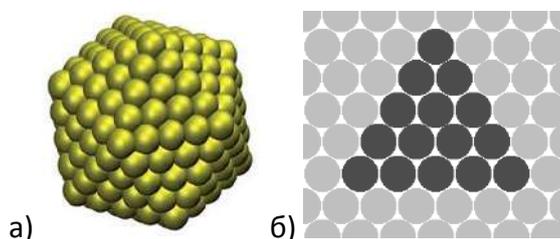


Рис. 1. а) Пример дПМК в форме икосаэдра.

б) Грань дПМК на листе из плотноупакованных атомов металла. Пример для $n = 5$.

В заочном туре вы познакомились с полыми металлическими кластерами, имеющими форму дельтаэдров (дПМК), то есть, многогранников, все грани которых являются правильными треугольниками (рис. 1а), сложенными из плотно касающихся атомов металла (рис. 1б).

Всего существует 8 типов дельтаэдров:

	Дельтаэдр	F		Дельтаэдр	F
1	икосаэдр	20	5	пятиугольная бипирамида	10
2	скручено удлиненная квадратная бипирамида	16	6	октаэдр	8
3	трижды наращённая треугольная призма	14	7	треугольная бипирамида	6
4	плосконосый двуклиноид	12	8	тетраэдр	4

1. Определите в общем виде зависимости количества вершин **V** и ребер **E** от числа граней **F** для дПМК. **(2 балла)**
2. Выведите зависимость общего числа атомов металла **N** в дПМК от **F** и числа атомов **n**, приходящегося на его ребро. **(4 балла)** Сколько атомов металла при этом приходится на одну грань? Рассчитайте **N** для каждого из восьми дПМК при **n = 2**. **(2 балла)**

Известно, что существуют изомерные дПМК, то есть, такие дПМК, для которых справедливо равенство $N_i(x) = N_j(y)$ («разобрав» на атомы дПМК *i*-го типа, можно без остатка собрать из них дПМК *j*-го типа).

3. Докажите, что существует всего одна пара типов изомерных типов дПМК. **(7 баллов)** Чему в этом случае равны *i* и *j*? **(1 балл)** Как связаны между собой *x* и *y*, если $x < y$? **(1 балл)**
4. Сколько атомов в самых маленьких изомерных дПМК? **(2 балла)** Сколько атомов приходится на ребро в каждом из них? **(1 балл)**

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



Математика для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)
Сложные задачи. Решения

Решение задачи 6. Изомерия фуллереновых матрешек (20 баллов)

1.

1.1. Поскольку матрешка изомерна фуллерену, то выполняется следующее условие:

$$20(n_1^2 + n_1 m_1 + m_1^2) + 20(n_2^2 + n_2 m_2 + m_2^2) = 20(n_3^2 + n_3 m_3 + m_3^2)$$

или, подставляя значения индексов для пары «матрешка-фуллерен» I типа, получаем выражение

$$n_1^2 + n_1 \cdot 0 + 0^2 + n_2^2 + n_2 \cdot 0 + 0^2 = n_3^2 + n_3 \cdot 0 + 0^2 \quad (1)$$

$$n_1^2 + n_2^2 = n_3^2.$$

В свою очередь, подставляя значения индексов для пары «матрешка-фуллерен» II типа, получаем выражение:

$$n_1^2 + n_1 n_1 + n_1^2 + n_2^2 + n_2 n_2 + n_2^2 = n_3^2 + n_3 n_3 + n_3^2 \quad (2)$$

$$3n_1^2 + 3n_2^2 = 3n_3^2,$$

которое упрощается до $n_1^2 + n_2^2 = n_3^2$ (3).

Поскольку уравнения (1) и (2) сводятся к единому уравнению (3), то последовательность чисел n_1 , n_2 и n_3 , являющаяся решением уравнения (1), одновременно является решением уравнения (2). То есть, если существует изомерная пара I типа с n_1 , n_2 и n_3 , то, однозначно существует и изомерная пара II типа с теми же параметрами.

1.2. Поскольку n_1 , n_2 и n_3 образуют арифметическую прогрессию с шагом 1, то

$$n_2 = n_1 + 1, \quad n_3 = n_2 + 1 = n_1 + 2.$$

Подставляя данные выражения в уравнение (3), получаем:

$$n_1^2 + (n_1 + 1)^2 = (n_1 + 2)^2$$

$$n_1^2 + n_1^2 + 2n_1 + 1 = n_1^2 + 4n_1 + 4$$

$$n_1^2 - 2n_1 - 3 = 0 \quad (4).$$

Решая квадратное уравнение (4), получаем два корня:

$$n_1 = 3 \text{ и } n_1 = -1 \text{ (не является натуральным числом).}$$

Следовательно,

$$n_1 = 3, \quad n_2 = 3 + 1 = 4 \text{ и } n_3 = 3 + 2 = 5.$$

Числа {3, 4, 5} носят название «Пифагорова тройка» и являются самым простым решением уравнения (3).

2.

2.1. Допустим, удовлетворяющая условию тройка фуллеренов существует. Это значит, что уравнение

$$3n_1^2 + n_2^2 = n_3^2 + n_3 m_3 + m_3^2 \quad (5)$$

имеет целочисленные решения (n_3, m_3) . Докажем это.

Поскольку, по условию, $n_1 \leq n_2$, то выразим второй параметр через первый как

$$n_2 = n_1 + a,$$

и подставим это в уравнение (5):

$$3n_1^2 + (n_1 + a)^2 = n_3^2 + n_3 m_3 + m_3^2$$

Преобразуем:

$$\begin{aligned} 3n_1^2 + n_1^2 + 2an_1 + a^2 &= n_3^2 + n_3 m_3 + m_3^2 \\ 4n_1^2 + 2an_1 + a^2 &= n_3^2 + n_3 m_3 + m_3^2 \\ (2n_1)^2 + (2n_1)a + a^2 &= n_3^2 + n_3 m_3 + m_3^2 \quad (6) \end{aligned}$$

Поскольку $n \geq m$, то из (6) следует, что

$$n_3 = 2n_1 \text{ и } m_3 = a = n_2 - n_1.$$

То есть, для любой матрешки $\{(n_1, n_1), (n_2, 0)\}$, где $n_1 \leq n_2$, существует фуллерен $(2n_1, n_2 - n_1)$, изомерный этой матрешке, что и требовалось доказать.

2.2. а) Поскольку изомерный матрешке $\{(n_1, n_1), (n_2, 0)\}$ фуллерен относится к I типу, то для него

$$\begin{aligned} m_3 &= 0, \\ \text{а, следовательно, } n_2 - n_1 &= 0, \\ \text{то есть, } n_2 &= n_1. \end{aligned}$$

Таким образом, матрешке $\{(n_1, n_1), (n_1, 0)\}$ изомерен фуллерен I типа $(2n_1, 0)$.

б) Поскольку изомерный матрешке $\{(n_1, n_1), (n_2, 0)\}$ фуллерен относится ко II типу, то для него

$$\begin{aligned} n_3 &= m_3, \\ \text{а, значит, } 2n_1 &= n_2 - n_1, \\ \text{и, следовательно, } n_2 &= 3n_1. \end{aligned}$$

Таким образом, матрешке $\{(n_1, n_1), (3n_1, 0)\}$ изомерен фуллерен II типа $(2n_1, 2n_1)$.

3.

3.1. Запишем равенство, следующее из изомерии тройной матрешки и фуллерена:

$$20(n_1^2 + n_1 m_1 + m_1^2) + 20(n_2^2 + n_2 m_2 + m_2^2) + 20(n_3^2 + n_3 m_3 + m_3^2) = 20(n_4^2 + n_4 m_4 + m_4^2) \quad (7)$$

Поскольку все четыре фуллерена относятся к I типу, полученное уравнение упрощается до:

$$n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 = n_4^2. \quad (8)$$

Обозначим $n_1 = n$ и $n_2 - n_1 = n_4 - n_3 = a$ и, учитывая условие, $n_3 = 3n_1$, подставим в уравнение (8) выражения для n_1, n_2, n_3 и n_4 :

$$n^2 + (n + a)^2 + (3n)^2 = (3n + a)^2$$

$$n^2 + n^2 + 2na + a^2 + 9n^2 = 9n^2 + 6an + a^2$$

$$2n^2 + 2na - 6an = 0$$

$$n^2 - 2an = 0$$

$$(n - 2a)n = 0$$

$$n = 2a$$

Наименьшие значения n_1, n_2, n_3 и n_4 , удовлетворяющие описанным условиям, отвечают $a = 1$:

$$n_1 = n = 2a = 2,$$

$$n_2 = n_1 + a = 3,$$

$$n_3 = 3n_1 = 6,$$

$$n_4 = n_3 + a = 7$$

(матрешка $\{(2, 0), (3, 0), (6, 0)\}$ и фуллерен $(7, 0)$).

3.2. Число атомов в фуллерене $N(7, 0) = 20 \cdot 7^2 = 980$.

Решение задачи 7. Поиск углеродных паркетов (20 баллов)

1. Угол в правильном n -угольнике ($n \geq 3$) составляет $180^\circ \cdot (n - 2)/n$.

Сумма углов всех многоугольников, сходящихся в вершине правильного паркета, равна

$$\sum 180^\circ \cdot x_i(n_i - 2)/n_i = 360^\circ,$$

где i – тип многоугольника,

x – число многоугольников одного типа,

n – число углов многоугольника этого типа.

2.

1) Если все многоугольники однотипны, то

$$180^\circ \cdot x(n - 2)/n = 360^\circ,$$

$$x(n - 2)/n = 2,$$

$$n = 2x/(x - 2),$$

$$x = 3 \text{ и } n = 6.$$

Таким образом, ТОЗ отвечает набору 6-6-6.

- 2) Если два многоугольника относятся к одному типу, а третий – к другому (то есть, ТОЗ формируют два типа многоугольников), то:

$$\begin{aligned} (n_1 - 2)/n_1 + 2(n_2 - 2)/n_2 &= 2 \\ 2(n_2 - 2)/n_2 &= 2 - (n_1 - 2)/n_1 \\ n_2 - 2 &= n_2(n_1 + 2)/(2n_1) \\ n_2 &= 4n_1/(n_1 - 2) \end{aligned}$$

По очереди подставляя все возможные значения n_1 в полученное уравнение, получаем следующие значения для n_2 :

n_1	3	4	5	6	7	8	9	10	11
n_2	<u>12</u>	<u>8</u>	20/3	<u>6</u>	28/5	32/6	36/7	<u>5</u>	44/9

При $n_1 > 10$ все значения n_2 – дробные.

То есть, получаем четыре набора, отвечающие ТОЗ:

3-12-12, 4-8-8, ранее полученный 6-6-6 и 10-5-5.

3. Пусть существует такой ТОЗ, в котором в одной вершине сходятся три разных многоугольника, один из которых имеет нечетное число ребер. Поместим этот многоугольник в центр и начнем по его периметру размещать поочередно оставшиеся два типа многоугольников. В итоге у нас окажутся рядом два многоугольника одного типа, что противоречит условию правильности ТОЗ – окружение всех вершин должно быть эквивалентно.

