



СБОРНИК ЗАДАНИЙ

2020-2021

-NANO>>XV

НАНОТЕХНОЛОГИИ - ПРОРЫВ В БУДУЩЕЕ!

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
Берекчиан Михаил Вартанович
Браже Алексей Рудольфович
Браже Надежда Александровна
Гладилин Александр Кириллович
Гонгальский Максим Брониславович
Григорьева Анастасия Вадимовна
Гудилин Евгений Алексеевич
Дроздов Андрей Анатольевич
Еремин Вадим Владимирович
Коробов Михаил Валерьевич
Львов Леонид Олегович
Жигунов Денис Михайлович
Макеева Екатерина Анатольевна
Никельшпарг Эвелина Ильинична
Павликов Александр Владимирович
Паршина Евгения Юрьевна
Силичева Маргарита Александровна
Слатинская Ольга Вадимовна
Шарафутдинова Альфия Масхутовна
Юсипович Александр Иванович

Содержание

Заключительный этап. Биология	7
Условия задач	8
Решения	19
Заключительный этап. Математика	26
Условия задач	27
Решения	34
Заключительный этап. Физика	43
Условия задач	44
Решения	50
Заключительный этап. Химия	58
Условия задач	59
Решения	66
Универсиада	73
Конкурс тьюторов	75
Задание	77
Гениальные мысли	79
Задание	81
Юный эрудит	83
Загадки про квазичастицы	86
Решение (Загадки про квазичастицы)	87
Акроним	88
Решение (Акроним)	89
Фиолетовые растворы	90
Решение (Фиолетовые растворы)	91
Нанокластер 2021	92
Решение (Нанокластер 2021)	93
Смесь геометрических форм	94
Решение (Смесь геометрических форм)	95
Медицинская маска и вирус	96
Решение (Медицинская маска и вирус)	97
Кто такие Фиксики – большой, большой секрет...	98
Решение (Кто такие Фиксики – большой, большой секрет...)	99
Раскраска графена	100
Решение (Раскраска графена)	101
Разноцветная ботаника	102
Решение (Разноцветная ботаника)	103
Пищевая цепь	104
Решение (Пищевая цепь)	105
Удивительные митохондрии	106
Решение (Удивительные митохондрии)	107

Клубок наноцеллюлозы	108
Решение (Клубок наноцеллюлозы)	109
Все дело в кубе	110
Решение (Все дело в кубе)	111
Как построить модель фуллерена своими руками	112
Решение (Как построить модель фуллерена своими руками)	114
Нанокроссворд	115
Решение (Нанокроссворд)	117
Химия для школьников	119
Синтез графитоподобного вещества	122
Решение (Синтез графитоподобного вещества)	123
Наночастицы против бактерий	125
Решение (Наночастицы против бактерий)	126
Изомерные комплексы золота	127
Решение (Изомерные комплексы золота)	128
Адсорбция на мембране	129
Решение (Адсорбция на мембране)	130
Нанокатализатор	132
Решение (Нанокатализатор)	133
Перспективный состав	135
Решение (Перспективный состав)	136
Как очистить воду от солей?	138
Решение (Как очистить воду от солей?)	140
Надежные ферменты	142
Решение (Надежные ферменты)	144
Одномерные нанореакторы	146
Решение (Одномерные нанореакторы)	148
2D материал	151
Решение (2D материал)	152
Биология для школьников	154
Шпинат и нанотрубки	157
Решение (Шпинат и нанотрубки)	159
Нанопластик и пищевые цепи мирового океана	161
Решение (Нанопластик и пищевые цепи мирового океана)	162
Голубое	163
Решение (Голубое)	164
Научный шпионаж	165
Решение (Научный шпионаж)	167
Цитокиновый шторм	168
Решение (Цитокиновый шторм)	173
Вакцина	175
Решение (Вакцина)	178
Мыши с «тепловизором»	179

Решение (Мыши с «теповизором»)	181
Включить/выключить	183
Решение (Включить/выключить)	185
Как покрасить клетки антителами?	186
Решение (Как покрасить клетки антителами?)	189
НАНО-3 — материал будущего	190
Решение (НАНО-3 — материал будущего)	191
Математика для школьников	192
2021 и фуллерены	195
Решение (2021 и фуллерены)	196
Спираль коронавируса	198
Решение (Спираль коронавируса)	199
Полипептид как цепочка букв	200
Решение (Полипептид как цепочка букв)	201
Каркасные молекулы нитрида бора	202
Решение (Каркасные молекулы нитрида бора)	204
Нанопористое углеродное волокно	206
Решение (Нанопористое углеродное волокно)	207
Ошибка тест-системы	209
Решение (Ошибка тест-системы)	210
Поиск CRISPR в геноме E. Coli	212
Решение (Поиск CRISPR в геноме E. Coli)	214
Супертетраэдр и Супертетраэдр Серпинского	217
Решение (Супертетраэдр и Супертетраэдр Серпинского)	218
Поиск простейших ПМК с шестиугольными и треугольными гранями	220
Решение (Поиск простейших ПМК с шестиугольными и треугольными гранями)	222
Биметаллический кубооктаэдр	225
Решение (Биметаллический кубооктаэдр)	226
Физика для школьников	229
Наночастицы для спинтроники	232
Решение (Наночастицы для спинтроники)	233
Диэлектрики на службе у нанoeлектроники	234
Решение (Диэлектрики на службе у нанoeлектроники)	235
Серебряные наночастицы	236
Решение (Серебряные наночастицы)	237
Золотые наночастицы	238
Решение (Золотые наночастицы)	239
Нанопузырек	240
Решение (Нанопузырек)	241
Канаты из нанотрубок	242
Решение (Канаты из нанотрубок)	243
Платиновый резистор	245
Решение (Платиновый резистор)	246

Флуоресцентная наноскопия	248
Решение (Флуоресцентная наноскопия)	249
QLED телевизор	251
Решение (QLED телевизор)	252
Квантовый размерный эффект в кремниевых нанокристаллах	253
Решение (Квантовый размерный эффект в кремниевых нанокристаллах)	254
История Олимпиады	255
История Олимпиады	255
Решение (История Олимпиады)	260
Тест ЗНТШ	265
Тест ЗНТШ	265
Решение (Тест ЗНТШ)	280
Нанотест - приглашение на Олимпиаду	287
Нанотест - приглашение на Олимпиаду	287
Решение (Нанотест - приглашение на Олимпиаду)	290



Заключительный этап. Биология

Комплекс предметов

Категория участников: школьники 7-11 классов

Задания заключительного этапа XV Всероссийской Интернет-Олимпиады "Нанотехнологии - прорыв в будущее!" по биологии.

Задачи 1-5 – простые, задачи 6-8 – сложные.

Задания

1. Зашифрованный город

2. Холодно ли березке зимой?

3. Очередь на клонирование

4. Определение наличия ДНК вируса

5. Антитела

6. Одинокая курица

7. Метаболизм Флэша

8. Фотобатарейка

ВСЕ ЗАДАЧИ СОБРАНЫ В ОДНОМ ФАЙЛЕ:



**Биология для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)
 Вариант II**

Задача 1. Зашифрованный город (8 баллов)

Учёные синтезировали пептид, в котором зашифровали место, где будут проводиться Олимпийские игры.

Дана последовательность нуклеотидов из части участка ДНК, комплементарная мРНК, которая содержит информацию о пептиде, включая стартовый и стоп кодон.

ACG ACG TAA TAC AAA GCA CGA TTG ACA CTT GGT CGG GCG TAG TCA ACT ACG TAA TAA

1. Напишите участок мРНК. **(1 балл)**
2. Используя таблицу кодонов, определите закодированный пептид. **(2 балла)**
3. Используя буквенный код аминокислот, расшифруйте закодированное слово. **(1 балл)**
4. Средняя относительная молекулярная масса аминокислоты 110, а нуклеотида 300. Сколько будет весить закодированный пептид, а сколько кодирующий его ген? **(2 балла)**.
5. Назовите аминокислоту, которая содержится в этом пептиде и является эндогенным источником оксида азота **(1 балл)**
6. Какова длина гена, если длина одного нуклеотида 0,34 нм? **(1 балл)**

Таблица кодонов				
1-е основание	2-е основание			
	U	C	A	G
U	UUU Фенилаланин (F) UUC Фенилаланин (F) UUA Лейцин (L) UUG Лейцин (L)	UCU Серин (S) UCC Серин (S) UCA Серин (S) UCG Серин (S)	UAU Тирозин (Y) UAC Тирозин (Y) UAA Стоп-кодон (Ochre) UAG Стоп-кодон (Amber)	UGU Цистеин (C) UGC Цистеин (C) UGA Стоп-кодон (Opal) UGG Триптофан (W)
C	CUU Лейцин (L) CUC Лейцин (L) CUA Лейцин (L) CUG Лейцин (L)	CCU Пролин (P) CCC Пролин (P) CCA Пролин (P) CCG Пролин (P)	CAU Гистидин (H) CAC Гистидин (H) CAA Глутамин (Q) CAG Глутамин (Q)	CGU Аргинин (R) CGC Аргинин (R) CGA Аргинин (R) CGG Аргинин (R)
A	AUU Изолейцин (I) AUC Изолейцин (I) AUA Изолейцин (I) AUG Метионин, (M) Стартовый	ACU Треонин (T) ACC Треонин (T) ACA Треонин (T) ACG Треонин (T)	AAU Аспарагин (N) AAC Аспарагин (N) AAA Лизин (K) AAG Лизин (K)	AGU Серин (S) AGC Серин (S) AGA Аргинин (R) AGG Аргинин (R)
G	GUU Валин (V) GUC Валин (V) GUA Валин (V) GUG Валин (V)	GCU Аланин (A) GCC Аланин (A) GCA Аланин (A) GCG Аланин (A)	GAU Аспарагин. кислота (D) GAC Аспарагин. кислота (D) GAA Глутамин. кислота (E) GAG Глутамин. кислота (E)	GGU Глицин (G) GGC Глицин (G) GGA Глицин (G) GGG Глицин (G)

Задача 2. Холодно ли березке весной? (8 баллов)

Известно, что скорость химических реакций подчиняется правилу Вант-Гоффа. В частности, для химических реакций, протекающих в растениях, при увеличении температуры на каждые 10°C скорость реакций повышается в 2,5 раза. В то же время, активность ферментов темновой стадии фотосинтеза зависит от температуры более сложным образом и имеет свои особенности для разных видов растений. Предположим, что для лиственных растений средней полосы, например, березы, активность ферментов меняется так, как показано на графике (конечно, каждый отдельный фермент имеет свою зависимость активности от температуры, но для простоты предположим, что все эти зависимости одинаковы):

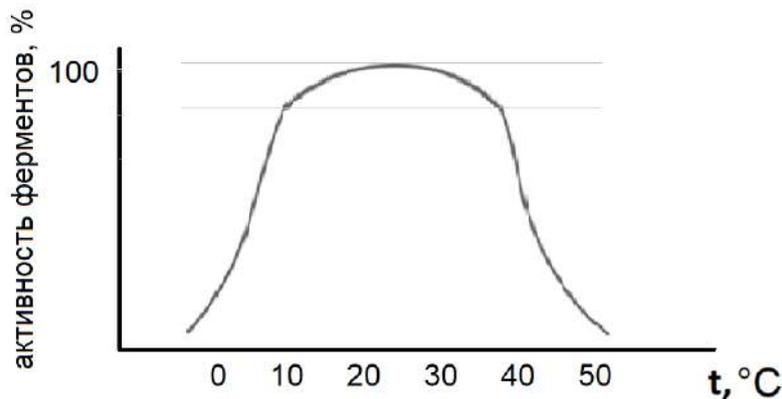


Рис. 1. Зависимость активности ферментов темновой стадии фотосинтеза от температуры.

1. Ферменты — это катализаторы биохимических процессов. К каким соединениям они (в основном) относятся по химической структуре? **(2 балла)**
 - а. липиды
 - б. полифосфаты
 - в. макроэргические соединения
 - г. белки
2. Исходя из ответа на вопрос 1, объясните, что произойдет с процессами фотосинтеза при повышении температуры до 80°C ? **(2 балла)**
3. Как вы думаете, как изменится скорость потребления углекислого газа, измеренная в светлое время суток весной при температуре $+5^{\circ}\text{C}$ по сравнению с летними условиями, когда температура составляет $+15^{\circ}\text{C}$? **(2 балла)**
 - а) Скорость потребления не изменится, т. к. известно, что падает скорость темновой стадии, а измерения проводили в светлое время суток.
 - б) Скорость увеличится пропорционально увеличению продолжительности светового дня, т. к. фотосинтез идет на свету.
 - в) Скорость уменьшится пропорционально уменьшению продолжительность темного времени суток, т. к. поглощение углекислого газа происходит в темновую стадию фотосинтеза.

- г) Скорость уменьшится согласно правилу Вант-Гоффа в 25 раз.
 - д) Скорость уменьшится согласно кривой зависимости активности ферментов от температуры.
4. Как изменится скорость фотосинтеза при температуре 0°C по сравнению с температурой +10°C? **(2 балла)**

При необходимости ответы поясните расчетами.

Задача 3. Очередь на клонирование (8 баллов)

Аспирантка Маша с детства мечтала увидеть живого мамонта, шерстистого носорога, динозавров и других животных, которые давно вымерли и о которых мы знаем только по их останкам, сохранившимся в земле. Работая в генно-инженерной лаборатории, она решила попробовать «оживить» шерстистого носорога. В настоящее время существует несколько подходов к клонированию животных, Маша выбрала один из них.

1. Помогите Маше составить правильный план работы, выбрав нужные этапы и расположив их в правильной последовательности. Ответ представьте в виде последовательность букв. **(4 балла)**
- а) Поместить модифицированную эмбриональную клетку в матку носорога, дождаться рождения детеныша носорога.
 - б) Найти достаточно хорошо сохранившийся фрагмент тканей шерстистого носорога.
 - в) Определить нуклеотидную последовательность ДНК (секвенирование).
 - г) Поместить фрагмент ткани ископаемого животного на питательную среду в чашке Петри.
 - д) Генно-инженерными методами модифицировать геном носорога тех местах, где он отличается от генома шерстистого носорога, внедрив в него гены шерстистого носорога.
 - е) Ввести измененный геном носорога в эмбриональную клетку.
 - ж) Дождаться дифференцировки клеток в чашке Петри.
 - з) Выделить сохранившиеся фрагменты ДНК.
 - и) Быстро нагреть образец ископаемой ткани до 60°C.
 - к) Сравнить полученную последовательность ДНК шерстистого носорога с известной последовательностью ДНК его ближайшего родственника, живущего в настоящее время, — носорога.

2. Известно, что период полураспада ДНК в ископаемых останках животных составляет 512 лет. Распад ДНК – это разрушение химических связей. Связи разрушаются в разных местах, но для простоты будем считать, что разрушаются связи между соседними нуклеотидами в цепочках ДНК. За 512 лет разрушается половина этих связей. Организм крупного животного состоит из примерно 10^{15} клеток (10^{15} приблизительно равно 2^{50}). Длина ДНК, содержащейся в одной клетке, приблизительно составляет $4.7 \cdot 10^9$ пар оснований ($4.7 \cdot 10^9$ приблизительно равно 2^{32}). Если распадутся практически все связи между основаниями в ДНК, секвенировать геном будет невозможно даже при помощи самых современных методов. Выберите из списка животных, которых в принципе можно попробовать клонировать. Ответ подтвердите расчетами **(4 балла)**.