- 1) Если все три многоугольника относятся к разным типам, то:

$$\begin{aligned} (n_1 - 2)/n_1 + (n_2 - 2)/n_2 + (n_3 - 2)/n_3 &= 2 \\ 1 - 2/n_1 + 1 - 2/n_2 + 1 - 2/n_3 &= 2 \\ 1/n_1 + 1/n_2 + 1/n_3 &= 1/2 \end{aligned}$$

Следовательно, мы можем произвести замену:

$$\begin{aligned} 1/2(k_1) + 1/(2k_2) + 1/(2k_3) &= 1/2 \\ 1/k_1 + 1/k_2 + 1/k_3 &= 1 \\ \text{Пусть } k_1 < k_2 < k_3, \text{ тогда} \\ 1/k_1 + 1/k_2 + 1/k_3 &< 3/k_1 \\ 1 < 3/k_1, k_1 < 3. \end{aligned}$$

Поскольку наименьшим правильным многоугольником с четным числом ребер является квадрат, то $k_1 \geq 2$.

Следовательно, $k_1 = 2$ и $n_1 = 4$.

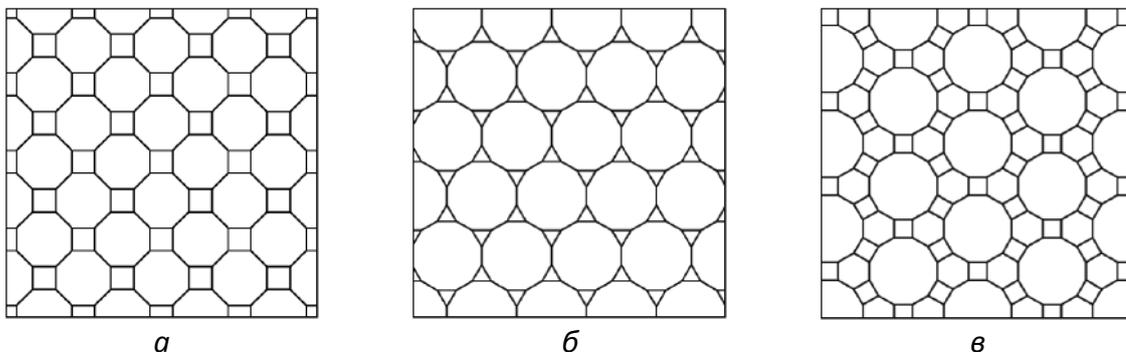
$$\begin{aligned} \text{Тогда } 1/k_2 + 1/k_3 &= 1/2 \\ 1/k_2 + 1/k_3 &< 2/k_2 \\ 1/2 < 2/k_2, k_2 < 4. \end{aligned}$$

Поскольку $k_2 > k_1 = 2$ и $k_2 < 4$, то $k_2 = 3$ и $n_2 = 6$.

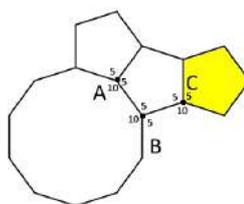
Тогда $1/k_3 = 1/6$, $k_3 = 6$ и $n_3 = 12$.

Таким образом, ТОЗ отвечает набор 4-6-12.

4. Набор 6-6-6 – в одной вершине сходятся три правильных шестиугольника (например, структура графена).



Здесь: а — набор 4-8-8 (октаграфен), б — набор 3-12-12, в — набор 4-6-12.



В свою очередь, набор 10-5-5 ТОЗ не образует. В этом можно убедиться (см. рис.), если «достроить» окружение первой вершины (А) еще одним пятиугольником (желтого цвета, как откружение вершины С). При такой «достройке» один из углов при вершине В, структурно должен принадлежать десятиугольнику, но, по принципу эквивалентности вершин, является углом правильного пятиугольника.

5. Поскольку угол 135° – это угол в правильном восьмиугольнике ($180^\circ \cdot 6/8$), то данному условию отвечают наборы 6-6-6 и 4-8-8 (графен и октаграфен).

Решение задачи 8. Полые металлические дельтаэдры (20 баллов)

1. Общее число ребер в произвольном дПМК, имеющем F треугольных граней, составляет

$$E = 3 \cdot F / 2 = 1,5F$$

(каждая грань имеет три ребра, каждое ребро принадлежит двум граням одновременно).

По теореме Эйлера:

$$V - 1,5F + F = 2,$$

следовательно, общее число вершин в дПМК

$$V = 0,5F + 2.$$

2. Общее число атомов в дПМК равно:

- числу атомов на F треугольных гранях (по $n(n+1)/2$ на каждой)
- минус число «повторных» атомов в $1,5F$ ребрах (по n на каждое)
- плюс число атомов в $0,5F + 2$ вершинах (не зависит от n).

То есть,

$$N(n) = F \cdot n(n+1)/2 - 1,5F \cdot n + 0,5F + 2 = 0,5F \cdot n^2 - F \cdot n + 0,5F + 2.$$

	Дельтаэдр	F	V = 0,5F+2	E = 1,5F	N(n) = 0,5Fn ² -Fn+0,5F+2	N(2)
1	икосаэдр	20	12	30	$10n^2 - 20n + 12$	12
2	скручено удлиненная квадратная бипирамида	16	10	24	$8n^2 - 16n + 10$	10
3	трижды наращённая треугольная призма	14	9	21	$7n^2 - 14n + 9$	9
4	плосконосый двуклиноид	12	8	18	$6n^2 - 12n + 8$	8
5	пятиугольная бипирамида	10	7	15	$5n^2 - 10n + 7$	7
6	октаэдр	8	6	12	$4n^2 - 8n + 6$	6
7	треугольная бипирамида	6	5	9	$3n^2 - 6n + 5$	5
8	тетраэдр	4	4	6	$2n^2 - 4n + 4$	4

Число атомов в дПМК, на ребро которого приходится два атома, равно числу вершин этого дПМК: $N_i(2) = 0,5F + 2 = V_i$.

3. Подставим в условие $N_i(x) = N_j(y)$ формулы для $N(n)$ и упростим полученное выражение:

$$\begin{aligned} 0,5F_i \cdot x^2 - F_i \cdot x + 0,5F_i + 2 &= 0,5F_j \cdot y^2 - F_j \cdot y + 0,5F_j + 2 \\ F_i \cdot x^2 - 2F_i \cdot x + F_i &= F_j \cdot y^2 - 2F_j \cdot y + F_j \\ F_i(x-1)^2 &= F_j(y-1)^2 \quad (1) \end{aligned}$$

Условие $N_i(x) = N_j(y)$ выполняется в целых числах тогда и только тогда, когда

$$\sqrt{F_i/F_j} \in \mathbb{N}.$$

Заметим, что, так как $x < y$, то $F_i > F_j$.

Запишем все возможные варианты значения соотношения F_i/F_j :

i/j	2	3	4	5	6	7	8
1	$20/16 = 1,25$	$20/14 \approx 1,4$	$20/12 \approx 1,7$	$20/10 = 2$	$20/8 = 2,5$	$20/6 \approx 3,3$	$20/4 = 5$
<u>2</u>		$16/14 \approx 1,1$	$16/12 \approx 1,3$	$16/10 = 1,6$	$16/8 = 2$	$16/6 \approx 2,7$	<u>$16/4 = 2^2$</u>
3			$14/12 \approx 1,2$	$14/10 = 1,4$	$14/8 = 1,75$	$14/6 \approx 2,3$	$14/4 = 3,5$
4				$12/10 = 1,2$	$12/8 = 1,5$	$12/6 = 2$	$12/4 = 3$
5					$10/8 = 1,25$	$10/6 \approx 1,7$	$10/4 = 2,5$
6						$8/6 \approx 1,3$	$8/4 = 2$
7							$6/4 = 1,5$

То есть, полученному условию удовлетворяет всего одна пара типов: ($i = 2$) скручено удлиненная квадратная бипирамида и ($j = 8$) тетраэдр.

Чтобы найти $y(x)$, подставим значения F_2 и F_8 в полученное ранее уравнение (1):

$$F_2(x - 1)^2 = F_8(y - 1)^2$$

$$16(x - 1)^2 = 4(y - 1)^2$$

$$4(x - 1)^2 = (y - 1)^2$$

$$2x - 2 = y - 1$$

$$y = 2x - 1$$

4. Так как $x < y$, а самым маленьким является дельтаэдр, на ребро которого приходится 2 атома металла, то самая маленькая пара изомеров это:

- скручено удлиненная четырехугольная (квадратная) бипирамида, на ребро которой приходится 2 атома металла ($N_2(2) = 10$),
- и тетраэдр, на ребро которого приходится $y = 2 \cdot 2 - 1 = 3$ атома.



Задача 6. На далеком острове (20 баллов)

система крови АВ у кошек

группа крови		генотип аллель/аллель	антиген <i>a</i> ▼ антиген <i>b</i> ▽
A		A/A A/AB A/B	A доминантен по отношению к АВ и В АВ доминантна по отношению к В AB ≠ A/B !
AB очень редкая		AB/AB AB/B	
B		B/B	

На заочном туре вы уже встречались с системами групп крови у кошек. Данная задача посвящена наиболее изученной у кошек системе крови АВ. Напомним, что она отличается от наиболее распространенной человеческой с почти таким же названием. В этой системе есть три группы крови, содержащие аллели А, В и АВ, которые кодируются в одном гене. Особенности взаимодействия аллелей между собой приведены на рисунке.

На одном относительно небольшом острове процветала достаточно большая изолированная популяция одичавших кошек. Было установлено (после взятия крови у большого количества кошек, составивших достоверную выборку), что на острове обитают кошки, имеющие все три группы крови А, АВ и В (81, 9 и 10 %, соответственно). Любопытно, что в популяции кошек, обитавшей на участке материка, наиболее близко расположенном к острову, наблюдалось только две группы крови – А и В (75 и 25%, соответственно).

1. Оцените частоту аллелей в популяциях кошек на острове (**10 баллов**) и материке (**5 баллов**). (всего **15 баллов**)
2. Как вы думаете, почему соотношение групп крови на острове и материке различается? (**5 баллов**)

Задача 7. ПЦР для тигрокрыса (20 баллов)

Космобиолог профессор Селезнев обнаружил на Третьей планете новый вид тигрокрысов. Для того, чтобы установить его родство с известными видами тигрокрысов, он собрался провести анализ ДНК, для чего ему необходимо сначала амплифицировать (увеличить количество) взятую у тигрокрыса ДНК.

Описание методики, используемой для амплификации ДНК.

Для расшифровки неизвестной последовательности ДНК необходимо, чтобы исследуемого фрагмента было достаточно много. Если его недостаточно, то обычно поступают так: к малому количеству исследуемой ДНК добавляют нуклеотиды, которые необходимы для синтеза комплементарных цепей, фермент ДНК-полимеразу, устойчивую к высоким температурам, праймер — короткую последовательность (олигонуклеотид), комплементарную началу интересующего нас участка ДНК.