Индрикотерии – самые большие сухопутные млекопитающие в истории Земли, весом до 20 тонн. Обитали во многих районах Азии в период 30-20 млн. назад.

Целодонт – шерстистый носорог, последние особи жили 70 тыс. лет назад.

Эласмотерии – род носорогов, обитавших в степях Евразии, вымерли около 30 тыс. лет назад.

Пещерный медведь – доисторический вид медведей, живший в Евразии и вымерший примерно 15 тыс. лет назад.

Гомотерии – вымерший род саблезубых кошек, обитавших в Евразии, Африке и Северной Америке 10 тыс. лет назад.

Задача 4. Определение наличия ДНК вируса (8 баллов)

В 1990е годы перспективным методом детекции нуклеиновых кислот был почти забытый сейчас метод Digene – основанный на принципе гибридизации участка ДНК или РНК в растворе пробы с комплементарной последовательностью - мишенью.

В одном из вариантов метод работает так – на подложку прикреплен белок, связанный с зондом (последовательности ДНК или РНК, комплементарной той последовательности, которую мы хотим обнаружить в пробе). Этот белок также имеет домен, активирующийся при успешной гибридизации искомой последовательности с зондом. Активация в данном случае – это изменение конфигурации этого домена.

Активированный домен белка способен связаться с флуоресцентным белком-меткой, который мы добавили в раствор заранее. Метка, связанная с доменом белка на подложке, начинает флуоресцировать при определенной длине волны – то есть она тоже активируется. А на нее может сесть еще несколько таких же меток, а на них еще и еще, образуя целую гроздь активированных меток – таким образом достигается усиление сигнала. Если же белок-метка «сорвался» с грозди, он теряет способность к флуоресценции.

Этот метод был предложен для автоматического детектирования ДНК вируса папилломы человека (ВПЧ), выделенной из клеток эпителия.

В случае заболевания в биопсии из эпителиальной ткани может быть от 3 до 70 тысяч единиц ДНК. При изготовлении пробы из взятой биопсии получают ровно 1 миллилитр раствора для исследования его этим методом. Изобретатель Архимедочевский решил создать прибор, который будет автоматически детектировать ДНК ВПЧ методом Digene:

Изобретатель хотел использовать четыре разных метода нанесения пробы на подложку:

- 1) внести каплю пробы в микропробирку, наполненную нейтральным раствором с зондом на дне пробирки;
- 2) нанести каплю пробы, содержащей ДНК, на сухую подложку с зондом;
- 3) внести каплю пробы в микропробирку, наполненную нейтральным раствором, затем осадить на центрифуге, после чего раствор над осадком перенести в новую микропробирку для исследования в приборе;
- 4) внести каплю пробы в микропробирку, наполненную нейтральным раствором с зондом на дне пробирки, после чего раствор осадить на центрифуге.

1. Какой из способов вы бы порекомендовали Архимедочевскому и почему? **(4 балла)**
2. Изобретатель хотел также, чтобы прибор мог работать с пробой минимального возможного объема, при этом прибор должен подавать сигнал, если концентрация ДНК вируса превысит 50 тысяч копий на миллилитр. При выбранном оптимальном методе вероятность того, что единичная молекула ДНК взаимодействует с зондом, составляет 85%. Вероятность того, что активированная молекула зонда даст флуоресцентный ответ и будет зафиксирована прибором, составляет 70%. Для точного срабатывания детектора достаточно, чтобы прибор зафиксировал примерно 300 активированных молекул зонда. Каков будет минимальный объем пробы? **(4 балла)**

Задача 5. Антитела (8 баллов)

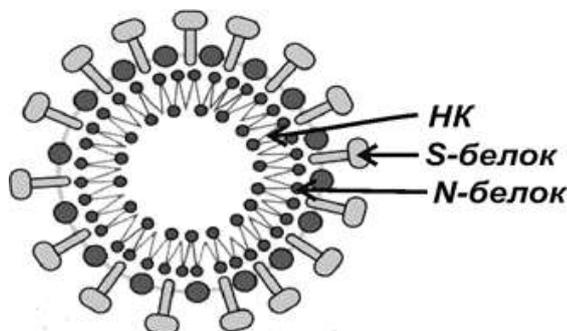


Рис. 1.

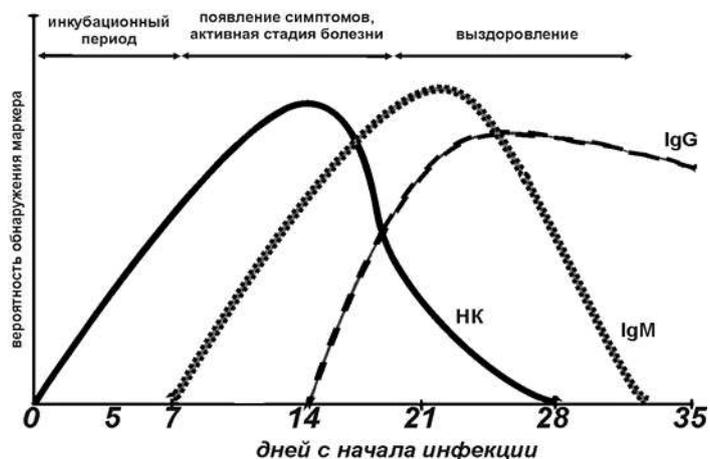


Рис. 2.

Этот вопрос, как и ряд вопросов заочного тура, посвящен иммунитету. В этот раз речь пойдет о некоторых особенностях работы антител (здесь мы считаем, что антитела и иммуноглобулины одно и то же). Антитела – это белки плазмы крови, синтезируемые клетками иммунной системы, и предназначенные для нейтрализации или мечения различных патогенов, которые в дальнейшем уничтожаются другими компонентами иммунной системы. Антитело распознает уникальный элемент патогена – антиген. К антигену может быть синтезировано несколько антител, распознающих его различные участки.

Существует несколько классов антител, из которых нас будут интересовать два: антитела класса М (IgM) и антитела класса G (IgG). IgM — наиболее большие (тяжелые) и сложно организованные антитела, при первичном столкновении с антигеном IgM образуются первыми, довольно быстро исчезают, наличие в плазме крови IgM против определённых возбудителей свидетельствует о ранних этапах инфекции, могут подходить к нескольким антигенам одновременно. IgG — наиболее часто встречаемые антитела в плазме крови, формируются несколько недель спустя после появления антигена, связывание IgG с патогенами вызывает их иммобилизацию и связывание друг с другом, это наиболее специфичные и эффективные среди антител.

1. Существует некий вирус, который содержит нуклеиновые кислоты (НК), связанные с белком-нуклеокапсидом (N-белком), окружённый оболочкой в которой находятся белки шипы (S-белки) при помощи которых вирус прикрепляется к клетке (см. рисунок 1 к задаче). Есть несколько методик обнаружения вируса в организме, основанные на обнаружении специфичного участка нуклеиновых кислот (оценивается мазок из носоглотки, наличие положительного мазка подразумевает возможность заражать окружающих), наличии специфичного IgM к S-белку и наличии специфичного IgG к S-белку. Время появления каждого признака от начала инфекции показано на рисунке 2 к задаче.

Таблица 1.

№	HK	IgM	IgG
1	+	-	-
2	+	+	-
3	+	+	+
4	-	+	+

У испытуемого одновременно берут три теста, основанного на различных методиках. Результаты тестов можно представить в виде таблицы, где плюс обозначает наличие тестируемого признака (специфических нуклеиновых кислот, специфических IgM и/или IgG), а минус – его отсутствие (это качественные тесты). Перед вами несколько вариантов результатов тестов (см. Таблица 1). Объясните их значение. **(4 балла)**

2. Существуют тест-системы, оценивающие в организме наличие только S- или только N-белка (см. рисунок 1 к задаче). Добровольцы, некоторые из которых были привиты вакциной создающей антитела к S-белку, сделали одновременно оба этих теста. Объясните полученные результаты (Таблица 2). **(4 балла)**

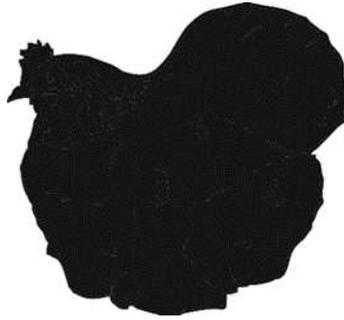
Таблица 2.

№	S-белок	N-белок
5	-	-
6	+	-
7	-	+
8	+	+

!!! Пожалуйста, объяснения пишите коротко и понятно, а главное, чтобы было понятно к какому пункту они относятся. Давайте считать, что результаты тестов верны (нет ошибки измерения или других ошибок).

За каждый правильный ответ (пункт в Таблицах) вы получаете один балл.

Задача 6. Одинокая курица (20 баллов)



На изолированный остров в Нанонезии попала курица. Местные слышали о таком звере, но никогда его не видели и восприняли его как дар богов. Когда курица стала нести яйца их вместе с гнездом и курицей поместили в пещеру-храм, заходить куда мог только жрец, где постоянно горел огонь, и было жарко даже для тропического острова. Впрочем, курица это вытерпела, более того появился цыпленок, появление которого восприняли как чудо. Впоследствии куры расплодились на острове и, хотя их и продолжали воспринимать как дар, но это не мешало использовать яйца и самих кур как источник еды. Впоследствии попавшими на остров учеными было объяснена загадка появления первого цыпленка, да и сами куры оказались родственны курам с соседних островов, отличались они, главным образом долей курчавых кур. Если на ближайших островах соотношение было близко к 1:1, то на этом острове оно стремилось к 1:3 (курчавые: обычные).

Примечание: Курчавость обусловлена изгибом перьев, что придает птицам пышный и слегка всклокоченный вид. За курчавость у кур отвечает два гена, расположенных на аутосомных хромосомах F и Mf. Генотип ff обуславливает нормальные перья, независимо от действия второго гена, Ff – изогнутые перья, также его наличие приводит у некоторому увеличению внутренних органов (FF – летальная форма, поскольку помимо изгиба перьев происходит увеличение внутренних органов, что приводит к смерти в эмбриональном состоянии). Ген Mf влияет на степень изгиба пера, mfmf – перо практически неизогнуто (куры выглядят как обычные), Mfmf – небольшой изгиб пера (среднекурчавые куры), MfMf – большой изгиб пера (сильнокурчавые куры).

Подсказки:

1. В неоплодотворенном яйце изначально один набор генов, затем он удваивается (дублируется).
2. У птиц другие обозначения половых хромосом Z и W (и вообще там все по-другому), WW формы нежизнеспособны и гибнут на стадии эмбриона.
3. На ближайших островах соотношение фенотипов кур на самом деле было 1:2:3 (сильнокурчавые : среднекурчавые : обычные).
4. Птица, попавшая на остров, была средней курчавости.

Вопросы:

1. Как называется тот процесс, благодаря которому появился самый первый цыпленок (попытайтесь написать больше одного слова)? **(2 балла)**
2. Каков был генотип кур по степени курчавости на ближайших островах? **(8 баллов)**
3. Какой у него был пол, каков его генотип и фенотип первого цыпленка (была ли птица курчавой и в какой степени)? **(6 баллов)**
4. Каков генотип и какова степень курчавости кур на изолированном острове? **(4 балла)**

Задача 7. Метаболизм Флэша (20 баллов)

Во время взрыва в химической лаборатории в организм студента Флэша попали загадочные химические вещества, которые привели к тому, что процессы энергетического обмена у него стали в два раза эффективней, чем у обычного человека.

Обычный человек весом 60 кг при беге с темпом 6 мин/км тратит в течение часа порядка 2400 кДж. При этом первые 45 минут в его организме происходит полное окисление глюкозы, а последние 15 минут только гликолиз. Флэш за час такого же бега тратит в два раза меньше энергии.

Примечание: 1 моль АТФ дает 50 кДж энергии, молекулярная масса глюкозы 180, каждую минуту бегун тратит одинаковое количество энергии, полученная энергия тратится только на бег.

1. Рассчитайте, сколько молей АТФ потратил обычный бегун в течение часового бега? **(7 баллов)**
2. Рассчитайте, сколько граммов глюкозы потребовалось Флэшу для часового бега, при условии, что у него также первые 45 минут происходит полное окисление глюкозы, а последние 15 минут только гликолиз? **(7 баллов)**
3. Рассчитайте, сколько молекул молочной кислоты и углекислого газа образовалось в течение часового бега Флэша? **(6 баллов)**

Задача 8. Фотобатарейка (20 баллов)

Растения и некоторые бактерии обладают удивительной способностью производить органическое вещество буквально из воздуха под действием космического излучения солнца. Этот процесс называется фотосинтез. Однако при низком содержании CO_2 в воздухе, например, в условиях избыточной инсоляции и повышенной температуры, растениям труднее усваивать CO_2 из атмосферы для синтеза органических соединений. Поэтому некоторые растения «придумали» способ усваивания углерода в растворенной форме.

1. В какой форме такие растения усваивают CO_2 ? (1 балл)
 - а) CO_2 (в пузырьках)
 - б) CO_3^{2-}
 - в) HCO_3^-
 - г) H_2CO_3

2. Какие растения из перечисленных обладают такой способностью? (2 балла)
 - а) Сахарный тростник
 - б) Клюква
 - в) Папоротник орляк обыкновенный
 - г) Ананас
 - д) Черника
 - е) Молодило («каменная роза»)

3. Какова эффективность фотосинтеза растений? (1 балл)
 - а) 100%
 - б) 50%
 - в) 10%
 - г) 1%

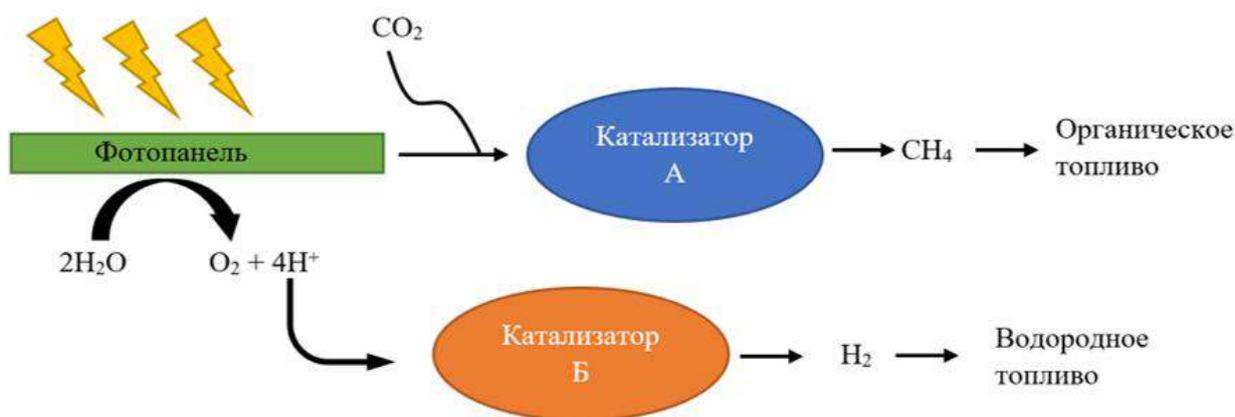


Рис. 1. «Искусственный фотосинтез»

Многие годы ученые пытаются использовать идею фотосинтеза для производства топлива с помощью энергии света. Перед вами гипотетическая схема устройства, производящего водородное и органическое (гидрокарбонатное) топливо за счет энергии света.