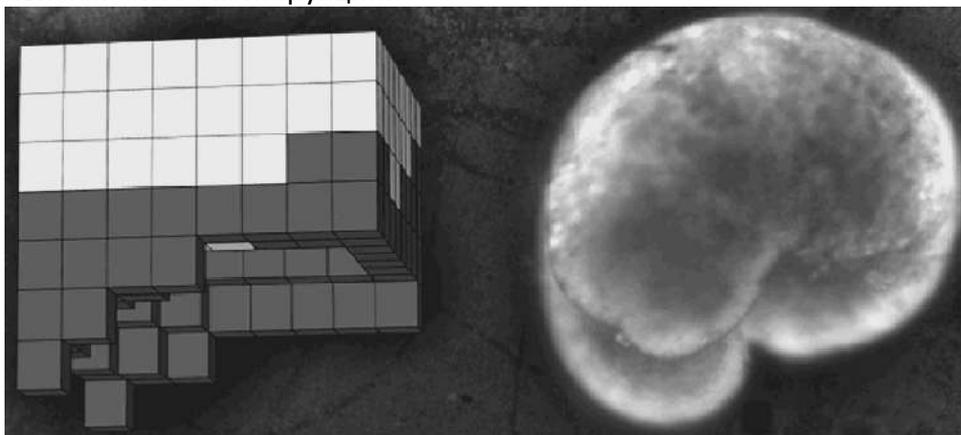
Праймеры бывают разные — они комплементарны разным последовательностям ДНК матрицы, у них разная температура отжига (температура, при которой они присоединяются к ДНК-матрице). В нашем задании мы взяли 2 праймера, имеющих температуру отжига 68 °С, которые комплементарны начальным участкам на одной и второй нитях ДНК соответственно. С праймером связывается ДНК-полимераза, чтобы начать репликацию. К нему последовательно присоединяются нуклеотиды, из которых строится синтезируемая нить ДНК, включающая сам праймер.

После добавления всех компонентов температуру реакционной смеси увеличивают до 95 °С, ДНК распадается на 2 отдельные нити. Затем температуру понижают до 68 °С, и с отдельными нитями ДНК связываются праймеры. После этого присоединяется ДНК-полимераза и достраивает к праймеру из свободных нуклеотидов комплементарную цепь на обеих цепях исходной ДНК. Затем цикл повторяют: повышают температуру, ДНК распадается на отдельные нити, понижают температуру, связываются праймеры, синтезируются новые комплементарные цепи ДНК. Так делают до тех пор, пока не синтезируется необходимое количество двухцепочечных молекул ДНК.

1. Описанная реакция сокращенно называется ПЦР. Расшифруйте это название. **(1 балл)**
 - а. Первичная циклическая развертка
 - б. Полимеразная цепная реакция
 - в. Полифазный циклический реактор
 - г. Поворот центральной рамки
2. Для чего в начале цикла ПЦР повышают температуру реакционной смеси? **(3 балла)**
 - а. Для того, чтобы реакция шла быстрее
 - б. Для того, чтобы праймер распался на отдельные нуклеотиды
 - в. Для того, чтобы ДНК денатурировала, распалась на 2 отдельные цепочки
 - г. Для того, чтобы праймер присоединился к двухцепочечной молекуле ДНК
3. У профессора Селезнева есть все необходимое оборудование и компоненты — нуклеотиды, праймеры, ДНК-полимераза. Количество исходного образца ДНК тигрокрыса составляет 1 нмоль. Сколько циклов реакции ПЦР нужно провести, чтобы получить 250 нмоль ДНК? **(8 баллов)**
4. У профессора Селезнева в его экспедиционной лаборатории осталось только по 150 нмоль каждого из 2 праймеров. Хватит ли этого, чтобы получить 250 нмоль ДНК? Объясните. **(8 баллов)**

Задача 8. Ксенобот (20 баллов)

В 2019 году учеными был создан совершенно новый тип «живого робота» – Ксенобот. Это организм, сконструированный из стволовых клеток лягушки, размером около 700 мкм, способный самостоятельно передвигаться и даже восстанавливаться после повреждений. Из стволовых клеток вырастили клеточные культуры эпителиальных клеток и кардиомиоцитов, а потом собрали несколько сотен клеток по заранее смоделированному при помощи суперкомпьютера плану. В результате Ксенобот может передвигаться – по прямой или кругами, в зависимости от конструкции.



На рисунке – план строения и внешний вид Ксенобота. Светлым показаны эпителиальные клетки, темным – кардиомиоциты.

Эпителиальные клетки поддерживают структуру Ксенобота, кардиомиоциты – обеспечивают движение.

1. Из каких компонентов должна состоять среда обитания Ксенобота, чтобы он мог функционировать, передвигаться в пространстве? Постарайтесь описать состав среды как можно более полно, напишите, для чего необходим ксеноботу каждый из компонентов. Оценка зависит от степени детализации и обоснованности ответа. **(4 балла)**
2. В качестве эксперимента для сборки Ксенобота использовали модифицированные кардиомиоциты, в которых отсутствуют:
 - А. миоглобин
 - Б. миозин
 - В. белки кальциевых каналовКаковы функции этих белков в кардиомиоцитах? Как повлияет на движение Ксенобота отсутствие каждого из этих белков? (За максимально полные ответы относительно каждого белка – по 4 балла.) **(12 баллов)**
3. Почему для создания Ксенобота ученые использовали именно кардиомиоциты, а не скелетные мышечные клетки? Оценка зависит от степени детализации и обоснованности ответа. **(4 балла)**



Биология для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)
Сложные задачи. Решения

Решение задачи 6. На далеком острове (20 баллов)

1. Легче оценить частоту аллелей в популяции живущей на материке. **(5 баллов)** Там обнаружили только две группы крови А (с генотипами АА и АВ) и В (с генотипом ВВ). Согласно закону Харди-Вайнберга:

$$P_A^2 + 2 P_A P_B + P_B^2 = 1, \text{ а } P_A + P_B = 1,$$

где P_A – частота встречаемости аллели А; P_B - частота встречаемости аллели В.

P_B^2 – доля гомозигот (ВВ), соответствует доли кошек в популяции с группой крови В (0,25). Откуда частота встречаемости аллеля В, P_B , составляет 0,5 (50%). Зная P_B , можно рассчитать P_A . $P_A = 1 - P_B = 0,5$ или 50%.

Также можно пойти более сложным путем и, зная величину P_B , рассчитать величину P_A из квадратного уравнения $P_A^2 + 2 P_A P_B + P_B^2 = 1$.

На острове (**правильный ответ – 10 баллов**) обнаружено в популяции кошек обнаружены три аллельных гена, кодирующие эту систему крови: А, В и АВ. Закон Харди-Вайнберга также распространяется и на такую ситуацию. В этом случае закон Харди-Вайнберга выглядит так:

$$P_A^2 + P_{AB}^2 + P_B^2 + 2 P_A P_B + 2 P_A P_{AB} + 2 P_{AB} P_B = 1, \text{ а } P_A + P_{AB} + P_B = 1.$$

Также эту формулу можно вывести из возможных сочетаний гамет в популяции:

	А	АВ	В
А	АА	ААВ	АВ
АВ	ААВ	АВАВ	АВВ
В	АВ	АВВ	ВВ

Далее рассчитываем также, как и в случае популяции на материке:

$$P_B^2 = 0,1, \text{ соответственно } P_B \approx 0,32.$$

Группа крови АВ проявляется в случае наличия генотипов АВАВ и АВВ, соответственно:

$$P_{AB}^2 + 2 P_{AB} P_B = 0,09.$$

Подставим значение P_B и решим квадратное уравнение. Дискриминант уравнения вида $ax^2 + vx + c$, равен $D = v^2 - 4ac$, а x в таком случае равен:

$$x_1 = \frac{-b+\sqrt{D}}{2a} \text{ и } x_2 = \frac{-b-\sqrt{D}}{2a} \text{ (} x_2 \text{ в этой ситуации меньше нуля и нами не рассматривается).}$$

$$P_{AB} \approx 0,12.$$

$$\text{Рассчитаем } P_A \text{ как } P_A = 1 - P_{AB} - P_B \quad P_A \approx 0,56.$$

2. Что касается различий между популяциями. Из представленных данных нет оснований утверждать, что кошки на острове - это потомки популяции с материка. Возможно, они оказались на острове каким-то другим путем. Соответственно, у них может быть изначально различный генофонд. Отличия в генофонде различных популяций могут быть обусловлены, как вы знаете, разными факторами, например, дрейфом генов. Засчитываются разные варианты ответов при условии их обоснованности. Наличие такого фактора, как дрейф генов, в ответе ожидается. **(5 баллов)**

Решение задачи 7. ПЦР для тигрокрыса (20 баллов)

1. б. полимеразная цепная реакция. **(1 балл)**
2. в. для того, чтобы ДНК денатурировала, распалась на 2 отдельные цепочки. **(3 балла)**
3. Исходное количество двухцепочечной ДНК 1 нмоль, в первом цикле ПЦР образует 2 нмоль ДНК, во втором — 4, и т. д., количество ДНК= 2^n , где n — число циклов. Для того, чтобы синтезировать 250 нмоль ДНК нужно 8 циклов, т. к. за 7 циклов синтезируется только 128 нмоль. **(8 баллов)**
4. Праймер в ходе реакции расходуется, в 1 цикле будет израсходовано по 1 нмоль каждого праймера, во 2 — еще по 2 и т. д.
 $1+2+4+8+16+32+64+128=255$ — столько каждого праймера нужно для прохождения всех 8 циклов. Ответ — праймеров не хватит. **(8 баллов)**

Решение задачи 8. Ксенобот (20 баллов)

1. Среда должна быть жидкой, желательна изотоническая, содержать кислород для дыхания (в эпителиальных клетках и кардиомиоцитах есть митохондрии), ионы натрия, кальция для генерации возбуждения и мышечного сокращения (и остальные ионы для поддержания ионного баланса), питательные вещества (глюкозу). **(4 балла в зависимости от детализации ответа)**
2. А. Миоглобин выполняет функцию запасания кислорода, обеспечивает мышцы кислородом при гипоксии (недостаточном кровоснабжении, интенсивной работе). В данном случае его отсутствие не должно играть существенной роли, т.к. обеспечение кислородом происходит за счет диффузии, Ксенобот достаточно маленький, во внешней среде как правило содержится достаточно растворенного кислорода. Движение не изменится.

Б. Миозин — белок, обеспечивающий сокращение мышц. При его отсутствии сокращение невозможно, Ксенобот не будет двигаться

В. Кальциевые каналы — в кардиомиоцитах имеется несколько типов каналов, кальций играет важную роль как в генерации ПД и явлении автоматии, обеспечивает медленную деполяризацию, так и в самом акте мышечного сокращения. Не будет деполяризации, не будет сокращения волокон, двигаться не будет.
(по 4 балла за каждый подпункт)

3. Кардиомиоциты использовали из-за наличия у них явления автоматии – генерации ПД и сокращения без внешнего раздражителя. В случае автономного организма это важно, т.к. нет внешней иннервации. **(4 балла в зависимости от детализации ответа)**



Заключительный этап. Тур второй

Комплекс предметов

Категория участников: школьники 7-11 классов

Задания заключительного этапа XIV Всероссийской Интернет-Олимпиады "Нанотехнологии - прорыв в будущее!" по комплексу предметов "химия, физика, математика, биология" в дистанционном формате. Тур первый, сложные задачи.

На **втором туре** будет предложено 20 простых задач по 4 предметам, каждая оценивается в 10 баллов. Можно решать любые из них, но в общий зачет пойдут результаты только за **ТРИ задачи с наибольшими баллами ПО КАЖДОМУ ПРЕДМЕТУ**. Максимальная сумма баллов за тур — **120 баллов**.

При обнаружении **идентичных решений** оценка будет обнуляться. Деления баллов на количество списавших авторов не предусмотрено.

[Даты и порядок проведения заключительного этапа](#)

[Расписание этапа](#)

Задания

- 1. Химия. Простые задачи**
- 2. Физика. Простые задачи**
- 3. Математика. Простые задачи**
- 4. Биология. Простые задачи**



Химия для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап) Простые задачи

Задача 1. Фуллерид меди (10 баллов)

При сильном нагревании фуллеритовых пленок с медью в вакууме образуется соединение состава Cu_xC_{60} . При его прокаливании в атмосфере фтора масса твердого вещества уменьшается в 4.36 раза.

1. Напишите уравнение реакции с фтором в общем виде. (4 балла)
2. Найдите x (с точностью до десятых). В расчетах примите $A_r(Cu) = 63.5$, $A_r(C) = 12.0$. (6 баллов)

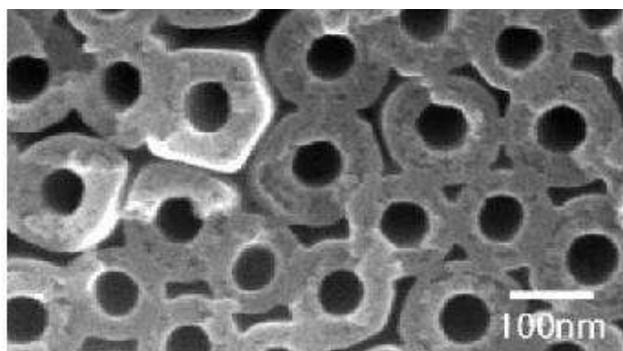
Задача 2. Синтез нанопорошка (10 баллов)

Нанопорошок кобальта получили длительным нагреванием безводной соли **X** при 200 °С. Другой продукт реакции – эквимольная смесь трех газов (при температуре реакции), которая тяжелее водорода в 15 раз. Два газа из этой смеси легче воздуха, а третий – тяжелее. Все три газа образуются при сгорании автомобильного топлива.

1. Установите качественный и количественный состав газовой смеси и найдите формулу **X**. Ответ подтвердите расчетом. Как называется **X** (8 баллов)
2. Напишите уравнение разложения **X**. (2 балла)

Задача 3. Неорганические нанотрубки (10 баллов)

На фотографии изображены нанотрубки неорганического соединения **Z**, состоящего из четырехвалентного металла и неметалла. Такая трубка весит в 2.222 раза больше, чем углеродная нанотрубка, содержащая столько же атомов.



1. Определите формулу **Z**. Подтвердите расчетом. (5 баллов)
2. Оцените средний диаметр нанотрубок. (1 балл)
3. Предложите два принципиально разных способа получения соединения **Z** (не обязательно в виде нанотрубок). (4 балла)

Задача 4. Растворение оксида (10 баллов)

Анодный оксид алюминия является перспективным мембранным материалом, имеющим цилиндрические поры. Однако оксидная плёнка, формируемая в процессе синтеза, всегда имеет плотный барьерный слой, блокирующий поры с одной стороны. В связи с этим, для создания плёнки со сквозными порами предложена методика удаления барьерного слоя в растворе кислоты, взятой в большом избытке.

1. Определите толщину барьерного слоя, если после его полного удаления концентрация ионов алюминия в растворе кислоты составила $1.4 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Объём раствора 20.0 мл, площадь оксидной плёнки 1.0 см^2 , плотность оксида алюминия 3.6 г/см^3 . Толщину барьерного слоя можно считать одинаковой по всей площади оксидной плёнки. **(7 баллов)**
2. Какую (или какие) из предложенных кислот можно использовать для удаления барьерного слоя из оксида алюминия: фосфорную, кремниевую или соляную? Ответ обоснуйте, напишите уравнения реакций. **(3 балла)**

Задача 5. Металлические наночастицы (10 баллов)

Соединение **A** массой 1.00 г восстановили избытком цитрата натрия. При этом получили 0.58 г шарообразных наночастиц металла **X** диаметром 15.0 нм.

1. Определите металл **X**, если суммарная площадь поверхности синтезированных наночастиц равна 12.0 м^2 . Ответ подтвердите расчётом. **(4 балла)**

	Плотность различных металлов						
Металл	Ti	Zr	Mn	Cu	Ag	Au	Os
Плотность, кг/м ³	4540	6510	7210	8920	10500	19320	22600

2. Определите состав соединения **A**, если известно, что раствор, оставшийся после извлечения наночастиц, образует белый творожистый осадок с раствором нитрата серебра. Ответ подтвердите расчётом. **(3 балла)**
3. Напишите уравнения реакций восстановления соединения **A** и образования белого осадка. **(3 балла)**



Химия для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)
Простые задачи. Решения

Решение задачи 1. Фуллерид меди (10 баллов)



2. $M(\text{Cu}_x\text{C}_{60}) / (xM(\text{CuF}_2)) = 4.36$
 $(63.5x + 720) / (101.5x) = 4.36$
 $x = 1.9$

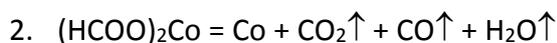
Ответ. $\text{Cu}_{1.9}\text{C}_{60}$.

Решение задачи 2. Синтез нанопорошка (10 баллов)

1. Газы – CO_2 , CO , H_2O . (2 балла)

Проверка: $M_{\text{ср}} = (44 + 28 + 18) / 3 = 30$ г/моль, $D_{\text{H}_2}(\text{смеси}) = 30 / 2 = 15$. (3 балла)

Соль X – $(\text{HCOO})_2\text{Co}$, формиат кобальта. (формула – 2 балла, название – 1 балл)



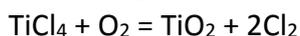
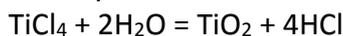
Ответ. $(\text{HCOO})_2\text{Co}$.

Решение задачи 3. Неорганические нанотрубки (10 баллов)

1. Наиболее вероятно, неметалл – двухвалентный, тогда его простейшая формулу XY_2 , где X – металл, Y – неметалл. Молярная масса в 2.222 раза превосходит утроенную молярную массу углерода: $M(\text{XY}_2) = 2.222 \cdot 3M(\text{C}) = 80$ г/моль. Такой формуле и молярной массе соответствует диоксид титана TiO_2 .

2. Из рисунка видно, что средний диаметр трубок немного превышает отрезок 100 нм, т.е. составляет 100-150 нм.

3. Способы получения TiO_2 :



(по 2 балла за уравнение, принимается любая разумная реакция образования TiO_2).

Ответ. TiO_2 .

Решение задачи 4. Растворение оксида (10 баллов)

1. С одной стороны, масса растворённого оксида алюминия равна

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \rho V = \rho S h,$$

где V – объём растворённого оксида алюминия, ρ – его плотность, h – толщина барьерного слоя, S – площадь оксидной плёнки. С другой стороны, масса алюминия в растворе равна

$$C_{\text{Al}^{3+}} = \frac{v_{\text{Al}^{3+}}}{V_p} = \frac{m_{\text{Al}^{3+}}}{M_{\text{Al}} V_p}$$

$$m_{\text{Al}^{3+}} = C_{\text{Al}^{3+}} M_{\text{Al}} V_p$$

где $v_{\text{Al}^{3+}}$ – количество алюминия, $C_{\text{Al}^{3+}}$ – концентрация ионов алюминия, M_{Al} – молярная масса алюминия, V_p – объём раствора, $m_{\text{Al}^{3+}}$ – масса алюминия в растворе.

Так как в оксиде алюминия на два атома алюминия приходится три атома кислорода, то массу оксида можно выразить через массу металла:

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{2M_{\text{Al}} + 3M_{\text{O}}}{2M_{\text{Al}}} m_{\text{Al}^{3+}} = \frac{2M_{\text{Al}} + 3M_{\text{O}}}{2M_{\text{Al}}} C_{\text{Al}^{3+}} M_{\text{Al}} V_p$$

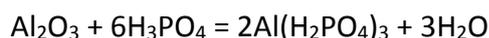
Таким образом,

$$\rho S h = \frac{2M_{\text{Al}} + 3M_{\text{O}}}{2M_{\text{Al}}} C_{\text{Al}^{3+}} M_{\text{Al}} V_p$$

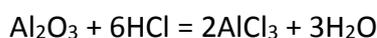
$$h = \frac{(2M_{\text{Al}} + 3M_{\text{O}}) \cdot C_{\text{Al}^{3+}} V_p}{2\rho S} =$$

$$= \frac{\left(2 \cdot 27 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}} + 3 \cdot 16 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}} \right) \cdot 1.4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{Л}} \cdot 20.0 \cdot 10^{-3} \text{Л}}{2 \cdot 3.6 \frac{\text{Г}}{\text{СМ}^3} \cdot 1.0 \text{СМ}^2} \approx 40 \text{ нм}$$

2. Из предложенного списка для растворения оксида алюминия можно использовать фосфорную и соляную кислоты:



(образуется именно кислая соль, поскольку кислота взята в большом избытке; иначе нерастворимый фосфат алюминия AlPO_4 препятствовал бы растворению)



Кремниевую кислоту использовать для растворения оксида алюминия нельзя, так как она сама нерастворима в воде.

Ответ. 40 нм.

Решение задачи 5. Металлические наночастицы (10 баллов)

1. С одной стороны, суммарный объём наночастиц равен

$$V = \frac{m}{\rho},$$

где m – масса наночастиц, ρ – плотность металла **X**. С другой стороны,

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 N,$$

где R – радиус наночастицы, N – число наночастиц. Следовательно,

$$N = \frac{3m}{4\pi\rho R^3}.$$

Суммарная площадь поверхности наночастиц равна

$$S = 4\pi R^2 N.$$

Значит,

$$\rho = \frac{3m}{SR} = \frac{3 \cdot 0.58 \cdot 10^{-3} \text{ кг}}{12.0 \text{ м}^2 \cdot \frac{15 \cdot 10^{-9}}{2} \text{ м}} = 19333 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Используя приведённую таблицу, находим, что металл **X** – это золото Au.