Сопоставив представленную схему с реальным процессом фотосинтеза в тканях растения, ответьте на вопросы:

4. На фотопанели происходит возбуждение фоточувствительных молекул, в результате чего они передают электрон в электрическую цепь и могут стать акцепторами электронов, поступающих от воды. Какая молекула ведет себя так же в реальных фотосинтетических мембранах? **(1 балл)** В чем опасность избыточного накопления электронов в электрон-транспортных цепях растений? **(1 балл)**
5. Какой процесс фотосинтеза имитирует катализатор А? **(1 балл)** В какой фазе фотосинтеза он происходит? **(1 балл)**
6. Какие молекулы улавливают свет в фотосинтетических мембранах растений? **(2 балла)**
7. Как называется реакция с образованием кислорода под действием света? **(1 балл)**
8. Как используются протоны в реальных фотосинтетических мембранах? **(1 балл)** Где еще в клетках эукариот происходит аналогичное применение протонов? **(1 балл)**
9. Что является «органическим топливом» для живых растений? **(1 балл)** В какой фазе фотосинтеза оно синтезируется? **(1 балл)**
10. Вообразим, что жители глубоководного города Атлантида решили построить электростанцию, получающую энергию из солнечного света. Какой спектр света должны улавливать солнечные батареи в таких условиях? **(1 балл)** Пигменты каких реально существующих фотосинтезирующих растений могли бы использовать жители Атлантиды для этих целей? **(1 балл)**
11. Какие соединения могут использоваться как доноры электронов для организмов, обитающих возле глубоководных «черных курильщиков»? **(2 балла)** Какой тип получения энергии чаще всего используют автотрофные организмы в таких условиях? **(1 балл)**



Биология для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)
Вариант II. Решения

Решения задачи 1. Зашифрованный город (8 баллов)

1. AUG UUU(F) CGU(R) GCU(A) AAC(N) UGU(C) GAA(E) CCA(P) GCC(A) CGC(R) AUC(I) AGU(S) UGA **(1 балл)**
2. Фенилаланин-аргинин-аланин-аспарагин-цистеин-глутаминовая кислота- пролин-аланин-аргинин-изолейцин-серин **(2 балла)**
3. FRANCE PARIS **(1 балл)**
4. Масса пептида $11 \times 110 = 1210$ без старт- и стоп кодона;
Со старт- и стоп-кодоном 1430;
Масса гена – 9900 или 11700 **(2 балла)**
5. Аргинин **(1 балл)**
6. Длина гена = $13 \times 3 \times 0,34 = 13,26$ нм **(1 балл)**

Решение задачи 2. Холодно ли березке весной? (8 баллов)

1. г. Ферменты по химической структуре являются белками. **(2 балла)**
2. При температуре более 55°C белки, как правило, денатурируют, их третичная структура меняется, и они больше не могут выполнять свои каталитические функции. **(2 балла)**
3. д. Потребление углекислого газа происходит в результате химических реакций темновой стадии фотосинтеза. Темновая стадия идет тогда, когда в ходе световой стадии запасено достаточное количество энергии в форме АТФ и восстановленного НАДФ. Ее скорость может регулироваться освещенностью, но в нашем случае указано, что измерения проводили в светлое время суток. При указанном снижении температуры скорость потребления углекислого газа уменьшится согласно кривой зависимости активности ферментов от температуры, поскольку скорость биохимических реакций в основном определяется активностью ферментов. **(2 балла)**
4. При температуре 0°C, согласно кривой активности ферментов для лиственных деревьев, активность ферментов темновой стадии равна нулю, значит и скорость фотосинтеза уменьшится до нуля. **(2 балла)**

Решение задачи 3. Очередь на клонирование (8 баллов)

1. б з в к д е а (4 балла):

- б) Найти достаточно хорошо сохранившийся фрагмент тканей шерстистого носорога.
- з) Выделить сохранившиеся фрагменты ДНК.
- в) Определить нуклеотидную последовательность ДНК (секвенирование).
- к) Сравнить полученную последовательность ДНК шерстистого носорога с известной последовательностью ДНК его ближайшего родственника, живущего в настоящее время, — носорога.
- д) Генно-инженерными методами модифицировать геном носорога тех местах, где он отличается от генома шерстистого носорога, внедрив в него гены шерстистого носорога.
- е) Ввести измененный геном носорога в эмбриональную клетку.
- а) Поместить модифицированную эмбриональную клетку в матку носорога, дождаться рождения детеныша носорога.

2. В организме 2^{50} клеток, в каждой клетке 2^{32} пар оснований, таким образом полная длина ДНК в организме – 2^{82} . За каждые 512 лет распадается половина связей между основаниями. Практически полностью все связи распадутся через $512 \cdot 82$ лет, т. е. примерно за 42 тысячи лет. Таким образом, в принципе можно клонировать животных, вымерших позже целодонтов (эласмотерии, пещерный медведь). План Маши, к сожалению, не сработает. (4 балла)

Решение задачи 4. Определение наличия ДНК вируса (8 баллов)

1. Центрифугование раствора в пробирке (4). Вариант (1) требует больше времени, при варианте (3) при центрифугировании раствора мы осаждаем пробу в осадок, а в растворе просто не остается ДНК вируса, вариант (2) неприемлем потому, что за счет сил поверхностного натяжения часть молекул пробы так и не вступит в гибридизацию с зондом. (4 балла)

2. Первый этап – вероятность события равна произведению вероятностей – для данного случая 0,595 (59,5%). Это есть, чтобы получить сигнал срабатывания прибора, нам надо, чтобы протектировались 29750 копий на миллилитр (1000 микролитров).

Второй этап – посчитаем, сколько молекул должно быть в пробе, чтобы система сработала (при 300 молекулах). Итого нам надо, чтобы в пробе было $300/0,595 = 504$ молекулы.

Третий этап - в каком объеме пробы будет 504 молекулы, если в 1000 микролитров их 50000? Решаем пропорцию – получаем 10,084 микролитров (около 10 мкл). Это и есть правильный ответ. Возможны и другие пути решения. (4 балла)

Решение задачи 5. Антитела (8 баллов)

1. Таблица 1 (4 балла)

№	НК	IgM	IgG	Ответ
1	+	-	-	Наиболее вероятна начальная стадия инфекции, антитела еще не сформировались
2	+	+	-	Вероятно развитие заболевания (острая фаза), начали появляться антитела к вирусу
3	+	+	+	Активная стадия заболевания, начали появляться антитела, вирус еще присутствует в организме
4	-	+	+	Вероятна стадия восстановления или поздняя стадия заболевания, скорее всего вирус в организме отсутствует, а антитела есть

2. Таблица 2 (4 балла)

№	S-белок	N-белок	Ответ
5	-	-	У добровольца нет антител к вирусу, либо он не сталкивался с вирусом, либо находится на ранней стадии заболевания
6	+	-	Наличие антител к S-белку, скорее всего, свидетельствует о том, что доброволец сделал прививку, но не сталкивался с настоящим вирусом, так как у него отсутствуют антитела к другим вирусным белкам
7	-	+	Не совсем понятная ситуация. Скорее всего, доброволец контактировал с вирусом или даже переболел, раз у него сформировались антитела к N-белкам, однако отсутствие антител к S-белкам не позволяют нейтрализовать прикрепление и проникновения вируса в клетки, то есть данный доброволец может быть уязвим к последующим заражениям.
8	+	+	Наличие антител к вирусным белкам позволяет предположить, что доброволец переболел и у него сформировался иммунитет (это не исключает того, что после в процессе или до болезни он прививался).

Решение задачи 6. Одинокая курица (20 баллов)

Как вы уже догадались, этот процесс – партеногенез. В принципе, этого достаточно для ответа на вопрос. Если вы дали хотя бы одно дополнительные определение этого процесса (искусственный, похоже в нашей задаче причиной явилась высокая температура и тд), или дали его определение (одна из форм полового размножения, при которой яйцеклетки развиваются без оплодотворения), то вы получали 2 балла.

За курчавость отвечают два несцепленных признака. Давайте попробуем написать решетку Пеннета:

	FMf	Fmf	fMf	fmf
FMf	FFMfMf	FFMfmf	FfMfMf	FfMfmf
Fmf	FFMfmf	FFmfmf	FfMfmf	Ffmfmf
fMf	FfMfMf	FfMfmf	ffMfMf	ffMfmf
fmf	FfMfmf	Ffmfmf	ffMfmf	ffmfmf

Если мы попробуем оценить вероятности появления сильнокурчавых (желтый), среднекурчавых (светло-желтый) и некурчавых (оттенки зеленого) птиц, то обнаружим полное совпадение с условиями задачи (фенотипом), то есть у нас наблюдается дигибридное скрещивание, в котором часть потомков погибает (черный). Генотипы кур по степени курчавости представлены на рисунке.

У кур генотип самок ZW, у самцов ZZ. В случае партеногенеза яйцо содержит либо W, либо Z-хромосому, затем происходит удвоение генов. WW-нежизнеспособны и гибнут на стадии эмбриогенеза. Соответственно, у цыпленка будет генотип ZZ и он вырастет в петуха.

Далее, раз генотип удваивается, у самцов должны быть одинаковые аллели, причем FF быть не может (наличие такого генотипа летально), значит могут быть два варианта: **ffmf** и **ffMfMf** – т.е оба с нормальными перьями.

Поскольку у нас курица средней курчавости, а признаки несцеплены, то с ее стороны возможны четыре варианта гамет, а со стороны самца- один:

	FMf	Fmf	fMf	fmf
fmf	FfMfmf	Ffmfmf	ffMfmf	ffmfmf

или

	FMf	Fmf	fMf	fmf
fMf	FfMfMf	FfMfmf	ffMfMf	ffMfmf

Распределение по фенотипу в этом случае составит 1 (среднекурчавые): 3 обычные или, во втором случае, 1 (курчавые): 1 (среднекурчавые): 1 (нормальные). То есть, согласно условию задачи, в партерогенетическом поколении у нас были самцы с нормальным оперением и генотипом **ffmfmf**.

Итак:

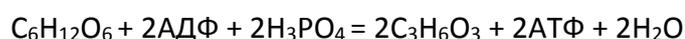
1. Партерогенез – одна из форм полового размножения, при которой яйцеклетки развиваются без оплодотворения. Наблюдался искусственный, факультативный, полный партерогенез. **(2 балла)**.
2. У птиц на соседних островах присутствовали следующие генотипы FfMfMf:FfMfmf:FfMfmf:ffMfMf:ffMfmf:ffmfmf в соотношении 2:4:2:1:2:1. **(8 баллов)**
3. Петух, с нормальными перьями и генотипом **ffmfmf**. **(6 баллов)**
4. Распределение по фенотипу 1 (среднекурчавые): 3 обычные; по генотипу **FfMfmf:FfMfmf:ffMfmf:ffmfmf** в соотношении 1:1:1:1. **(4 балла)**

Решение задачи 7. Метаболизм Флэша (20 баллов)

1. У обычного бегуна в течение часового бега тратится $2400/50 = 48$ моль АТФ. Для ответа на этот вопрос не имеет значения, каким именно образом получена АТФ – при полном окислении глюкозы или при гликолизе. **(7 баллов)**
2. В данном случае считаем, что у Флэша увеличение эффективности процессов энергообмена (по условию) происходит из-за того, что более эффективно используется энергия АТФ, но при этом молекулы АТФ при распаде дают столько же энергии, сколько и у обычных людей, т.е. 50 кДж/моль.

За час Флэш тратит $2400/2 = 1200$ кДж, т.е. $1200/60 = 20$ кДж в минуту. Следовательно, за последние 15 минут бега (при анаэробном окислении глюкозы) было потрачено $15 \cdot 20 = 300$ кДж энергии, при этом израсходовано $300/50 = 6$ моль АТФ.

Находим, сколько моль глюкозы необходимо Флэшу для образования 6 моль АТФ при гликолизе. Уравнение гликолиза:



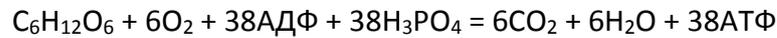
1 моль глюкозы - 2 моль АТФ

X моль глюкозы - 6 моль АТФ, следовательно,

X = 3 моль глюкозы

За первые 45 минут (при полном окислении глюкозы) Флэш потратил $1200 - 300 = 900$ кДж, или $900/50 = 18$ моль АТФ.

Определяем, сколько молей глюкозы потребуется Флэшу на образование 18 моль АТФ при полном окислении глюкозы в его организме. Суммарное уравнение окисления глюкозы при аэробных условиях (клеточное дыхание):



1 моль глюкозы – 38 моль АТФ

X моль глюкозы – 18 моль АТФ, следовательно,

X = $18/38 \approx 0,47$ моль глюкозы.

Суммарно Флэшу потребуется $3 + 0,47 = 3,47$ моль глюкозы, или $3,47 \times 180 = 625$ г глюкозы. **(7 баллов)**

3. В соответствии с суммарным уравнением клеточного дыхания находим, сколько всего углекислого газа образовалось при полном окислении глюкозы во время бега Флэша. Нужно исходить из того, что CO_2 образуется только при полном окислении глюкозы, то есть только в первые 45 минут бега Флэша:

1 моль глюкозы – 6 моль CO_2

0,47 моль глюкозы – X моль CO_2

X = 2,8 моль CO_2 .

Количество молекул $CO_2 = 2,8 \times 6 \times 10^{23} = 1,7 \times 10^{24}$ **(3 балла)**

Молочная кислота образуется только в анаэробных условиях без дальнейшего протекания окислительного фосфорилирования, то есть только в последние 15 минут бега Флэша. В соответствии с суммарным уравнением окисления глюкозы при анаэробных условиях, из одного моля глюкозы образуется 2 моля лактата, а из 3 молей, как у Флэша, – 6 молей лактата.

Количество молекул лактата = $6 \times 6 \times 10^{23} = 3,6 \times 10^{24}$ **(3 балла)**

Решение задачи 8. Фотобатарейка (20 баллов)

1. в (1 балл)
2. а, г, е (2 балла)
3. г (1 балл)
4. Хлорофилл улавливает свет, переходит в возбужденное состояние, в котором становится хорошим донором электронов в электрон-транспортную цепь. После передачи электрона хлорофилл становится хорошим акцептором электронов. (1 балл) Избыточное накопление электронов может приводить к их "утечке" из электрон-транспортной цепи на кислород с образованием активных форм кислорода, обладающих разрушающим действием. (1 балл)
5. Поглощение/усваивание/восстановление углерода из CO₂ из воздуха (на ферменте РУБИСКО) (1 балл) в темновой фазе фотосинтеза (1 балл).
6. Хлорофиллы типа а и b, каротиноиды в высших растениях, (дополнительно) фикобилисомы – в некоторых водорослях, например, багрянках. (2 балла)
7. Фотолиз воды. (1 балл)
8. Для производства энергии АТФ (1 балл), аналогично происходит в митохондриях (1 балл).
9. Глюкозу можно назвать "органическим топливом" растений. (1 балл) Синтез глюкозы происходит в темновой фазе фотосинтеза с затратой энергии. (1 балл) Также принимается ответ, что «органическим топливом» является АТФ, образующийся в световой фазе фотосинтеза.
10. В толщу воды проникают только синие лучи спектра, поэтому именно их нужно улавливать. (1 балл) У некоторых организмов есть пигменты, которые способны улавливать свет именно этих длин волн, например, пигменты красных водорослей, цианобактерий, криптофитов и т. д. (1 балл)
11. Сероводород, тиосульфат, железо и т.д. (2 балла) Хемосинтез. (1 балл)



Заключительный этап. Математика

Комплекс предметов

Категория участников: школьники 7-11 классов

Задания заключительного этапа XV Всероссийской Интернет-Олимпиады "Нанотехнологии - прорыв в будущее!" по математике.

Задачи 1-5 – простые, задачи 6-8 – сложные.

Задания

1. Нанонить

2. Тетраэдрические матрешки

ВНИМАНИЕ! В ЗАДАЧЕ 2 ВОПРОС ДОЛЖЕН ВЫГЛЯДЕТЬ СЛЕДУЮЩИМ ОБРАЗОМ:

Найдите n , x , y , если известно, что $x + y = 3n - 1$, $x - y = 11$

3. Мозаика вирусного капсида

4. Адсорбент

5. Два наносвертка

6. Шестиугольный фуллерен

7. Губка Менгера

8. Биметаллический кубookтаэдр. Часть 2

ВСЕ ЗАДАЧИ СОБРАНЫ В ОДНОМ ФАЙЛЕ (дополнительные материалы даны в конце файла, калькулятором пользоваться запрещено):



Математика для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)
Вариант IV

Задача 1. Нанонить (8 баллов)

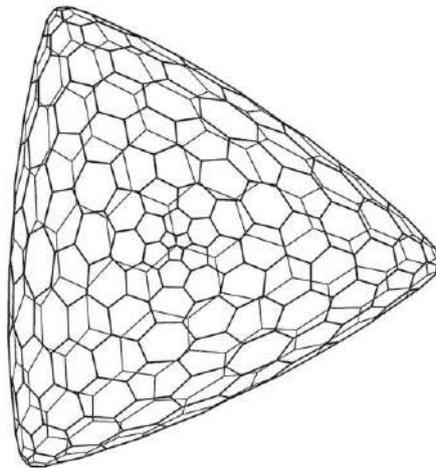
Вольфрамовую проволоку диаметром $d_1 = 4,6$ мкм вытягивают в нанонить толщиной $d_2 = 100$ нм.

Во сколько раз при этом увеличивается:

- а) ее длина? (4 балла)
- б) площадь ее поверхности? (4 балла)

Считать, что плотность материала при его вытягивании неизменна.

Задача 2. Тетраэдрические матрешки (8 баллов)



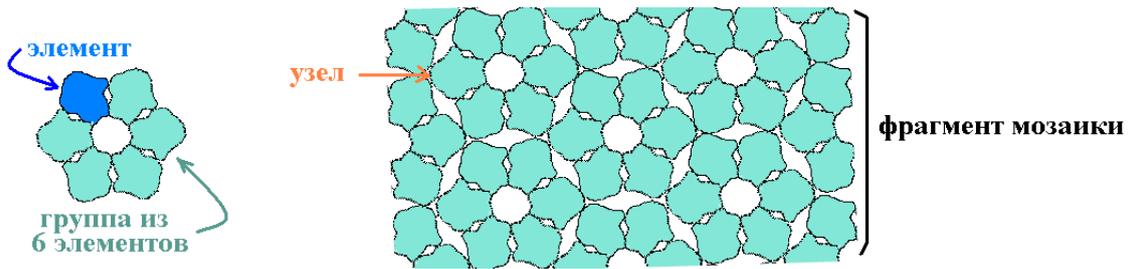
Рассмотрим фуллерены (углеродные каркасные молекулы) в форме тетраэдра, в которых пара целых неотрицательных чисел n и m ($n \geq m$) задает число атомов по формуле

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

Для некоторой фуллереновой матрешки, представляющей собой два вложенных друг в друга тетраэдрических фуллерена (n, n) и $(n + 1, n + 1)$, существует имеющий такое же число атомов тетраэдрический фуллерен (x, y) .

Найдите n, x, y , если известно, что $x + y = 3n - 1$, $x - y = 11$.

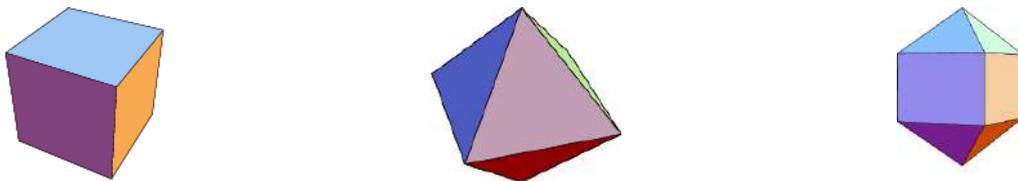
Задача 3. Мозаика вирусного капсида (8 баллов)



Оболочка многих вирусов (капсид) представляет собой замкнутую мозаику, которая складывается из одинаковых белковых *элементов*. Элементы в структуре мозаики, в свою очередь, объединены в *группы* по 5, 6 и 7 штук так, что в любом узле мозаики эти группы сходятся по 3 (см. рисунок).

Капсид некоторого гигантского вируса содержит 1997 и 6 групп по 6 и 7 элементов, соответственно. Воспользовавшись теоремой Эйлера для выпуклых многогранников, рассчитайте общее число элементов **N** и общее число групп элементов **G** в таком капсиде.

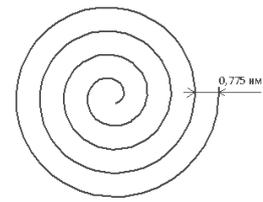
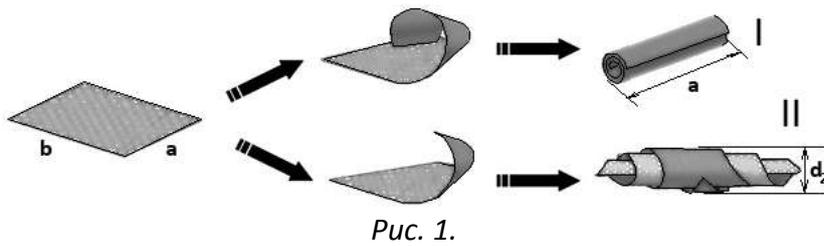
Задача 4. Адсорбент (8 баллов)



В лаборатории получены наночастицы некоторого Адсорбента в форме куба, октаэдра и правильной удлиненной квадратной бипирамиды, см. рисунок.

Рассчитайте длину ребра **A** (в нм) для каждого из видов наночастиц, если известно, что отношение площади поверхности к объему S/V у них одинаково и равно $1,2 \text{ нм}^{-1}$.

Задача 5. Два наносвертка (8 баллов)



Прямоугольный лист двумерного наноматериала – дисульфида вольфрама – в некоторых условиях может сворачивается без зазоров в наносвертки двух типов (рис. 1):

- I тип – продольный (сворачивается вдоль длинного края, $b > a$),
- II тип – диагональный (сворачивается вдоль диагонали прямоугольника).

Поперечное сечение этих наносвертков представляет собой спираль с шагом витка, равным толщине листа дисульфида вольфрама, $c = 0,775$ нм (рис. 2).

Оцените длину a (в нм) наносвертка I типа, если длина исходного листа равна $b = 500$ нм, а максимальный диаметр наносвертка II типа составляет $d_2 = 25$ нм.

Задача 6. Шестиугольный фуллерен (20 баллов)

Рассмотрим 4 типа фуллеренов (углеродных каркасных молекул, состоящих из пяти- и шестиугольников), форма которых подобна шестиугольной призме либо шестиугольной антипризме (рис. 1). Каждый тип однозначно определяется двумя парами индексов $(n, m)^1$, задающими длину ребра основания и длину бокового ребра, соответственно.

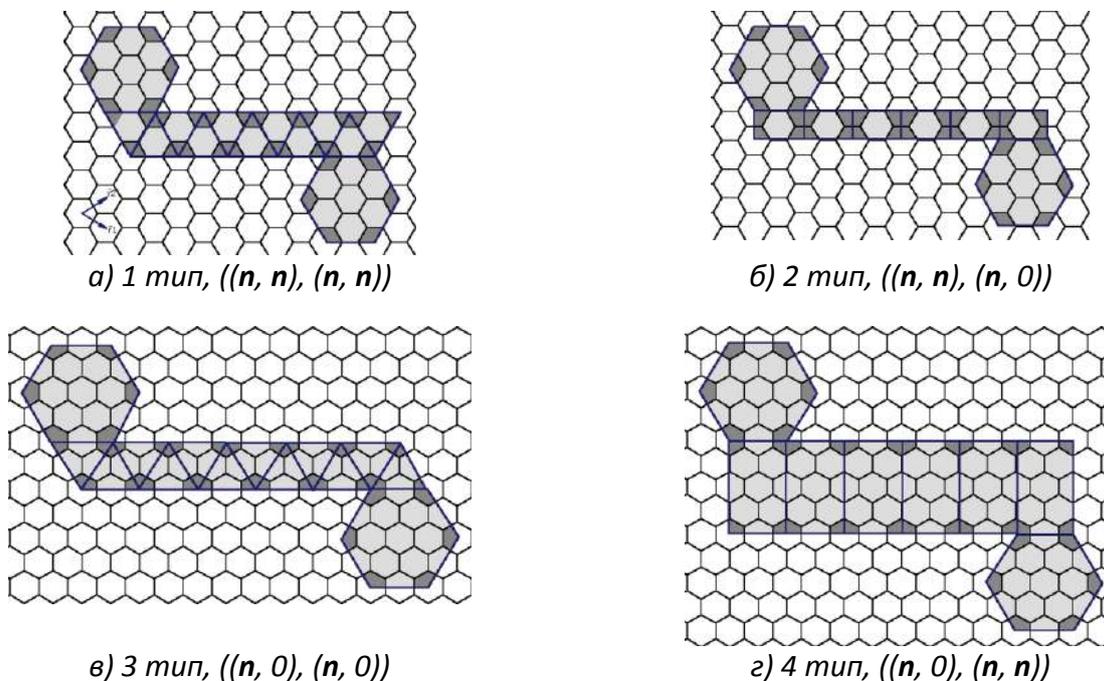


Рис. 1. Примеры «выкровок» четырех типов шестиугольных фуллеренов на листе графена. На а) показаны единичные вектора r_1 и r_2 , задающие косоугольную систему координат¹.

1. Для каждого из 4 типов фуллеренов выведите в общем виде зависимость общего числа атомов углерода N от n . **(6 баллов)**
2. Для каждого из фуллеренов, представленных на рис. 1:
 - а) определите значение параметра n ; **(2 балла)**
 - б) рассчитайте число атомов N . **(2 балла)**
3. Могут ли фуллерены разных типов иметь одинаковое число атомов? Рассмотрите все возможные комбинации, ответ подтвердите расчетами. **(3 балла)**
4. Для фуллеренов, имеющих форму шестиугольной призмы, выведите формулы зависимости размера (как диаметра D описанной вокруг призмы сферы) от n и длины C–C связи a . **(5 баллов)** Найдите размеры таких фуллеренов, изображенных на рис. 1б и 1г, если $a = 0,14$ нм. **(2 балла)**

¹Любую пару шестиугольников на графеновом листе можно задать парой неотрицательных чисел (n, m) , являющихся координатами центра одного из них относительно центра другого в косоугольной системе координат (см. рис. 1а): $\vec{R} = n\vec{r}_1 + m\vec{r}_2$.

Задача 7. Губка Менгера (20 баллов)

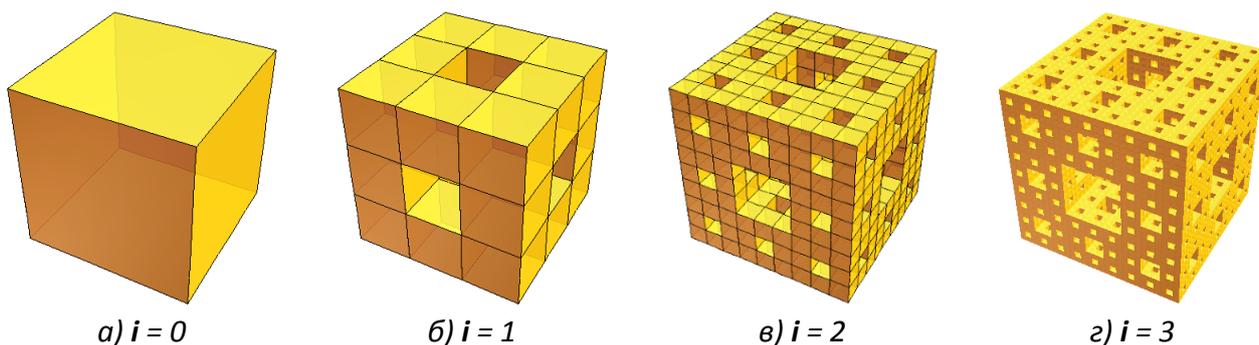


Рис. 1. Поколения губки Менгера.

Если взять 20 одинаковых наночастиц в виде куба (рис. 1а, $i = 0$), то из них можно сложить «полый куб» – первое поколение губки Менгера (рис. 1б, $i = 1$). Из 20 таких губок с $i = 1$ аналогичным образом получается второе поколение (рис. 1в, $i = 2$), и так далее. Такие самоповторяющиеся структуры носят название фрактальных и достаточно часто встречаются в природе.

Рассмотрим губку Менгера i -го поколения, полученную из исходного куба с ребром a .

1. Найдите:
 - а) длину ребра A_i итогового нанокластера; **(1 балл)**
 - б) объемную долю пустот ω_i в таком нанокластере; **(4 балла)**
 - в) минимальное значение i_{\min} , для которого $\omega_i \geq 0,9$. **(3 балла)**

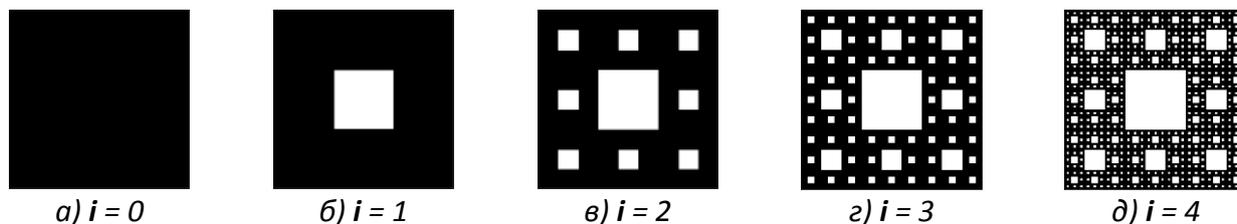


Рис. 2. Фрактальная структура грани губки Менгера.

2. Выведите формулу площади отдельной грани нанокластера $S_{гр}$ (рис. 2) i -го поколения. **(2 балла)**
3. Выведите формулы для расчета площади всей (и внутренней, и внешней) поверхности такого нанокластера S_i для губки Менгера:
 - а) 1-го, 2-го, 3-го поколения; **(3 балла)**
 - б) i -го поколения. **(4 баллов)** Ответ предоставьте в наиболее компактном виде.