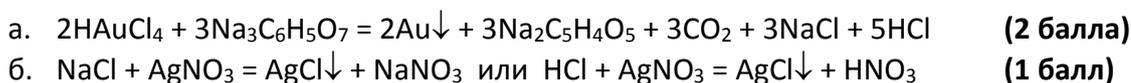
2. Определим молярную массу соединения **A**. Для этого составим пропорцию

$$\begin{array}{ccc} 1.00 \text{ г} & \rightarrow & 0.58 \text{ г} \\ \mathbf{A} & & \mathbf{X} \\ a \frac{\text{г}}{\text{моль}} & & 196.97 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \end{array}$$

$$a = \frac{1.00 \text{ г} \cdot 196.97 \frac{\text{г}}{\text{моль}}}{0.58 \text{ г}} \approx 340 \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$

Так как раствор, оставшийся после извлечения наночастиц золота, образует белый творожистый осадок с раствором нитрата серебра, то он содержит хлорид-анионы. Следовательно, соединение **A** также содержит хлорид-анионы. На 4 атома хлора приходится $4 \cdot 35.5 = 142$ г/моль. Остальная масса $340 - 197 - 142 = 1$ г/моль приходится на водород. Формула соединения **A** – HAuCl_4 .

3. Уравнения реакций:



Ответ. **X** – Au, **A** – HAuCl_4 .



Физика для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)
Простые задачи

Задача 1. Пробег электронов (10 баллов)

Электронная микроскопия является распространенным методом исследования нанообъектов. Для того, чтобы получить изображение в электронном микроскопе, исследуемый объект помещают в вакуумную камеру с остаточным давлением воздуха $P_1 = 10^{-6}$ мм рт. ст. При этом длина свободного пробега электрона составляет $\lambda_1 = 1$ м, а температура в камере $t = 27^\circ\text{C}$.

1. Найдите число молекул в камере объемом $V = 10$ л при давлении P_1 . **(5 баллов)**
2. Какова будет длина свободного пробега электрона λ_2 при атмосферном давлении и той же температуре? **(5 баллов)**

Задача 2. Ионная имплантация (10 баллов)

Ионная имплантация – эффективный метод формирования наноструктур. В результате ионной имплантации ионы Ag^+ проникают в глубину пластины кристаллического Ge. Максимальная глубина проникновения ионов при ускоряющем напряжении U_1 равна $d_1 = 50$ нм. Ускоряющее напряжение увеличили в 4 раза. Найдите глубину проникновения при ускоряющем напряжении U_2 , полагая, что средняя тормозящая сила F :

1. не зависит от скорости подлетающих ионов и постоянна во всей толще пластины; **(5 баллов)**
2. пропорциональна скорости подлетающих ионов и постоянна во всей толще пластины. **(5 баллов)**

Задача 3. Опасные наночастицы (10 баллов)

Наночастицы являются зачастую побочным продуктом или видом отходов на промышленных предприятиях, при этом они могут представлять опасность для здоровья при попадании внутрь человеческого организма (например, наночастицы тяжелых металлов). Для ограничения распространения наночастиц на предприятиях могут использоваться специальные мембранные фильтры.

1. Оцените, с какой максимальной скоростью v_{max} могут двигаться наночастицы кобальта (плотность $\rho = 8,9$ г/см³) диаметром $d = 50$ нм, чтобы они могли быть удержаны мембраной (без ее разрыва) с пределом прочности $\sigma_0 = 4$ МПа? Считайте, что движение наночастиц происходит по нормали к поверхности мембраны, а время взаимодействия с мембраной составляет $\Delta t = 1$ нс. **(10 баллов)**

Задача 4. Неразрушающий метод (10 баллов)

Одной из уникальных особенностей нанообъектов является увеличение работы выхода электронов при уменьшении размеров изучаемых частиц. Благодаря этому возможна реализация метода анализа наночастиц, который позволяет сохранить их первоначальные форму и размер и заключается в воздействии монохроматического излучения на исследуемый материал.

Для эксперимента взяли два образца: наночастицы серебра с диаметром 50 нм (образец **А**, работа выхода 4,7 эВ) и наночастицы серебра с диаметром 5 нм (образец **В**, работа выхода 4,8 эВ).

1. Рассчитайте величину запирающего напряжения для образцов **А** и **В**, если на каждый из них подействовали излучением с длиной волны 250,0 нм. **(6 баллов)**
2. На сколько нанометров отличается красная граница фотоэффекта для образцов **А** и **В**? Ответ подтвердите расчётом. **(4 балла)**

Задача 5. Механическая активация наночастиц (10 баллов)

Как известно, химические реакции между твердыми веществами происходят только при довольно высокой температуре, даже если размеры реагентов составляют десятки нанометров. Однако температуру такого процесса можно существенно снизить благодаря интенсивному механическому воздействию на исходные наночастицы. Например, методом механической активации удаётся синтезировать карбид никеля из простых веществ.

1. Пусть в результате неупругого столкновения двух одинаковых наночастиц никеля, летевших навстречу друг другу с равной по модулю скоростью 10 м/с, скорость каждой из них снижается на 30%. Определите минимальное количество таких столкновений, необходимое для увеличения температуры наночастиц на 100 К. Процесс считайте адиабатическим. Атомная масса никеля 0,0587 кг/моль, теплоёмкость никеля 26,1 Дж/(моль·К). **(8 баллов)**
2. Какие процессы, кроме изменения температуры, могут происходить при механическом воздействии на наночастицы? **(2 балла)**

Список констант

Постоянная Планка $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с

Скорость света в вакууме $c = 2,998 \cdot 10^8$ м/с

Элементарный заряд $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл

Масса электрона $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31}$ кг

Масса протона $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27}$ кг

Постоянная Больцмана $k = 1,381 \cdot 10^{-23}$ Дж/К

Универсальная газовая постоянная $R = 8,314$ Дж/(моль·К)

Постоянная Авогадро $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹

Ускорение свободного падения $g = 9,81$ м/с²



Физика для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)
Простые задачи. Решения

Решение задачи 1. Пробег электронов (10 баллов)

1. Число молекул можно выразить через количество вещества:

$$N = \nu N_A = \frac{pV}{RT} N_A = \frac{132,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot 10^{-2} \text{ м}^3}{8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль}) \cdot 300 \text{ К}} 6,02 \cdot 10^{23} \approx 3,21 \cdot 10^{14}$$

2. Длина свободного пробега λ обратно пропорциональна концентрации молекул n .
Таким образом:

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{p_1}{p_2},$$

поскольку

$$p = nkT\lambda_2 = \lambda_1 \frac{p_1}{p_2} = \frac{10^{-6} \text{ м}}{760} \approx 1,3 \text{ нм.}$$

Решение задачи 2. Ионная имплантация (10 баллов)

Кинетическая энергия подлетающих к пластине электронов, определяется ускоряющим напряжением $eU = \frac{mV^2}{2}$. Попадая в пластину, ионы испытывают многократное рассеяние, но можно рассмотреть действие эффективной силы торможения F , работа которой изменяет кинетическую энергию электронов до нуля.

$$0 - \frac{mV_1^2}{2} = -F_{\text{тор}} d_1$$

Поэтому, в случае 1: $d_1 = \frac{mV_1^2}{2F_{\text{тор}}}$, тогда $\frac{d_2}{d_1} = \frac{V_2^2}{V_1^2} = 4d_2 = 200 \text{ нм.}$

В случае 2: сила торможения $F = \alpha V$, где α — коэффициент пропорциональности.

$$d_1 = \frac{mV_1^2}{2\alpha V_1}, \text{ тогда } \frac{d_2}{d_1} = \frac{V_2}{V_1} = 2d_2 = 100 \text{ нм.}$$

Решение задачи 3. Опасные наночастицы (10 баллов)

Найдем массу наночастиц:

$$m = \rho V = \rho \frac{4}{3} \pi \frac{d^3}{8} \approx 5,8 \cdot 10^{-19} \text{ кг.}$$

Наночастицы при столкновении с мембраной будут тормозиться, в результате чего будет изменяться их импульс. Максимальное изменение импульса Δp_{max} будет достигаться при полной остановке наночастиц за время Δt . В таком случае изменение импульса наночастиц $\Delta p_{\text{max}} = mv_{\text{max}}$ будет обеспечено за счет силы, действующей со стороны мембраны, равной:

$$F = \frac{\Delta p_{max}}{\Delta t} = \frac{mv_{max}}{\Delta t}$$

Согласно III закону Ньютона, такая же по модулю сила будет действовать и на мембрану, создавая давление (за площадь воздействия примем площадь поперечного сечения наночастицы):

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi d^2/4}$$

В предельном случае это давление следует приравнять к пределу прочности мембраны:

$$\frac{4mv_{max}}{\pi d^2 \Delta t} = \sigma_0$$

Откуда максимальная скорость наночастиц:

$$v_{max} = \frac{\pi d^2 \Delta t \sigma_0}{4m} = \frac{3 \Delta t \sigma_0}{2 \rho d} \approx 13.5 \text{ м/с}$$

Решение задачи 4. Неразрушающий метод (10 баллов)

1. Под действием монохроматического излучения вещество испускает фотоэлектроны, согласно закону фотоэффекта

$$\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{mv^2}{2},$$

где h – постоянная Планка (Дж·с), c – скорость света (м/с), λ – длина волны (м), A – работа выхода электрона (Дж), m – масса электрона (кг), v – скорость электрона (м/с). Другими словами, ток наблюдается только в том случае, если энергия фотона больше работы выхода.

Запирающим напряжением называется минимальная разность потенциалов, при которой прекращается фототок, поскольку кинетической энергии электронов оказывается недостаточно для преодоления потенциального барьера:

$$\begin{aligned} E_k &= E_p \\ \frac{mv^2}{2} &= eU \end{aligned}$$

где E_k – кинетическая энергия (Дж), E_p – потенциальная энергия (Дж), e – элементарный заряд (Кл), U – запирающее напряжение (В).

Следовательно, запирающее напряжение равно

$$\begin{aligned} \frac{hc}{\lambda} &= A + eU \\ U &= \frac{hc - \lambda A}{\lambda e} \end{aligned}$$

Для образца **A**:

$$U_A = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}} - 250,0 \cdot 10^{-9} \text{ м} \cdot (4,7 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}) \text{ Дж}}{250,0 \cdot 10^{-9} \text{ м} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 0,26 \text{ В}$$

Для образца **B**:

$$U_B = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}} - 250,0 \cdot 10^{-9} \text{ м} \cdot (4,8 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}) \text{ Дж}}{250,0 \cdot 10^{-9} \text{ м} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 0,16 \text{ В}$$

2. Красная граница фотоэффекта – это максимальная длина волны излучения, при которой наблюдается фотоэффект. Следовательно, её можно рассчитать по формуле

$$\frac{hc}{\lambda} = A$$

$$\lambda = \frac{hc}{A}$$

Таким образом, разность значений для образцов **A** и **B** равна

$$\Delta\lambda = \lambda_A - \lambda_B = \frac{hc}{A_A} - \frac{hc}{A_B}$$

$$\Delta\lambda = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}}}{4,7 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}} - \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}}}{4,8 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}} =$$

$$= 5,5 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 5,5 \text{ нм.}$$

Решение задачи 5. Механическая активация наночастиц (10 баллов)

1. Количество необходимых столкновений будет наименьшим, если уменьшение кинетической энергии будет связано только с нагревом наночастиц. В таком случае, согласно закону сохранения энергии для одного столкновения имеем

$$E_1 + E_2 = E'_1 + E'_2 + Q,$$

где E_1 – кинетическая энергия первой наночастицы до столкновения, E_2 – кинетическая энергия второй наночастицы до столкновения, E'_1 – кинетическая энергия первой наночастицы после столкновения, E'_2 – кинетическая энергия второй наночастицы после столкновения, Q – тепловая энергия.