Вклад поверхности в свойства материалов, обладающих каталитической активностью, прямо пропорционален характеристике $\Upsilon_i = S_i/V_i \cdot a$.

4. Рассчитайте величину Υ_i для губки Менгера i -го поколения. **(1,5 балла)**
5. Увеличивается или уменьшается Υ_i с ростом i ? Чему равно предельное значение этой величины? **(1,5 балла)**

Задача 8. Биметаллический кубоктаэдр. Часть 2 (20 баллов)

Для повышения каталитической активности кубоктаэдрического нанокластера, состоящего из атомов металла **A**, часть атомов заменили на атомы **B** таким образом, что:

- атомы **B** присутствуют только в слоях, на ребро которых приходится $n = 2k$ атомов (где k – натуральное число);
- взаимное расположение атомов **A** и **B** на гранях нанокластера показано на рис. 1–3 (атомы **B** отмечены более темным цветом).

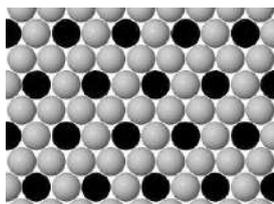


Рис. 1. Взаимное расположение атомов **A** и **B** на треугольных гранях нанокластера A_xB_y .

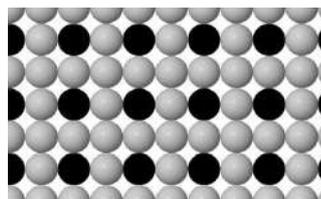


Рис. 2. Взаимное расположение атомов **A** и **B** на квадратных гранях нанокластера A_xB_y .

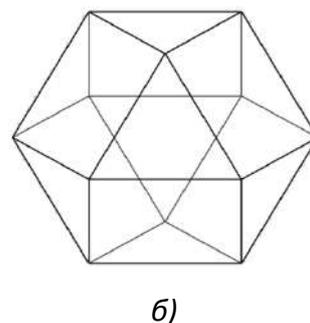
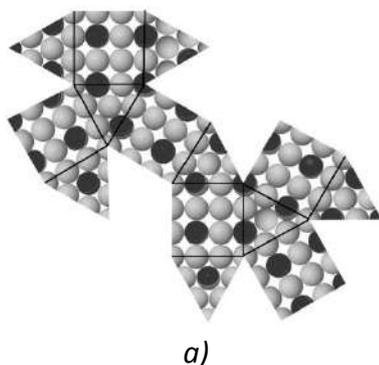


Рис. 3. а) Двумерная развертка поверхностного слоя биметаллического нанокластера A_xB_y в форме кубоктаэдра. Пример для $n = 4$. б) Кубоктаэдр.

1. Сколько атомов **B** находится в поверхностном слое кубоктаэдрического биметаллического нанокластера A_xB_y , на ребро которого приходится:
 - а) 4 атома? **(2 балла)**
 - б) $n = 2k$ атомов? **(4 балла)**
2. Рассчитайте долю атомов **B** на поверхности нанокластера A_xB_y , на ребро которого приходится:
 - а) 4 атома; **(1 балл)**
 - б) $n = 2k$ атомов; **(2 балла)**
 - в) бесконечно большое число атомов. **(2 балла)**

3. Чему равно отношение $x:y$ в нанокластере A_xB_y , на ребро которого приходится:

- а) 4 атома? **(2 балла)**
- б) $n = 2k$ атомов? **(2 балла)**
- в) $n = 2k + 1$ атомов? **(2 балла)**
- г) бесконечно большое число атомов? **(3 балла)**

Общее число атомов в нанокластере в форме кубооктаэдра составляет

$$N = (10n^3 - 15n^2 + 11n - 3)/3.$$

Общее число атомов в поверхностном слое нанокластера в форме кубооктаэдра составляет

$$M = 10n^2 - 20n + 12 \text{ (для } n \geq 2\text{)}.$$

Дополнительные материалы

Теорема Эйлера для выпуклого многогранника:

$$V - E + F = 2,$$

где V , E , F – это, соответственно, число вершин, ребер и граней многогранника.

При расчетах π считать равным 3,1.

$$\sqrt{2} \approx 1,4, \sqrt{3} \approx 1,7, \sqrt{5} \approx 2,2, \sqrt{7} \approx 2,7, \sqrt{11} \approx 3,3, \sqrt{13} \approx 3,6, \sqrt{17} \approx 4,1, \sqrt{19} \approx 4,4.$$

$$\lg 2 = 0,30, \lg 3 = 0,48, \lg 5 = 0,70, \lg 7 = 0,85.$$

Сумма квадратов последовательности натуральных чисел 1, 2, ..., n :

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



**Математика для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)
 Вариант IV. Решения**

Решение задачи 1. Нанонить (8 баллов)

- а) Поскольку плотность материала не меняется, то при вытягивании нанонити объем вольфрама постоянен:

$$V = \pi d_1^2 L_1 / 4 = \pi d_2^2 L_2 / 4.$$

Отсюда

$$L_2 / L_1 = d_1^2 / d_2^2 = 2116.$$

- б) Полагая, что и для проволоки, и для нанонити $L \gg d$, получаем, что площадь поверхности приблизительно равна площади боковой поверхности соответствующего цилиндра:

$$S = \pi dL.$$

Тогда

$$S_2 / S_1 = d_2 L_2 / d_1 L_1 = d_2 / d_1 \cdot L_2 / L_1 = d_2 / d_1 \cdot d_1^2 / d_2^2 = d_1 / d_2 = 46.$$

Решение задачи 2. Тетраэдрические матрешки (8 баллов)

Запишем в общем виде уравнение, связывающее число атомов в матрешке и изомерном ей фуллерене:

$$\begin{aligned} N_1 + N_2 &= N_3 \\ 4(n_1^2 + n_1 m_1 + m_1^2) - 8 + 4(n_2^2 + n_2 m_2 + m_2^2) - 8 &= 4(n_3^2 + n_3 m_3 + m_3^2) - 8 \\ 4(n^2 + n \cdot n + n^2) - 8 + 4((n+1)^2 + (n+1)(n+1) + (n+1)^2) - 8 &= 4(x^2 + xy + y^2) - 8 \\ 12n^2 + 12(n+1)^2 - 16 &= 4(x^2 + xy + y^2) - 8 \\ 24n^2 + 24n - 4 &= 4(x^2 + xy + y^2) - 8 \\ 6n^2 + 6n + 1 &= x^2 + xy + y^2 \end{aligned}$$

Запишем и решим систему уравнений:

$$\begin{aligned} 6n^2 + 6n + 1 &= x^2 + xy + y^2 \\ x + y &= 3n - 1 \\ x - y &= 11 \end{aligned}$$

Выразим x и y через n :

$$\begin{aligned} 6n^2 + 6n + 1 &= (x + y)^2 - xy \\ x &= 1,5n + 5 \\ y &= 1,5n - 6 \end{aligned}$$

Подставляя полученные выражения в первое уравнение системы, получаем:

$$\begin{aligned} 6n^2 + 6n + 1 &= (3n - 1)^2 - (1,5n + 5)(1,5n - 6) \\ 24n^2 + 24n + 4 &= 36n^2 - 24n + 4 - (3n + 10)(3n - 12) \\ 12n^2 - 48n - 9n^2 + 6n + 120 &= 0 \\ 3n^2 - 42n + 120 &= 0 \\ n^2 - 14n + 40 &= 0 \end{aligned}$$

Решая полученное квадратное уравнение, находим:

$$\begin{aligned} n &= (14 \pm 6)/2 \\ n &= 10 \text{ или } n = 4. \end{aligned}$$

Тогда $x = 20$, $y = 9$ или $x = 11$, $y = 0$.

Решение задачи 3. Мозаика вирусного капсида (8 баллов)

Поскольку поверхность капсида можно представить как многогранник, гранями которого являются пяти-, шести- и семиугольники, сходящиеся в вершине по 3, то к нему применима теорема Эйлера для выпуклых многогранников:

$$V - E + F = 2.$$

Число граней такого многогранника равно числу групп элементов:

$$F = G = G_5 + G_6 + G_7.$$

Общее число элементов в капсиде при этом равно

$$N = 5G_5 + 6G_6 + 7G_7.$$

Число вершин:

$$V = 5/3G_5 + 6/3G_6 + 7/3G_7 = N/3.$$

Число ребер:

$$E = 5/2G_5 + 6/2G_6 + 7/2G_7 = N/2.$$

Тогда, с одной стороны,

$$\begin{aligned} N/3 - N/2 + G &= 2, \\ N &= 6G - 12, \end{aligned}$$

а с другой

$$\begin{aligned} 5/3G_5 + 6/3G_6 + 7/3G_7 - 5/2G_5 - 6/2G_6 - 7/2G_7 + G_5 + G_6 + G_7 &= 2 \\ G_5 - G_7 &= 12. \end{aligned}$$

Тогда

$$G = 12 + G_6 + 2G_7$$

$$G = 12 + 1997 + 2 \cdot 6 = 2021$$

$$\text{и } N = 6(12 + G_6 + 2G_7) - 12 = 60 + 6G_6 + 12G_7$$

$$N = 60 + 6 \cdot 1997 + 12 \cdot 6 = 12114$$

Решение задачи 4. Адсорбент (8 баллов)

Запишем формулы для вычисления объема для каждой из фигур:

- куб $V_{\text{куб}} = A_{\text{куб}}^3$,
- октаэдр $V_{\text{окт}} = \sqrt{2}/3 A_{\text{окт}}^3$,
- «веретено» $V_{\text{веретено}} = V_{\text{куб}} + V_{\text{окт}} = (1 + \sqrt{2}/3) A_{\text{веретено}}^3$

а также площади поверхности для них:

- куб $S_{\text{куб}} = 6A_{\text{куб}}^2$,
- октаэдр $S_{\text{окт}} = 2\sqrt{3}A_{\text{окт}}^2$,
- «веретено» $S_{\text{веретено}} = (4 + 2\sqrt{3})A_{\text{веретено}}^2$

Тогда соотношение S/V для каждой из фигур:

- куб $S_{\text{куб}}/V_{\text{куб}} = 6/A_{\text{куб}}$,
- октаэдр $S_{\text{окт}}/V_{\text{окт}} = \frac{6\sqrt{3}}{\sqrt{2}A_{\text{окт}}}$,
- «веретено» $S_{\text{веретено}}/V_{\text{веретено}} = \frac{12+6\sqrt{3}}{(3+\sqrt{2})A_{\text{веретено}}}$

Следовательно, длина стороны в каждом из случаев составляет

- куб $A_{\text{куб}} = \frac{6}{S/V} = 6/1,2 = 5 \text{ нм}$,
- октаэдр $A_{\text{окт}} = \frac{6\sqrt{3}}{\sqrt{2}S/V} = 6 \cdot 1,7 / (1,4 \cdot 1,2) = 6,1 \text{ нм}$,
- «веретено» $A_{\text{веретено}} = \frac{12+6\sqrt{3}}{(3+\sqrt{2})S/V} = (12 + 6 \cdot 1,7) / ((3 + 1,4) \cdot 1,2) = 4,2 \text{ нм}$.

Решение задачи 5. Два наносвертка (8 баллов)

Запишем длину «рулона» для наносвертков II типа, равную длине диагонали прямоугольника:

$$L_2 = \sqrt{a^2 + b^2}.$$

Площадь поперечного сечения (в том месте, где определяем максимальный диаметр), с одной стороны, составляет для них

$$S_2 = \pi d_2^2 / 4,$$

а с другой, равна

$$S_2 = L_2 c.$$

Тогда максимальный диаметр наносвертков II типа равен

$$d_2 = 2 \sqrt{\frac{L_2 c}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{L_2 \cdot 0,775}{3,1}} = \sqrt{L_2} = \sqrt[4]{a^2 + b^2}$$

То есть,

$$a^2 = d_2^4 - b^2$$

и

$$a = \sqrt{d_2^4 - b^2} = \sqrt{25^4 - 500^2} = \sqrt{5^6 \cdot (25 - 16)} = 125 \cdot 3 = 375.$$

Решение задачи 6. Шестиугольный фуллерен (20 баллов)

- Общее число атомов в фуллерене **N** равно отношению площади его поверхности к площади, приходящейся на один атом углерода в графене, равной

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

Площадь поверхности шестиугольной антипризмы складывается из удвоенной площади шестиугольного основания и 12 площадей боковых треугольников, а площадь шестиугольной призмы — из площадей оснований и 6 площадей боковых прямоугольников. В то же время, равносторонний шестиугольник может быть представлен как совокупность шести равносторонних треугольников. Следовательно, нам необходимо найти только площади равностороннего треугольника и прямоугольника в зависимости от (**n**, **m**).

Любой равносторонний треугольник со стороной, задаваемой на графеновой сетке парой индексов (**n**, **m**), имеет площадь

$$S_{n,m} = 0,5(Ra\sqrt{3})^2 \sin 60^\circ,$$

где $R = \sqrt{n^2 + nm + m^2}$ – длина стороны такого треугольника в косоугольной системе координат. Тогда общее число атомов углерода, приходящихся на такой треугольник, составляет

$$T_{n,m} = \frac{S_{n,m}}{S_C} = R^2 = n^2 + nm + m^2.$$

Площадь прямоугольника, стороны которого задаются на графеновой сетке индексами (n, n) и $(n, 0)$, можно записать как

$$S_{(n,n),(n,0)} = (R_{n,n} a\sqrt{3})(R_{n,0} a\sqrt{3}) = \sqrt{3n^2} \sqrt{n^2} (a\sqrt{3})^2 = 3\sqrt{3}n^2 a^2.$$

Тогда общее число атомов углерода, приходящихся на него,

$$P_n = \frac{S_{(n,n),(n,0)}}{S_C} = \frac{3\sqrt{3}n^2 a^2}{0,5(a\sqrt{3})^2 \sin 60^\circ} = 4n^2.$$

Следовательно, число атомов в фуллеренах по типам составляет:

$$\begin{aligned} N_1 &= (6 \cdot 2 + 12)T_{n,n} = 24T_{n,n} = 72n^2 \\ N_2 &= 6 \cdot 2T_{n,n} + 6P_n = 12T_{n,n} + 6P_n = 60n^2 \\ N_3 &= (6 \cdot 2 + 12)T_{n,0} = 24T_{n,0} = 24n^2 \\ N_4 &= 6 \cdot 2T_{n,0} + 6P_n = 12T_{n,0} + 6P_n = 36n^2 \end{aligned}$$

2.