Так как наночастицы одинаковые, то

$$E_1 = E_2 = \frac{mv^2}{2}$$

$$E'_1 = E'_2 = \frac{m \cdot ((1 - 0,3)v)^2}{2} = \frac{m \cdot (0,7v)^2}{2} = \frac{0,49mv^2}{2},$$

где m – масса наночастицы, v – её скорость.

Значит, тепловая энергия, выделяющаяся в результате одного удара, равна

$$Q = E_1 + E_2 - E'_1 - E'_2$$

$$Q = \frac{mv^2}{2} + \frac{mv^2}{2} - \frac{0,49mv^2}{2} - \frac{0,49mv^2}{2} = mv^2 - 0,49mv^2 = 0,51mv^2$$

Так как $Q = c \frac{2m}{M} \Delta T$ (масса удвоена, поскольку в результате столкновения нагреваются обе наночастицы), то

$$c \frac{2m}{M} \Delta T = 0,51mv^2,$$

где M – атомная масса никеля, c – теплоёмкость никеля.

Поэтому для N таких столкновений имеем

$$c \frac{2m}{M} \Delta T = 0,51Nmv^2$$

$$N = \frac{2c \cdot \Delta T}{0,51Mv^2}$$

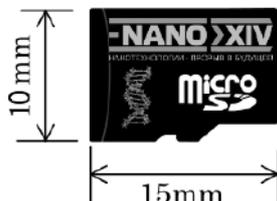
$$N = \frac{2 \cdot 26,1 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 100\text{К}}{0,51 \cdot 0,0587 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \cdot \left(10 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2} \approx 1744$$

2. Кроме нагрева наночастиц будут возникать их упругие и пластические деформации, в том числе образование дефектов кристаллической структуры. В определённых условиях возможны также растрескивание и разрушение частиц, а также эмиссия электронов и ионов.



Математика для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)
Простые задачи

Задача 1. Библиотека в кармане (10 баллов)



В начале 2019 впервые была представлена карта памяти формата microSD объемом 1 Терабайт $\approx 1,10 \cdot 10^{12}$ байт.

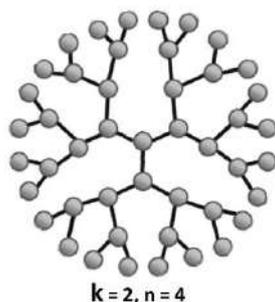
1. Оцените площадь, приходящуюся на один бит информации, если микросхема флэш-памяти занимает половину площади корпуса карты и запись ведется в 100 слоев. **(3 балла)**

Поскольку основным компонентом карт памяти является транзистор с плавающим затвором, то к ним применим закон Мура: «количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые 2 года».

2. Оцените, в каком году мы сможем носить в своем кармане объем информации, сопоставимый с размером цифрового хранилища Президентской библиотеки, расположенной в Санкт-Петербурге, – 4 Петабайта $\approx 4,50 \cdot 10^{15}$ байт. **(7 баллов)**

Считать, что объем хранимой информации пропорционален числу транзисторов.

Задача 2. Изучаем дендример (10 баллов)



Рост дендримера – макромолекулы, которая обладает древообразной структурой с регулярными ветвлениями, – происходит поэтапно, поколение за поколением. Число мономерных звеньев, присоединившихся к звену предыдущего поколения, называют коэффициентом ветвления k . При этом к центральному мономеру – «поколению 0» – присоединяется $k + 1$ ветвь.

1. Сколько поколений ветвления n прошло, если общее число мономерных звеньев в дендримере равно 94, а $k = 2$? **(7 баллов)**
2. Оцените диаметр такой молекулы дендримера, если считать, что ее радиус с каждым поколением увеличивается на $L = 1,5$ нм. **(3 балла)**

Задача 3. Металлическая спираль (10 баллов)

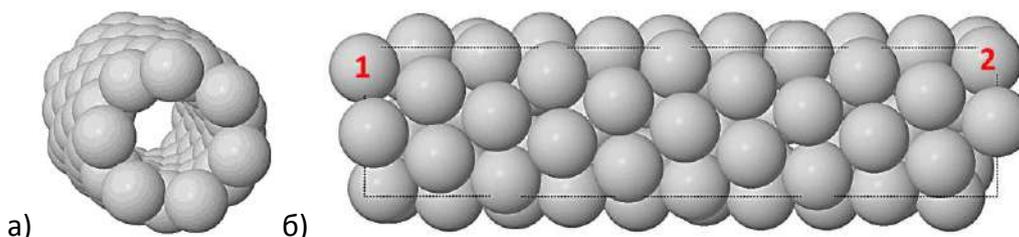


Рис. 1. Металлическая нанотрубка. Атомы 1 и 2 связаны друг с другом параллельным переносом вдоль оси трубки.

Некоторую нанотрубку из металла (см. рис. 1) можно рассматривать как свернутую из цепочки n атомов спираль. На виток этой спирали приходится некоторое нецелое число атомов x .

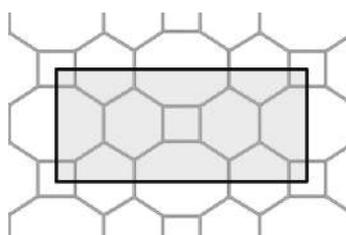
Для изображенной на рисунке нанотрубки определите x и n .

Задача 4. Полипептид (10 баллов)

Молекула некоторого линейного полипептида X представляет собой последовательность из 10 аминокислотных остатков, 7 из которых являются глицином, а еще три – либо лейцин, либо аланин, либо оба одновременно.

Рассчитайте суммарное число возможных вариантов последовательности X . Учтите, что последовательности аминокислотных остатков А-В и В-А не эквивалентны.

Задача 5. Двумерные ячейки (10 баллов)



Для любой ячейки периодической двумерной структуры, так же, как и для выпуклого многогранника, значение выражения $V - E + F$ (где V – число вершин (узлов двумерной сетки), E – число ребер, F – число многоугольников) постоянно и равно некоторой константе k .

1. У выделенной на рисунке ячейки, сосчитайте V , E , F , и найдите k . (4 балла)
2. Рассчитайте, сколько семиугольников приходится на некоторую ячейку, которая дополнительно содержит 6 шестиугольников и 2 пятиугольника, если в каждой ее вершине сходятся по 3 ребра. (6 баллов)



Математика для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)
Простые задачи. Решения

Решение задачи 1. Библиотека в кармане (10 баллов)

1. Площадь микросхемы карты памяти составляет половину от площади ее корпуса:

$$S = 0,5 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 7,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2,$$

$$S = 7,5 \cdot 10^{13} \text{ нм}^2.$$

Поскольку объем карты памяти составляет 1 Терабайт = 8 Терабит и запись ведется в 100 слоев (то есть, площадь, занимаемая информацией, в 100 раз больше площади микросхемы), то на один бит карты памяти приходится:

$$S_1 = 100 \cdot 7,5 \cdot 10^{13} / (1,1 \cdot 10^{12}) / 8 = 8,52 \cdot 10^{-16} \text{ м}^2 \approx 850 \text{ нм}^2.$$

2. Емкость карты памяти должна увеличиться в

$$4,50 \cdot 10^{15} / 1,1 \cdot 10^{12} = 4096 \text{ раз.}$$

Поскольку, по закону Мура, емкость карты памяти должна удваиваться каждые два года, то увеличение в 4096 раз произойдет через

$$t = 2 \cdot \log_2(4096) = 2 \cdot 12 = 24 \text{ года}$$

после представления карты памяти объемом 1 Тб в 2019 году, то есть, в 2043 году.

(Или: нужно 4096 делить на 2 до тех пор, пока остаток от деления будет больше или сравним с единицей, всего удваивание происходит 12 раз.)

Решение задачи 2. Изучаем дендример (10 баллов)

1. Общее число мономерных звеньев (без учета центрального звена) в дендримере с коэффициентом ветвления, равным 2, и n поколениями ветвления можно записать как сумму геометрической прогрессии, в которой первый член ряда равен 3, а знаменатель равен 2:

$$S' = 3 + 3 \cdot 2 + \dots + 3 \cdot 2^{n-1} = 3 \sum_{m=1}^n 2^{m-1} = \frac{3(2^n - 1)}{2 - 1} = 3 \cdot 2^n - 3.$$

Или, учитывая центральное звено: $S = S' + 1 = 3 \cdot 2^n - 2$.

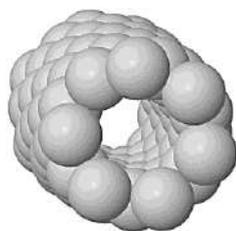
То есть, по условию, $S = 3 \cdot 2^n - 2 = 94$.

Тогда число поколений ветвления равно

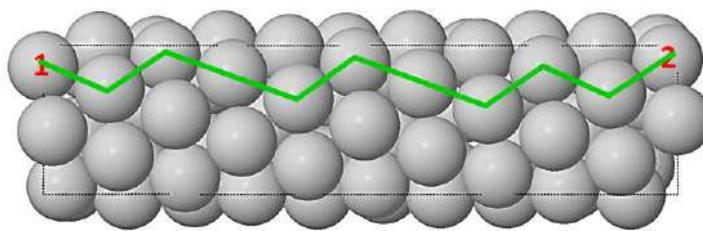
$$n = \log_2 \left(\frac{S+2}{3} \right) = \log_2 \left(\frac{96}{3} \right) = \log_2(32) = 5.$$

2. Радиус молекулы дендримера составляет $R \approx nL$, а диаметр $D = 2nL = 2 \cdot 5 \cdot 1,5 = 15 \text{ нм}$.

Решение задачи 3. Металлическая спираль (10 баллов)



а



б

По виду трубки с торца видим, что каждый виток имеет длину более 6, но менее 7 межатомных расстояний. Таким образом, если взять произвольный атом в цепочке и два его ближайших соседа на соседнем витке спирали, то до соседа, расположенного на рис. б «сверху» будет 6 межатомных расстояний по цепочке, а до соседа «снизу» – 7.

Будем идти из атома 1 по центрам ближайших атомов соседних витков, смещаясь «вверх» или «вниз», и соответственно засчитывая 6 или 7 межатомных расстояний, пока не окажемся на атоме 2. В итоге суммарно получим $7 + 6 + 7 + 7 + 6 + 7 + 7 + 6 + 7 + 6 = 66$ межатомных расстояний для пути, отмеченного на рисунке.