а) $n_1 = 1, n_2 = 1, n_3 = 2, n_4 = 2.$

б) $N_1 = 72, N_2 = 60, N_3 = 96, N_4 = 144.$

в) Изомеров среди шестиугольных фуллеренов, рассматриваемых в рамках данной задачи, не существует, так как ни в одном из 6 случаев невозможно решение в целых числах:

1) $72n_1^2 = 60n_2^2, 6n_1^2 = 5n_2^2.$

2) $72n_1^2 = 24n_3^2, n_1^2 = 3n_3^2.$

3) $72n_1^2 = 36n_4^2, n_1^2 = 2n_4^2.$

4) $60n_2^2 = 24n_3^2, 5n_2^2 = 2n_3^2.$

5) $60n_2^2 = 36n_4^2, 5n_2^2 = 3n_4^2.$

6) $24n_3^2 = 36n_4^2, 2n_3^2 = 3n_4^2.$

г) Диаметр сферы, описанной вокруг шестиугольной призмы, равен длине ее объемной диагонали. Ее, в свою очередь, можно рассчитать по теореме Пифагора, зная длину большей диагонали шестиугольного основания $2A$ (где A – длина стороны основания) и высоту этой призмы H :

$$D = \sqrt{4A^2 + H^2}.$$

Для фуллерена 2 типа

$$A_2 = 3an, H_2 = \sqrt{3}an.$$

$$\text{Тогда } D_2 = \sqrt{39}an.$$

Для фуллерена 4 типа

$$A_4 = \sqrt{3}an, H_4 = 3an.$$

$$\text{Тогда } D_4 = \sqrt{21}an.$$

Тогда размер фуллерена 1б составляет

$$D_2 = 1,7 \cdot 3,6 \cdot 0,14 \cdot 1 = 0,8568 \text{ нм.}$$

Размер фуллерена 1г составляет

$$D_4 = 1,7 \cdot 2,7 \cdot 0,14 \cdot 2 = 1,2852 \text{ нм.}$$

Решение задачи 7. Губка Менгера (20 баллов)

1.

а) Длина ребра нанокластера i -ой итерации составляет

$$A_i = 3^i \cdot a,$$

б) Тогда объем «материала» нанокластера i -ой итерации равен

$$V_i = 20^i \cdot a^3,$$

а доля объемных пустот, соответственно,

$$\omega_i = 1 - (20^i \cdot a^3) / (3^i \cdot a)^3 = 1 - (20/27)^i.$$

в) Запишем неравенство, отвечающее условию:

$$1 - (20/27)^i \geq 0,9$$

$$(20/27)^i \leq 0,1$$

$$\lg(20/27)^i \leq \lg 0,1$$

$$i \cdot \lg(20/27) \leq -1$$

$$i \geq -1 / (-0,14)$$

$$i \geq 7,1,$$

но, так как i – целое, то $i \geq 8$ и $i_{\min} = 8$.

2. Поскольку при каждой итерации грань складывается из 8 квадратов, полученных в предыдущей итерации, то

$$S_{\text{гр}}(i) = 8^i \cdot a^2,$$

где a^2 – это площадь грани единичного квадрата.

3.

а) $S_1 = 6S_{rp}(1) + 6 \cdot 4a^2 = 6 \cdot 8a^2 + 24a^2 = 72a^2 = 9S_{rp}(1) = 6S_{rp}(1) + 3S_{rp}(1)$

(сумма площади боковой поверхности и площади 6 «пор», примыкающих к граням; кубическая полость, находящаяся в центре губки Менгера первой итерации, не ограничена никакими поверхностями).

$$S_2 = 6S_{rp}(2) + 3S_{rp}(2) + 20 \cdot 3S_{rp}(1) = 6 \cdot 8^2 a^2 + 3 \cdot 8^2 a^2 + 20 \cdot 3 \cdot 8a^2 = 1056a^2$$

(по аналогии, сумма площади боковой поверхности и площади 6 «пор», примыкающих к граням для губки Менгера второй итерации, а также величина площади «пор» 20 составляющих ее губок первой итерации).

$$S_3 = 6S_{rp}(3) + 3S_{rp}(3) + 20 \cdot 3S_{rp}(2) + 20^2 \cdot 3S_{rp}(1) = 6 \cdot 8^3 a^2 + 3 \cdot 8^3 a^2 + 20 \cdot 3 \cdot 8^2 a^2 + 20^2 \cdot 3 \cdot 8a^2 = 18048a^2$$

б) По аналогии,

$$S_i = 6S_{rp}(i) + 3S_{rp}(i) + \sum_{k=1}^{i-1} F(k) = 9 \cdot 8^i a^2 + 3 \sum_{k=1}^{i-1} (20^k 8^{i-k} a^2) = 8^i a^2 \left(9 + 3 \sum_{k=1}^{i-1} 2,5^k \right)$$

$$S_i = 8^i a^2 \left(9 + 3 \cdot 2,5 \frac{2,5^{i-1} - 1}{2,5 - 1} \right) = 8^i a^2 \left(9 + 5(2,5^{i-1} - 1) \right) = 4 \cdot 8^i a^2 + 2 \cdot 20^i a^2$$

4.

$$\gamma_i = \frac{4 \cdot 8^i a^2 + 2 \cdot 20^i a^2}{20^i a^3} \cdot a = 4 \cdot 0,4^i + 2.$$

5. С ростом номера поколения данная величина уменьшается от $\gamma_0 = 6$ вплоть до

$$\lim_{i \rightarrow \infty} \gamma_i = \lim_{i \rightarrow \infty} (4 \cdot 0,4^i + 2) = 2.$$

Решение задачи 8. Биметаллический кубоктаэдр. Часть 2 (20 баллов)

1.

а) В слое с $n = 4$ атомы **В** расположены:

- в 3-х из 12-ти вершин кубоктаэдра,
- по 2 на каждом из 12-ти ребер (еще 12 ребер атомов **В** не содержат),
- по 4 на каждой из 6-ти квадратных граней,
- по 3 на каждой из 6-ти треугольных граней и по 1 на каждой из оставшихся двух треугольных гранях.

Всего $3 - 2 \cdot 12 + 24 + 3 \cdot 6 + 1 \cdot 2 = 23$ атома **В**.

б)

- На любой квадратной грани слоя, на ребро которого приходится $2k$ атомов, расположено k^2 атомов **B**,
- на 6-ти треугольных гранях атомами **B** являются $k(k + 1)/2$ атомов, а еще на 2-х треугольных гранях – $k(k - 1)/2$,
- на 12 из 24 ребер приходится по k атомов **B**,
- также атомы **B** расположены в 3-х из 12-ти вершин.

Всего в слое, на ребро которого приходится $2k$ атомов, расположено

$$M_B(k) = 6k^2 + 6 \cdot k(k + 1)/2 + 2 \cdot k(k - 1)/2 - 12k + 3$$

$$M_B(k) = 10k^2 - 10k + 3$$

атомов **B**.

2.

а) В слое с $n = 4$ общее число атомов в поверхностном слое равно

$$M_{\text{all}}(4) = 92,$$

то есть, доля атомов **B** составляет

$$\delta(4) = 23/92 = 0,25.$$

б) В слое с $n = 2k$

$$\delta = M_B(k)/M_{\text{all}}(2k)$$

$$\delta = (10k^2 - 10k + 3)/(40k^2 - 40k + 12) = 0,25$$

или

$$\delta = (2,5n^2 - 5n + 3)/(10n^2 - 20n + 12) = 0,25$$

в) В слое с $n = 2k + 1$ при $n \rightarrow \infty$ $\delta = 0$.

В слое с $n = 2k$ при $n \rightarrow \infty$ $\delta = 0,25$.

3.

а) В кластере с $n = 4$

$$y = 3 \text{ (слой с } n = 2) + 23 \text{ (слой с } n = 4) = 26,$$

$$x = N_{\text{all}}(4) - y = 147 - 26 = 121,$$

тогда

$$x:y = 121:26 \approx 4,65.$$

б) В кластере, на ребро которого приходится n атомов, рассмотрим два возможных случая.

В кластере с $n = 2k$

$$y = \sum_1^k M_B(m) = \sum_1^k (10m^2 - 10m + 3) = \frac{10k^3 - k}{3}$$

$$y = (10n^3 - 4n)/24$$

Тогда атомов **A** в таком кластере

$$x = N_{\text{all}}(n) - y,$$

$$x = (10n^3 - 15n^2 + 11n - 3)/3 - (10n^3 - 4n)/24,$$

$$x = (70n^3 - 120n^2 + 92n - 24)/24,$$

и соотношение равно

$$x:y = \{(70n^3 - 120n^2 + 92n - 24)/24\} : \{(10n^3 - 4n)/24\}$$

$$x:y = (35n^3 - 60n^2 + 46n - 12)/(5n^3 - 2n)$$

в) В кластере с $n = 2k + 1$

$$y = (10k^3 - k)/3$$

$$y = (10(0,5n - 0,5)^3 - (0,5n - 0,5))/3,$$

$$y = (5n^3 - 15n^2 + 13n - 3)/12.$$

Тогда атомов **A** в таком кластере

$$x = N_{\text{all}}(n) - y,$$

$$x = (10n^3 - 15n^2 + 11n - 3)/3 - (5n^3 - 15n^2 + 13n - 3)/12,$$

$$x = (35n^3 - 45n^2 + 31n - 9)/12,$$

и соотношение равно

$$x:y = \{(35n^3 - 45n^2 + 31n - 9)/12\} : \{(5n^3 - 15n^2 + 13n - 3)/12\}$$

$$x:y = (35n^3 - 45n^2 + 31n - 9)/(5n^3 - 15n^2 + 13n - 3)$$

г) В случае $n = 2k$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{x}{y} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{35n^3 - 60n^2 + 46n - 12}{5n^3 - 2n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{35 - 60/n + 46/n^2 - 12/n^3}{5 - 2/n^2} = 7.$$

В случае $n = 2k + 1$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{x}{y} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{35n^3 - 45n^2 + 31n - 9}{5n^3 - 15n^2 + 13n - 3} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{35 - 45/n + 31/n^2 - 9/n^3}{5 - 15/n + 13/n^2 - 3/n^3} = 7.$$



Заключительный этап. Физика

Комплекс предметов

Категория участников: школьники 7-11 классов

Задания заключительного этапа XV Всероссийской Интернет-Олимпиады "Нанотехнологии - прорыв в будущее!" по физике.

Задачи 1-5 – простые, задачи 6-8 – сложные.

Задания

- 1. Оптическая дисперсия наноплёнки**
- 2. Конденсаторы для нанoeлектроники**
- 3. Лазерный нагрев**
- 4. Нанотермометр**
- 5. Обширные нанотрубки**
- 6. Карбидизация тонкого слоя**
- 7. Наноактюаторы**
- 8. Прыгающие наночастицы**

ВСЕ ЗАДАЧИ СОБРАНЫ В ОДНОМ ФАЙЛЕ (список констант приведен в начале файла):

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

Диэлектрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м



Физика для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап) Вариант I

Задача 1. Оптическая дисперсия наноплёнки (8 баллов)

Для контроля толщины пленки при её росте на подложке можно использовать оптический метод.

Тонкую пленку толщиной $d = 80$ нм облучают светом длины волны $\lambda_1 = 600$ нм, при этом наблюдается первый минимум отражения, а для $\lambda_2 = 350$ нм наблюдается первый максимум отражения при той же толщине.

1. Определите дисперсию показателя преломления плёнки $\frac{\Delta n}{\Delta \lambda}$, полагая её постоянной в видимом диапазоне. **(5 баллов)**
2. Какой знак дисперсии $\frac{\Delta n}{\Delta \lambda}$ у стеклянной призмы в видимом диапазоне? Ответ поясните. **(3 балла)**

Задача 2. Конденсаторы для наноэлектроники (8 баллов)

Уменьшение размеров интегральных схем привело к тому, что расстояние между пластинами конденсаторов составляет единицы нанометров. Это приводит к большим токам утечки. Предположим, что столь малые устройства можно описать моделью плоского конденсатора.

Конденсатор C_1 , пространство между обкладками которого заполнено SiO_2 ($\epsilon_1 = 4$), заменили на конденсатор C_2 , в котором использован материал с высокой диэлектрической проницаемостью, HfO_2 ($\epsilon_2 = 24$). Площади пластин конденсаторов одинаковы и равны $S = 120$ нм². Расстояние между обкладками первого конденсатора $d_1 = 5$ нм, а второго – $d_2 = 2$ нм.

1. Каково максимальное рабочее напряжение на конденсаторе C_2 , если напряженность пробоя HfO_2 $E_{\text{max}} = 8$ МВ/см? **(2 балла)**
2. Какой наибольший заряд можно накопить на обкладках конденсаторов C_1 и C_2 , если они рассчитаны на одинаковое рабочее напряжение? **(3 балла)**
3. Найдите максимальные токи утечки конденсаторов, если удельное сопротивление SiO_2 $\rho_1 = 10^{12}$ Ом·см, HfO_2 $\rho_2 = 10^{15}$ Ом·см. **(3 балла)**

Задача 3. Лазерный нагрев (8 баллов)

Тонкую пленку германия (Ge) толщиной $d = 400$ нм и площадью $S = 2$ см² облучают импульсным лазером с длиной волны $\lambda = 532$ нм. Общее количество импульсов в течение эксперимента $N = 100$, энергия каждого импульса $W = 1,5$ мДж. Теплоемкость Ge $c = 322$ Дж/(кг·К), плотность $\rho = 5,32$ г/см³.

1. На сколько градусов ΔT нагреется пленка, если эффективность поглощения излучения на данной длине волны $\eta = 60\%$? Теплообменом между пленкой и окружающей средой пренебречь. **(8 баллов)**

Задача 4. Нанотермометр (8 баллов)

Одним из теоретических применений углеродных нанотрубок является термометрия. Применение углеродных нанотрубок в качестве корпуса нанотермометра обусловлено чрезвычайно слабой зависимостью их размеров от температуры, в отличие от наполняющей их жидкой ртути, объёмный коэффициент термического расширения которой $\beta = 1,8 \cdot 10^{-4}$ К⁻¹.

1. Оцените рабочий диапазон, то есть минимальную и максимальную температуры, которые можно измерить с помощью ртутного нанотермометра, изготовленного из нанотрубки длиной $L = 142$ нм и диаметром $d = 8$ нм и содержащего $m = 9,2 \cdot 10^{-17}$ г ртути. Температура плавления ртути $T_{пл} = 234$ К, температура кипения ртути $T_{кип} = 630$ К. При $T = 293$ К плотность ртути $\rho = 13,546$ г/см³. **(8 баллов)**

Задача 5. Обширные нанотрубки (8 баллов)

1. Какой общей площадью поверхности обладает ансамбль одностенных углеродных нанотрубок общей массой $m_{общ} = 1$ г, если известно, что средний диаметр нанотрубок в ансамбле составляет $d = 5$ нм, а их длина $l = 20$ мкм? Расстояние между ближайшими атомами углерода в нанотрубках $a = 0,142$ нм, масса атома углерода $m_C = 1,994 \cdot 10^{-26}$ кг **(8 баллов)**.

Задача 6. Карбидизация тонкого слоя (20 баллов)

Для модификации тонких приповерхностных слоев толщиной от единиц до десятков нанометров применяют метод ионной имплантации. Ионизированные атомы ускоряются в однородном электростатическом поле, далее они поступают в сепаратор с однородным магнитным полем, которое позволяет отделить нужные ионы от остальных примесей. После этого ионы, имея достаточную энергию, внедряются в подложку (см. рисунок 1).

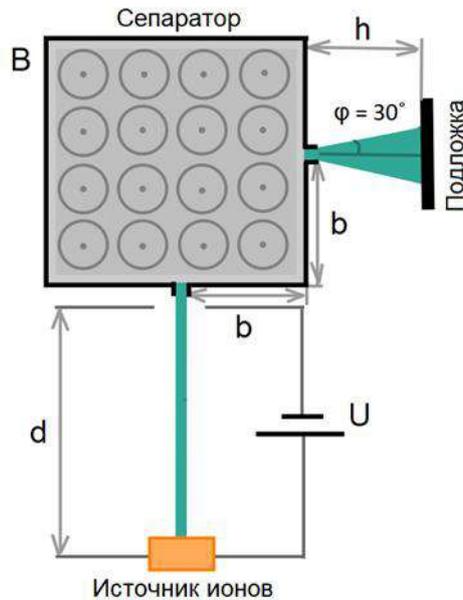


Рис.1. Схема эксперимента по ионной имплантации

1. В эксперименте на поверхности пластины Si создают тонкий слой SiC. С этой целью на подложку в течение времени $\Delta t = 30$ мин имплантируют однозарядные ионы углерода $^{12}\text{C}^+$, которые ускоряются в поле с разностью потенциалов $U = 20$ кВ. Какова будет скорость ионов в середине ускоряющей камеры и на выходе из нее? Начальную скорость считать нулевой. **(8 баллов)**
2. Попадая в сепаратор через входную щель, ионы $^{12}\text{C}^+$ должны вылететь из выходной щели. Какое магнитное поле B необходимо для этого приложить? Известно, что расстояние $b = 40$ см. **(6 баллов)**
3. После выхода из сепаратора ионы попадают в дрейфовую зону, где на них не действуют внешние электромагнитные поля. За счет электростатического взаимодействия ионов в этой зоне пучок расходится на угол 30 градусов, и попадает на подложку, которая находится на расстоянии $h = 5$ см от выходной щели. Какова будет плотность ионного тока j на подложке, если диаметр выходной щели $D = 5$ мм и за время имплантации на подложку попадает $N = 10^{18}$ ионов? **(6 баллов)**

Задача 7. Наноактюаторы (20 баллов)

В последнее время всё большую популярность приобретают наноактюаторы, то есть наномеханические устройства, которые способны производить механическое перемещение объектов. Одними из таких устройств являются электростатические актюаторы, которые представляют собой систему плоскопараллельных конденсаторов. Подобные наноустройства теоретически можно использовать для определения силы адгезии между белковой макромолекулой и подложкой.

1. На рисунке 2 представлена схема реализации одного из таких актюаторов. Определите, в каких направлениях он может перемещать белок, лежащий на подложке между обкладками конденсатора. Ответ обоснуйте. **(3 балла)**

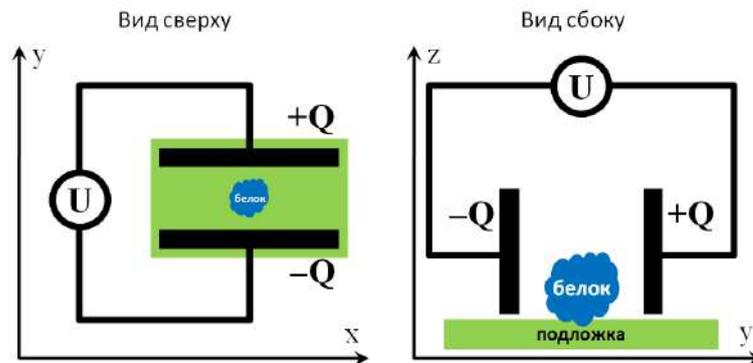


Рис. 2. Схема актюатора, основанного на конденсаторах

2. Используя данные по перемещению белковой макромолекулы (рисунок 3), рассчитайте силу сопротивления подложки, которая является аналогом силы трения между макрообъектами. Расстояние между пластинами конденсатора $d = 90$ нм, молекула белка имеет заряд $q = 1,44 \cdot 10^{-16}$ Кл. **(8 баллов)**

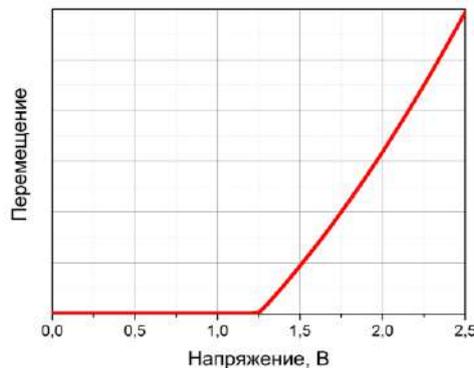


Рис. 3. Зависимость перемещения макромолекулы от напряжения

3. Какова природа сил адгезии белка и электронейтральной подложки? **(3 балла)**
4. Оцените время, за которое рассмотренный актюатор способен переместить белковую макромолекулу, имеющую массу $m = 5 \cdot 10^{-19}$ кг и заряд $q = 1,44 \cdot 10^{-16}$ Кл, на расстояние $L = 30$ нм, если его приводит в действие обычная батарейка с постоянным напряжением $U = 1,5$ В. **(6 баллов)**

Задача 8. Прыгающие наночастицы (20 баллов)

Известно, что при исследовании одиночных наночастиц в сканирующем (растровом) электронном микроскопе (РЭМ) возможны эффекты их спонтанных перемещений в результате зарядки во время облучения электронным пучком.

1. Останется ли на месте наночастица диоксида кремния радиусом $r = 25$ нм в процессе ее наблюдения в РЭМ, если сила тока электронного пучка составляет $I = 1$ пА, сканирование квадрата со стороной $l = 1$ мкм занимает время $\tau = 0.1$ сек, а ван-дер-ваальсова сила притяжения наночастицы к подложке равна $F = 7$ нН? Коэффициент поглощения электронов подложкой $k_1 = 0.1$, коэффициент поглощения электронов наночастицей $k_2 = 0.05$. Нагревом наночастицы при облучении электронным пучком пренебречь. **(15 баллов)**
2. Изменится ли ответ, если пренебречь силой тяжести, действующей на наночастицу? Плотность $\rho = 2$ г/см³. **(2 балла)**
3. Предложите возможные подходы для устранения описанного нежелательного эффекта спонтанных перемещений наночастиц при их исследовании в РЭМ. **(3 балла)**



Решение задачи 1. Оптическая дисперсия наноплёнки (8 баллов)

1. При облучении пленки наблюдается явление интерференции света.

В отраженном свете 1-ый минимум наблюдается при разности хода, равной половине длины волны. Условие минимума при нормальном падении: $2 \cdot d \cdot n_1 = \frac{\lambda_1}{2}$

Подставив числа, можно найти показатель преломления n_1 на длине волны λ_1 :

$$n_1 = \frac{600}{4 \cdot 80} = 1.875$$

Соседний максимум соответствует разности хода, равной одной длине волны. Условие соседнего максимума принимает вид: $2 \cdot d \cdot n_2 = \lambda_2$

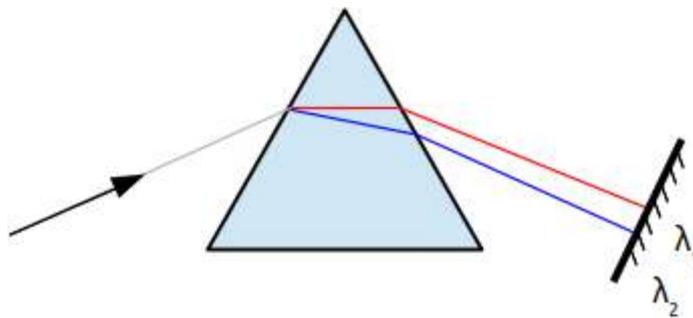
Показатель преломления n_2 на длине волны λ_2 :

$$n_2 = \frac{350}{2 \cdot 80} = 2.1875$$

Оптическая дисперсия

$$\frac{\Delta n}{\Delta \lambda} = \frac{1.875 - 2.1875}{600\text{нм} - 350\text{нм}} = -0.00125\text{нм}^{-1}$$

2. У стекла также отрицательный знак дисперсии. Более коротковолновое излучение (фиолетовое) в призме преломляется сильнее, чем длинноволновое (красное). Чем больше показатель преломления, тем сильнее преломляется луч.



Решение задачи 2. Конденсаторы для нанoeлектроники (8 баллов)

Для однородного поля напряжение и напряженность поля связаны линейно.

$$1. \quad U = E_{max} \cdot d_2 = 8 \cdot 10^6 \text{ В/см} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \text{ см} = 1,6 \text{ В}$$

2. По определению ёмкости, связывающей заряд и напряжение на обкладках, а также, используя выражение для ёмкости плоского конденсатора, получаем:

$$q_1 = C_1 \cdot U = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_0 S U}{d_1} = \frac{4 \cdot 8,8 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot 120 \text{ нм}^2 \cdot 1,6 \text{ В}}{5 \text{ нм}} = 13,5 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} = 1,35 \cdot 10^{-18} \text{ Кл}$$

$$q_2 = C_2 \cdot U = \frac{\varepsilon_2 \varepsilon_0 S U}{d_2} = \frac{24 \cdot 8,8 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot 120 \text{ нм}^2 \cdot 1,6 \text{ В}}{2 \text{ нм}} = 202,75 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} = 2,02 \cdot 10^{-17} \text{ Кл}$$

Оценка показывает, что такой конденсатор накапливает заряд в единицы и сотни элементарных зарядов.

3. По закону Ома, а также используя связь полного и удельного сопротивления, получаем оценку максимального тока утечки. Со временем заряд на обкладках будет уменьшаться, и ток стремиться к нулю.

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{U \cdot S}{\rho_1 d_1} = \frac{1,6 \text{ В} \cdot 120 \text{ нм}^2}{10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{см} \cdot 5 \text{ нм}} = 3,8 \cdot 10^{-18} \text{ А}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{U \cdot S}{\rho_2 d_2} = \frac{1,6 \text{ В} \cdot 120 \text{ нм}^2}{10^{15} \text{ Ом} \cdot \text{см} \cdot 2 \text{ нм}} = 9,6 \cdot 10^{-21} \text{ А}$$

Решение задачи 3. Лазерный нагрев (8 баллов)

С одной стороны, количество тепла можно выразить через массу, удельную теплоёмкость и изменение температуры: $\Delta Q = c m \Delta T = c \cdot S_{\text{пленки}} \cdot d \cdot \rho \cdot \Delta T$

С другой стороны, поглощенная энергия лазерного излучения: $\Delta Q = W \cdot N \cdot \eta$

Приравнявая, получаем:

$$\Delta T = \frac{W \cdot N \cdot \eta}{c \cdot S \cdot d \cdot \rho} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 0,6}{322 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 400 \cdot 10^{-9} \cdot 5,32 \cdot 10^3} \approx 657 \text{ К}$$

Решение задачи 4. Нанотермометр (8 баллов)

Минимальная температура определяется температурой плавления ртути, поскольку твёрдое тело имеет гораздо меньший объёмный коэффициент термического расширения по сравнению с жидкостью. Следовательно, при температуре ниже 234 К видимых изменений в нанотермометре происходить не будет.

Так как высота столбика ртути, зависящая от температуры, не может превышать длину нанотрубки, то максимальная температура обусловлена термическим расширением ртути. Высота столбика ртути при 293 К в нанотрубке диаметром 8 нм равна

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \frac{m}{\rho} \\
 V_1 &= \pi r^2 h_1 \\
 \frac{m}{\rho} &= \pi r^2 h_1 \\
 h_1 &= \frac{m}{\rho \pi r^2} \\
 h_1 &= \frac{9,2 \cdot 10^{-20} \text{ кг}}{13546 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 3,1416 \cdot \left(\frac{8}{2} \cdot 10^{-9}\right)^2 \text{ м}^2} = 1,35 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 135 \text{ нм}
 \end{aligned}$$

Следовательно, максимальная температура равна

$$\begin{aligned}
 V_{\max} &= V_1 (1 + \beta \Delta T) \\
 \Delta T &= \frac{\frac{V_{\max}}{V_1} - 1}{\beta} \\
 \frac{V_{\max}}{V_1} &= \frac{\pi r_1^2 h_{\max}}{\pi r_1^2 h_1} = \frac{h_{\max}}{h_1} \\
 \Delta T &= \frac{\frac{h_{\max}}{h_1} - 1}{\beta} \\
 T_{\max} &= \frac{\frac{h_{\max}}{h_1} - 1}{\beta} + T_1 \\
 T_{\max} &= \frac{\frac{142 \cdot 10^{-9} \text{ м}}{135 \cdot 10^{-9} \text{ м}} - 1}{1,8 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}} + 293 \text{ К} = 581 \text{ К}
 \end{aligned}$$

Рассчитанное значение ниже температуры кипения ртути, поэтому максимальная температура, которую можно измерить, равна 581 К.

Таким образом, рабочий диапазон – от 234 К до 581 К.

Решение задачи 5. Обширные нанотрубки (8 баллов)

Общая площадь поверхности ансамбля S может быть найдена, если известно общее число нанотрубок в ансамбле и площадь поверхности каждой нанотрубки.

Общее число нанотрубок в ансамбле:

$$N = \frac{m_{\text{общ}}}{m_0},$$

где m_0 – масса одной нанотрубки.

Масса m_0 может быть найдена как произведение поверхностной плотности атомов углерода в графене $\rho_{\text{пов}}$ и площади поверхности единичной нанотрубки:

$$m_0 = \rho_{\text{пов}} S_0 = \rho_{\text{пов}} l \pi d$$

Тогда для общей площади поверхности имеем:

$$S = NS_0 = \frac{m_{\text{общ}}}{m_0} S_0 = \frac{m_{\text{общ}}}{\rho_{\text{пов}} S_0} S_0 = \frac{m_{\text{общ}}}{\rho_{\text{пов}}}$$

Видно, что искомая общая площадь S не зависит от площади поверхности каждой нанотрубки (т.е. не зависит от длины и диаметра нанотрубок).

Атомы углерода в графене, как известно, расположены в вершинах правильных шестиугольных ячеек, следовательно:

$$\rho_{\text{пов}} = n_0 m_C = \frac{N_{\text{яч}}}{S_{\text{яч}}} m_C,$$

где $S_{\text{яч}}$ и $N_{\text{яч}}$ – площадь шестиугольной ячейки и число атомов в ней, соответственно, n_0 – поверхностная концентрация атомов.

$$S_{\text{яч}} = \frac{3}{2} \sqrt{3} a^2 \approx 0.0524 \text{ нм}^2$$

$$N_{\text{яч}} = 2$$

(каждый из 6 атомов принадлежит трем соседним шестиугольникам)

Окончательно имеем:

$$\rho_{\text{пов}} = \frac{N_{\text{яч}}}{S_{\text{яч}}} m_C \approx 7.6 \cdot 10^{-4} \text{ г/м}^2$$

$$S = \frac{m_{\text{общ}}}{\rho_{\text{пов}}} = \frac{1 \text{ г}}{7.6 \cdot 10^{-4} \text{ г/м}^2} \approx 1314 \text{ м}^2$$

Решение задачи 6. Карбидизация тонкого слоя (20 баллов)

1. Ионы приобретают кинетическую энергию пропорциональную разности потенциалов: $eU = \frac{mv^2}{2}$, а для однородного поля посередине камеры разность потенциалов в 2 раза меньше.

$$v_{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{eU}{m}} = \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 20 \cdot 10^3}{12 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}}} \approx 399 \text{ км/с}$$

$$v_k = \sqrt{\frac{2eU}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 20 \cdot 10^3}{12 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}}} \approx 565 \text{ км/с}$$

2. В сепараторе на ионы действует сила Лоренца $ma = evB \sin \alpha$,

где ускорение $a = \frac{v^2}{b}$.