Поскольку в цепочке атомов на одно межатомное расстояние приходится 1 атом, и по рисунку атомы 1 и 2 разделяет 10 полных (поскольку атомы связаны параллельным переносом вдоль оси спирали) витков спирали, то число атомов x , приходящееся на виток спирали, составит $66/10 = 6,6$.

Цепочка от атома 1 до атома 2 содержит 66 межатомных расстояний и состоит из $66 + 1 = 67$ атомов. Общее число атомов в трубке, согласно рисунку, на один атом больше и составляет $n = 68$ атомов.

Решение задачи 4. Полипептид (10 баллов)

Число вариантов структуры полипептида (N), составленного из семи аминокислотных остатков (а/о) глицина, и трех а/о, являющихся лейцином (L) и/или аланином (A), равно сумме вариантов размещения 3 а/о в цепочке длиной $7 + 3 = 10$ а/о для четырех возможных комбинаций L и A :

$$3L + 0A, 2L + 1A, 1L + 2A \text{ и } 0L + 3A,$$

$$N = N_{3L} + N_{2L+A} + N_{2A+L} + N_{3A}.$$

Рассчитаем N для каждой из комбинаций L и A . Число вариантов размещения 3 а/о одного типа относительно 7 а/о другого типа в цепочке длиной 10 а/о составляет:

$$N_{3L+0A} = N_{0L+3A} = C_{10}^3 = \frac{10!}{3!7!} = \frac{8 \cdot 9 \cdot 10}{6} = 4 \cdot 3 \cdot 10 = 120.$$

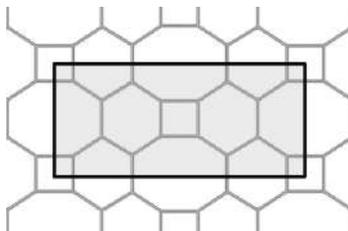
Число вариантов размещения 1 а/о одного типа и 2 а/о второго типа относительно 7 а/о третьего типа в цепочке длиной 10 а/о составляет:

$$N_{2L+1A} = N_{1L+2A} = C_{10}^1 \cdot C_9^2 = 10 \frac{9!}{2!7!} = 10 \frac{9 \cdot 8}{2} = 360.$$

Тогда общее число вариантов структуры полипептида равно

$$N = 2 \cdot N_{3Л} + 2 \cdot N_{2Л+А} = 2 \cdot 120 + 2 \cdot 360 = 960.$$

Решение задачи 5. Двумерные ячейки (10 баллов)



1. На ячейку приходятся:

- 16 вершин (**V**),
- $12 \cdot 0,5 + 18 = \underline{24}$ ребра (**E**),
- $4 \cdot 0,25 + 1 = 2$ квадрата,
- $4 \cdot 0,5 + 2 = 4$ шестиугольника,
- $4 \cdot 0,5 = 2$ восьмиугольника,
- то есть, всего $2 + 4 + 2 = \underline{8}$ многоугольников (**F**).

Тогда значение **k** для периодических двумерных структур равно

$$k = 16 - 24 + 8 = 0.$$

2. Общее число граней, приходящееся на ячейку периодической двумерной структуры:

$$F = F_5 + F_6 + F_7.$$

Общее число ребер, приходящееся на ячейку:

$$E = 1/2 \cdot (5F_5 + 6F_6 + 7F_7).$$

Общее число вершин, приходящееся на ячейку:

$$V = 1/3 \cdot (5F_5 + 6F_6 + 7F_7).$$

Тогда, подставляя полученные выражения и $k = 0$ в формулу $V - E + F = k$ для ячейки, получаем:

$$1/3 \cdot (5F_5 + 6F_6 + 7F_7) - 1/2 \cdot (5F_5 + 6F_6 + 7F_7) + F_5 + F_6 + F_7 = 0$$

Следовательно, общее уравнение, связывающее число многоугольников разного типа, приходящееся на ячейку, это:

$$F_5 - F_7 = 0$$

$$F_5 = F_7$$

(то есть, число шестиугольников может быть любым, а число пятиугольников равно числу семиугольников).

Если $F_6 = 6$ и $F_5 = 2$, то $F_7 = F_5 = 2$.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап) Простые задачи

Задача 1. Секрет красивых волос (10 баллов)

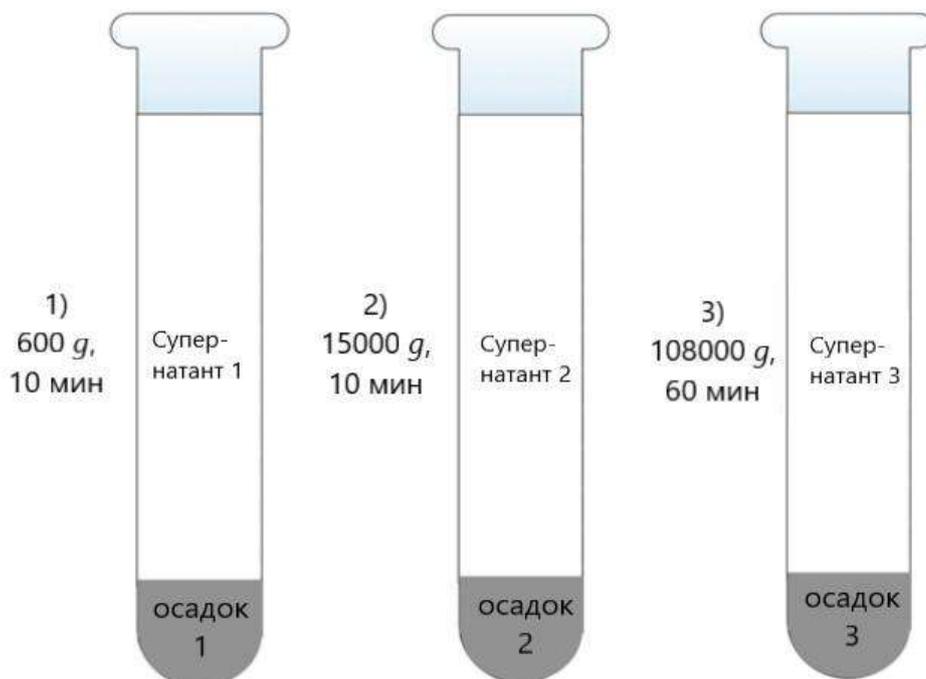
У школьницы Лены густые волнистые волосы. Она знает, что основным белковым компонентом волос человека является α -кератин.

- 1. (1 балл).** Лена заметила, что после дождя волнистые волосы становятся более:
 1. вьющимися
 2. прямыми
- 2. (2 балла).** Каково наиболее вероятное биологическое объяснение этого явления?
 1. Во влажной среде белки денатурируют из-за изменения pH
 2. Во влажной среде увеличивается количество водородных связей в α -кератине
 3. Во влажной среде разрушаются ионные связи в α -кератине
 4. Во влажной среде разрушаются дисульфидные мостики в α -кератине
- 3. (3 балла).** Разработано средство для укладки волос, которое селективно расщепляет ионные связи между несмежными аминокислотами в полипептидной цепи кератина. Какой уровень структуры белка будет наиболее затронут этим средством (укажите правильный вариант)?
 1. Первичная структура
 2. Вторичная структура
 3. Третичная структура
 4. Четвертичная структура
- 4. (4 балла).** Кератин содержит 3,2 % серы по массе. Молекулярная масса цистеина 121 а.е.м., атомная масса серы 32 а.е.м., других серосодержащих кислот в кератине нет. Сколько граммов цистеина содержится в 100 граммах кератина? Приведите расчет.

Задача 2. Центрифугирование (10 баллов)

В биологии одним из способов разделения клеток млекопитающих на отдельные компоненты (например, органеллы) является метод дифференциального центрифугирования. Этот метод основан на том, что частицы (в том числе и органеллы), отличающиеся друг от друга размерами и плотностью, осаждаются при центрифугировании с различной скоростью, располагаясь слоями в соответствии со своей плотностью: более плотные компоненты осаждаются при более низких скоростях центрифугирования, а менее плотные - при более высоких скоростях. Эти слои разделяют и изучают отдельно.

Лаборанту Незнайкину было поручено последовательно выделить из гомогената (перетертой с буфером ткани) различные компоненты клетки. На рисунке изображено, как совершая ряд последовательных центрифугирований, при этом с каждым разом увеличивая скорость центрифугирования, можно отделять одни компоненты клеток от других.



1. Как вы думаете, какие клеточные органеллы Незнайкин выделил в: супернатанте 1:

- а) рибосомы
- б) ядра
- в) митохондрии

супернатанте 2:

- а) рибосомы
- б) ядра
- в) митохондрии

осадке 3:

- а) рибосомы
- б) ядра
- в) компоненты ЭПР

Попытайтесь аргументировать свой ответ. **(3 балла)**

2. В настоящее время для более тонкого разделения клеточных органелл при центрифугировании клеточные органеллы наслаивают на специальную среду, например, на последовательно расположенные в пробирке слои раствора сахарозы разной концентрации. Как вы думаете, каким образом эта среда повышает качество разделения? **(4 балла)**

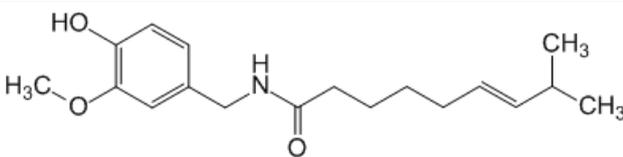
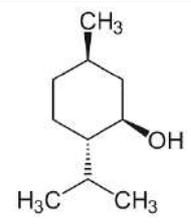
3. Как вы думаете, если органеллы не отличаются по весу, но отличаются по размеру, то какие из них будут оседать в первую очередь – более крупные или более мелкие? Ответ аргументируйте **(3 балла)**

Задача 3. Микрокапсулы в крови (10 баллов)

В лаборатории профессора Сэйбла были разработаны нанокomпозитные микрокапсулы на основе комплексов магнитных наночастиц и липосом для адресной доставки лекарств. Эти микрокапсулы вводятся в кровь. Для выхода действующего вещества из липосом на них действуют короткими импульсами электрического поля. Микрокапсулы были введены в кровь и активированы импульсным электрическим полем в тот момент, когда микрокапсулы выходили из правого желудочка.

1. Примерно через сколько времени лекарство достигнет правого предсердия? Ответ объясните. Круговорот крови в малом круг кровообращения длится около 5 с, а в большом круге кровообращения – около 25 с. Период полувыведения лекарства – 30 мин. **(2 балла)**
2. Сколько раз лекарство пройдет через печень, прежде чем его количество уменьшится в 2 раза? **(2 балла)**
3. Как вы думаете, наночастицы какого металла были использованы в микрокапсулах? **(3 балла)**
4. Было обнаружено, что в качестве побочного эффекта лекарство усиливает выработку инсулина. Как это может повлиять на продукцию АТФ в эритроцитах? **(3 балла)**

Задача 4. TRP-каналы (10 баллов)

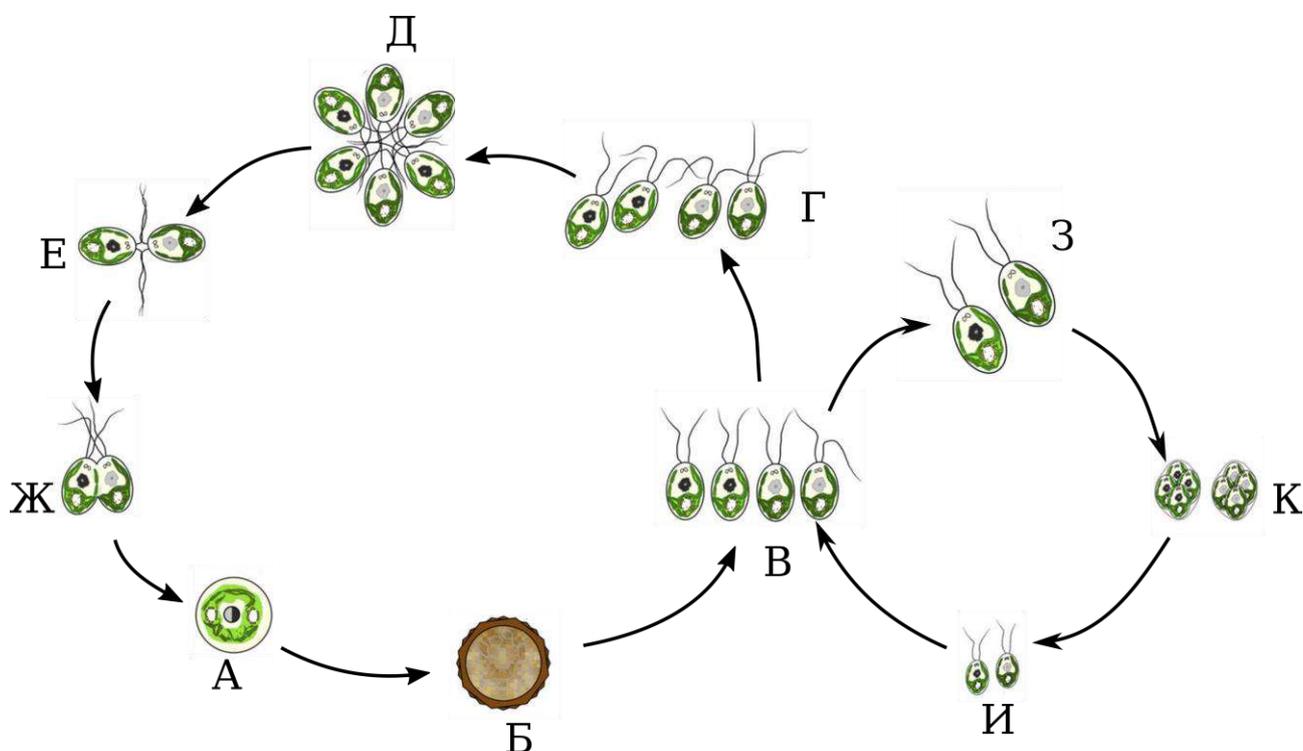
капсаицин	ментол
	

Капсаицин и ментол (на рисунке) активируют родственные каналы-рецепторы TRPV1 и TRPM8, соответственно. TRPV1 на коже и слизистых отвечают за ощущение тепла, а также острого вкуса и жжения, а системно участвуют в регуляции температуры тела; TRPM8 отвечают за ощущение холода. Оба типа рецепторов являются катионными каналами; при низких pH TRPV1 активируются, а TRPM8 инактивируются. Ментол и капсаицин также действуют как взаимные ингибиторы соответствующих рецепторов.

1. Какие ионы могут проводиться этими каналами, и как прохождение каждого из них влияет на трансмембранный потенциал чувствительной клетки? **(2 балла)**
2. Один человек случайно слишком сильно намазался согревающим кремом с капсаицином. Как ему уменьшить ощущение жжения (выберите все правильные варианты и кратко обоснуйте свой выбор)? **(2 балла)**
 - Натереть это место лимоном
 - посыпать солью

- смыть большим количеством воды
 - смазать это место жирным кремом и стереть его
 - использовать средство после бритья с ментолом
3. Предложите физиологическое объяснение эффекту повышенного потоотделения при употреблении острой пищи. Как Вы считаете, из-за каких побочных эффектов обезболивающие средства на основе блокаторов TRPV1-каналов так и не были выведены на рынок? **(3 балла)**
4. Предложите способ активации TRPV1 каналов в центральной нервной системе при помощи магнитных наночастиц. Как увеличить специфичность такого воздействия? **(3 балла)**

Задача 5. Арбузный снег (10 баллов)



В полярных областях и высокогорьях можно наблюдать интересное явление — «арбузный снег», т.е. снег, окрашенный в красный цвет благодаря зеленым водорослям *Chlamydomonas nivalis*. Эти водоросли на некоторых стадиях жизненного цикла содержат большое количество каротиноидного пигмента астаксантина, который и придает им красный цвет. В начале весны снег подтаивает вокруг скоплений этих водорослей, которые переходят в подвижную фазу и быстро размножаются. В дальнейшем быстрый рост заканчивается и клетки переходят в покоящуюся фазу.

1. На рисунке выше приведен пример жизненного цикла зеленой водоросли. Укажите буквенные коды стадий с диплоидным набором хромосом. **(1 балл)**
2. Укажите, между какими стадиями происходит митотическое деление. **(1 балл)**
3. Как называется покоящаяся стадия? **(1 балл)**

4. Как Вы считаете, какая из стадий имеет красную окраску — активно подвижная или покоящаяся? Аргументируйте. **(1 балл)**
5. Переход в покоящуюся стадию и изменение окраски происходит до окончания летнего периода. Что ограничивает фазу быстрого роста водорослей? **(2 балла)**
6. Какие функции в клетке выполняет астаксантин и зачем эти водоросли его накапливают? **(2 балла)**
7. Может ли размножение этих водорослей оказать влияние на изменение климата в мировых масштабах? Если да, то каким образом? **(2 балл)**



Биология для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)
Простые задачи. Решения

Решение задачи 1. Секрет красивых волос (10 баллов)

1. вьющимися. **(1 балл)**
2. Во влажной среде увеличивается количество водородных связей в молекуле α -кератина. **(2 балла)**
3. Третичная структура. **(3 балла)**
4. В 100 граммах кератина содержится 3,2 г серы
Это значит, что в 100 г кератина содержится $3,2 \cdot (121/32) = 12,1$ г цистеина. **(4 балла)**

Решение задачи 2. Центрифугирование (10 баллов)

1. Незнайкин выделил в:
супернатанте 1 : а) рибосомы в) митохондрии
супернатанте 2: а) рибосомы
осадке 3: а) рибосомы в) компоненты ЭПР
Важно помнить, что супернатант – это надосадочная жидкость. **(3 балла)**
2. При проведении исследований методом центрифугирования в градиенте плотности центрифужную пробирку частично наполняют раствором, плотность которого уменьшается в направлении от дна к мениску, что позволяет разделять такие похожие по размеру органеллы, как например лизосомы и митохондрии. **(4 балла)**
3. Сначала будут оседать более мелкие органеллы, потом крупные – в случае, если плотность мелких органелл намного выше, чем у крупных. **(3 балла)**

Решение задачи 3. Микрокапсулы в крови (10 баллов)

1. Малый круг кровообращения начинается из правого желудочка и заканчивается в левом предсердии. Большой круг кровообращения начинается из левого желудочка, а заканчивается в правом предсердии. Таким образом лекарство от правого желудочка до правого предсердия пройдет за 30 секунд. **(2 балла)**
2. Период полувыведения лекарства 30 минут. Полностью кровь проходит оба круга кровообращения, включая печень, за полминуты. Таким образом, примерно 60 раз. **(2 балла)**
3. Скорей всего, были использованы наночастицы оксида железа, кобальта или никеля. **(3 балла)**
4. При увеличении концентрации инсулина активируется гликолиз, значит, увеличивается и продукция АТФ в эритроцитах. **(3 балла)**

Решение задачи 4. TRP-каналы (10 баллов)

1. Это катионные каналы, соответственно, могут проводиться ионы Na^+ , K^+ , Ca^{2+} . Прохождение Na^+ и Ca^{2+} приведет к деполяризации мембраны (уменьшению абсолютного значения разности потенциалов), прохождение K^+ приведет к гиперполяризации, однако этот эффект незаметен на фоне эффекта от тока ионов Na^+ и Ca^{2+} . **(2 балла)**
2. Облегчить ощущение жжения от крема с капсаицином можно при помощи жирного крема или крема с ментолом. Остальные методы могут усилить ощущение жжения: лимонный сок, понижая pH, активизирует TRPV1 каналы, поваренная соль, увеличивая концентрацию Na^+ снаружи, увеличивает градиент для ионов Na^+ и усиливает ток через канал, вода также приведет к усилению чувства жжения (но очень большим количеством воды, конечно, смыть можно). **(2 балла)**
3. TRPV1 участвуют в системной регуляции температуры тела. Активация TRPV1 воспринимается организмом как перегрев и включает физиологический механизм охлаждения организма. Напротив, блокирование TRPV1 рецепторов может привести к опасному перегреву организма за счет блокирования контроля над текущей температурой тела. **(3 балла)**
4. Магнитные частицы можно заставить колебаться в магнитном поле, локально повышая температуру. Добавление антител к TRPV1 или веществ, имитирующих нормальные лиганды TRPV1 к покрытию наночастиц увеличит специфичность воздействия. **(3 балла)**

Решение задачи 5. Арбузный снег (10 баллов)

1. Диплоидный набор: А, Б, Ж — момент слияния гамет. Остальные — гаплоидный набор. **(1 балл)**
2. Митоз: в вегетативном цикле (бесполое размножение, т. е. ЗКИ). **(1 балл)**
3. Циста. **(1 балл)**
4. Красная окраска: зигота и циста. Накапливается постепенно и в активной фазе, но в меньшей степени. Начальные стадии активной фазы — зеленые, из-за активного фотосинтеза. **(1 балл)**
5. В талой воде мало питательных веществ (элементов). Начинается азотное и фосфорное голодание клеток, что и ограничивает их рост и размножение. **(2 балла)**
6. Защита фотосинтетического аппарата клетки в условиях чрезмерной инсоляции, защита от активных форм кислорода, протаивание снега вокруг водорослей, запасы питательных веществ. **(2 балла)**
7. Да, потому что меняет отражающую способность поверхности Земли (альбедо) и есть положительная обратная связь: больше водорослей → ниже альбедо → теплее локальный климат → сильнее таяние снега → больше пространства для жизни и более активное размножение водорослей. Если покрываются большие пространства, то возможно глобальное влияние на климат. **(2 балл)**

XIV Всероссийская Интернет-олимпиада по нанотехнологиям
«Нанотехнологии – прорыв в будущее!»
2019-2020