Магнитное поле

$$B = \frac{mv}{ebs \sin \alpha} = \frac{12 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \cdot 565000}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 40 \cdot 10^{-2} \cdot 1} \approx 176 \text{ мТл}$$

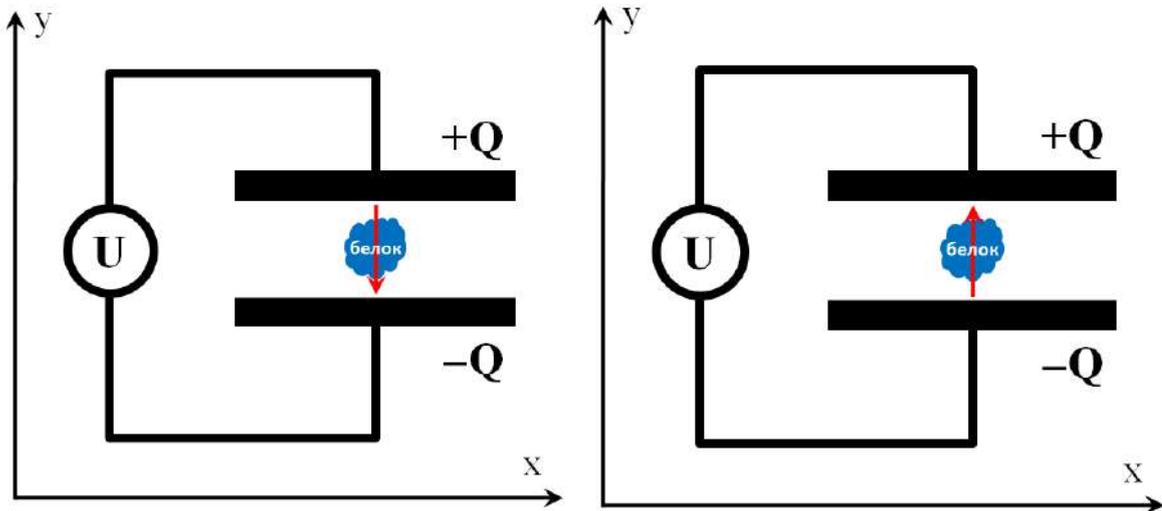
3. Плотность тока выражается, как отношение заряда в единицу времени, прошедшего через площадь S:

$$j = N \cdot \frac{e}{S \cdot \Delta t}$$

$$j = \frac{N \cdot e}{\pi \cdot \left(\frac{D}{2} + h \cdot \operatorname{tg} \varphi\right)^2 \cdot \Delta t} = \frac{10^{18} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{\pi \cdot \left(\frac{0,5}{2} + 5 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot 1800} \approx 2,87 \text{ мкА/см}^2$$

Решение задачи 7. Наноактюаторы (20 баллов)

1. Движение будет происходить в плоскости ху перпендикулярно оси Ох, как отмечено стрелками. Направление зависит от знака заряда белка: положительно заряженные молекулы белка будут перемещаться от положительно заряженной пластины конденсатора к отрицательно заряженной, а отрицательно заряженные молекулы белка будут перемещаться в противоположном направлении.



2. Молекула белка приходит в движение, если сила воздействия актюатора превышает силу адгезии или хотя бы равна ей. Согласно представленному графику, это происходит при $U = 1,25 \text{ В}$.

$$\begin{aligned}
 F_{\text{актюатора}} &= qE \\
 F_{\text{актюатора}} &= \frac{qU}{d} \\
 F_{\text{актюатора}} &= F_{\text{адгезии}} \\
 F_{\text{адгезии}} &= \frac{qU}{d} \\
 F_{\text{адгезии}} &= \frac{1,44 \cdot 10^{-16} \text{ Кл} \cdot 1,25 \text{ В}}{90 \cdot 10^{-9} \text{ м}} = 2 \cdot 10^{-9} \text{ Н} = 2 \text{ нН}
 \end{aligned}$$

3. Адгезия белка и электронейтральной подложки может быть обусловлена силами Ван-дер-Ваальса, то есть электростатическим притяжением между постоянными или наведёнными диполями (например, вследствие образования водородных связей).
4. По второму закону Ньютона

$$\begin{aligned}
 F &= ma \\
 F &= \frac{qU}{d} - F_{\text{адгезии}} \\
 \frac{qU}{d} - F_{\text{адгезии}} &= ma \\
 a &= \frac{qU}{md} - \frac{F_{\text{адгезии}}}{m}
 \end{aligned}$$

$$L = \frac{at^2}{2}$$

$$t = \sqrt{\frac{2L}{a}}$$

$$t = \sqrt{\frac{2L}{\frac{qU}{md} - \frac{F_{\text{адгезии}}}{m}}}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 30 \cdot 10^{-9} \text{ м}}{\frac{1,44 \cdot 10^{-16} \text{ Кл} \cdot 1,5 \text{ В}}{5 \cdot 10^{-19} \text{ кг} \cdot 90 \cdot 10^{-9} \text{ м}} - \frac{2 \cdot 10^{-9} \text{ Н}}{5 \cdot 10^{-19} \text{ кг}}}} = 8,66 \cdot 10^{-9} \text{ с} = 8,66 \text{ нс}$$

Решение задачи 8. Прыгающие наночастицы (20 баллов)

1. При сканировании электронным пучком на единицу поверхности приходится заряд равный:

$$\sigma = \frac{Q}{S} = \frac{I\tau}{l^2} = 0,1 \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

В результате сканирования поверхность подложки заряжается (отрицательно) с поверхностной плотностью:

$$\sigma_1 = \sigma k_1 = 0,01 \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

При этом возникает электростатическое поле с напряженностью:

$$E = \frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0} \approx 5,7 \cdot 10^8 \text{ В/м}$$

Наночастица также накапливает отрицательный заряд, пропорциональный ее площади поперечного сечения и равный:

$$q = \sigma k_2 \pi r^2 \approx 10^{-17} \text{ Кл}$$

Сила электростатического отталкивания между заряженной подложкой (которую приближенно можно считать бесконечной плоскостью) и одноименно заряженной наночастицей (приближенно – точечный заряд) равна:

$$F = Eq \approx 5,7 \cdot 10^{-9} \text{ Н} = 5,7 \text{ нН}$$

Поскольку эта сила оказалась меньше, чем Ван-дер-Ваальсова сила притяжения, наночастица останется на своем месте

2. Сила тяжести для столь малых частиц составляет $\sim 10^{-18}$ Н, что много меньше, чем Ван-дер-Ваальсова сила притяжения и сила электростатического отталкивания, так что ей можно пренебречь.
3. В качестве решения проблемы спонтанных перемещений исследуемых наночастиц в результате зарядки во время облучения электронным пучком одним из возможных подходов является использование проводящей подложки, которую предварительно заземляют для обеспечения стекания заряда и исключения эффекта ее зарядки.



Заключительный этап. Химия

Комплекс предметов

Категория участников: школьники 7-11 классов

Задания заключительного этапа XV Всероссийской Интернет-Олимпиады "Нанотехнологии - прорыв в будущее!" по химии.

Задачи 1-5 – простые, задачи 6-8 – сложные.

Задания

1. Синтез полупроводника

2. Соединение кремния с азотом

3. Угадайка

4. Простое вещество

5. Селективная мембрана

6. Гексаферрит стронция

7. Максены

8. Нанокатализаторы. Эффект размера

ВСЕ ЗАДАЧИ СОБРАНЫ В ОДНОМ ФАЙЛЕ (справочные материалы – таблица Менделеева и таблица растворимости – приведены в конце файла):



**Химия для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)
Вариант II**

Задача 1. Синтез полупроводника (8 баллов)

Наночастицы полупроводника были получены восстановлением теллуровой кислоты H_6TeO_6 с помощью гидроксилamina NH_2OH . В результате реакции образовалось два простых вещества – твердое и газообразное.

1. Установите формулу полупроводника и напишите уравнение реакции его синтеза. **(8 баллов)**

Задача 2. Соединение кремния с азотом (8 баллов)

Пленки бинарного соединения Z были получены методом химического осаждения из газовой фазы, содержащей тетрахлорид кремния $SiCl_4$ и аммиак NH_3 . При сжигании навески Z массой 2.80 г в атмосфере кислорода образовались два вещества, очень широко распространенные в земной коре: твердое массой 3.60 г и газообразное объемом 896 мл (н.у.).

1. Установите формулу Z (подтвердите расчетом). **(4 балла)**
2. Напишите уравнения двух реакций, упомянутых в тексте. **(4 балла)**

Задача 3. Угадайка (8 баллов)

Неизвестный оксид входит в состав пасты, которую наносят на стекло для получения в его поверхностном слое металлических наночастиц. Этот оксид представляет собой черный порошок, нерастворимый в воде, но реагирующий с горячим раствором серной кислоты с образованием раствора синего цвета. При нагревании в токе водорода оксид превращается в вещество красного цвета. При очень сильном нагревании оксид частично отщепляет кислород, приобретая ярко-красную окраску.

1. Установите формулу оксида. **(2 балла)**
2. Напишите уравнения трех реакций, упомянутых в тексте. **(6 баллов)**

Задача 4. Простое вещество (8 баллов)

Нанопорошок неизвестного простого вещества Y сгорает на воздухе, не образуя твердого остатка. Смесь 20 г этого порошка со 108.5 г оксида ртути(II) при прокаливании в токе инертного газа образует летучие вещества и 14 г твердого остатка, не растворимого в воде.

1. Определите неизвестное вещество Y (подтвердите расчетом). **(6 баллов)**
2. Что произойдет при действии на Y концентрированной азотной кислоты? Напишите уравнение реакции. **(2 балла)**

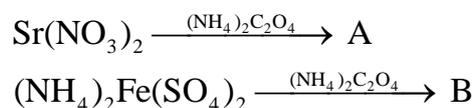
Задача 5. Селективная мембрана (8 баллов)

Нанопористый оксид алюминия, имеющий высокую плотность фиксированного заряда, может быть использован для изготовления селективных ионообменных мембран. Заряженная мембрана отталкивает одноименно заряженные ионы и способна пропускать противоположно заряженные ионы, не испытывая электростатических затруднений.

1. Можно ли с помощью такой мембраны хотя бы частично разделить катионы калия и бария, содержащиеся в водном растворе смеси KOH и Ba(OH)₂? Если разделить можно, то укажите, какой из катионов будет преимущественно проникать через мембрану. Ответ(ы) обоснуйте. **(2 балла)**
2. Можно ли с помощью такой мембраны хотя бы частично разделить катионы лития и рубидия, содержащиеся в водном растворе смеси LiCl и RbCl? Если разделить можно, то укажите, какой из катионов будет преимущественно проникать через мембрану. Ответ(ы) обоснуйте. **(3 балла)**
3. Определите поверхностную плотность фиксированного заряда мембраны из оксида алюминия площадью $S = 1.65 \text{ м}^2$, если она способна адсорбировать не более $m = 0.12$ мг катионов натрия. **(3 балла)**

Задача 6. Гексаферрит стронция (20 баллов)

Магнитные наночастицы соединения **X**, содержащего 8.25 масс.% стронция, синтезировали по следующей схеме:



Образовавшиеся осадки **A** и **B** высушили, тщательно перемешали и отожгли на воздухе при 900°C. В результате были получены сферические наночастицы соединения **X** с удельной площадью поверхности 7.3 м²/г.

1. Определите состав соединения **X**. (4 балла)
2. Напишите уравнения трех описанных химических реакций. (5 баллов)
3. Известно, что к наиболее эффективной гомогенизации приводит смешивание растворов. Почему для синтеза соединения **X** смешивают именно выпавшие осадки, а не исходные растворы Sr(NO₃)₂ и (NH₄)₂Fe(SO₄)₂? (2 балла)
4. Каково тривиальное название соединения **X**? (2 балла)
5. Оцените средний диаметр полученных наночастиц, если их плотность равна 5.3 г/см³. (7 баллов)

Задача 7. Максены (20 баллов)

На заочном этапе Олимпиады Вы познакомились с $Ti_3C_2F_2$ – представителем семейства максенов, двумерных материалов, открытых в 2011 году. Эти соединения чаще всего получают из МАХ-фаз – веществ состава $M_{n+1}AX_n$ ($n = 1, 2, 3$), где M – переходный металл, A – элемент 13-й или 14-й группы таблицы Менделеева (реже – 15-й или 16-й), а X – углерод, азот или их смесь. Максены же имеют формулу $M_{n+1}X_nT_z$, при этом T – некоторая терминальная группа на поверхности слоя $M_{n+1}X_n$. Эти материалы способны к интеркаляции большого числа неорганических катионов, таких как Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , NH_4^+ и Al^{3+} , что делает их перспективными материалами для аккумуляторов и суперконденсаторов.

Переходный металл M , входящий в состав МАХ-фазы D , образует с кислородом 4 соединения разных цветов. Соединение D было синтезировано из простых веществ, после чего было подвергнуто травлению в растворе NaF и HCl . В результате был получен максен E , удельная ёмкость которого в K^+ -содержащем электролите была равна $239 \text{ мА}\cdot\text{ч/г}$ (с учётом массы ионов калия). Принять, что в полученном максене $T = O$, а $z = 2$, то есть терминальные группы состоят лишь из атомов кислорода, а ионы калия при интеркаляции полностью занимают поверхность максена, образуя заряженные слои стехиометрического состава.

Отжиг максена E проводили в различных условиях:

- 1) в аргоне при 1000°C
- 2) на воздухе при 1000°C
- 3) в аммиаке при 400°C

Продукт отжига в аргоне поместили в концентрированную соляную кислоту при тщательном удалении воздуха. При этом раствор стал зелёного цвета, на дне остался порошок чёрного цвета (*реакция 1*). В результате отжига на воздухе получили вещество F (*реакция 2*). Это соединение растворяется в концентрированной азотной кислоте с образованием жёлтого раствора (*реакция 3*), который обесцвечивается при добавлении избытка щёлочи (*реакция 4*). При реакции F с тионилхлоридом образуется оранжевая дымящая жидкость (*реакция 5*).

1. Установите формулы максена и МАХ-фазы, из которой он был получен, если дополнительно известно, что массовая доля удаляемого элемента в D равна 19.1%. Запишите уравнение реакции травления D . Ответ подтвердите расчётом. **(7 баллов)**
2. Сколько алюминия может быть связано на поверхности максена E , если известно, что его удельная ёмкость в Al^{3+} -содержащем электролите равна $589 \text{ мА}\cdot\text{ч/г}$? **(2 балла)**
3. Установите продукты отжига E в аргоне и на воздухе, запишите уравнения реакций (1)-(5) **(8 баллов)**.
4. В производстве какого важного химического вещества применяют соединение F ? Какую реакцию оно катализирует **(1 балл)**?
5. Предположите, какое соединение может получаться при взаимодействии E с аммиаком, если известно, что один из продуктов реакции при сгорании даёт газовую смесь с плотностью по воздуху 0.92 **(2 балла)**.

Задача 8. Нанокатализаторы. Эффект размера (20 баллов)

Если металлический катализатор ускоряет реакцию, происходящую между газовыми молекулами, каталитическими центрами (КЦ) обычно служат атомы металла на поверхности твердых металлических частиц. Часто скорость каталитической реакции (отнесенная к единице массы добавленного катализатора!) возрастает с уменьшением размера твердых частиц. Возникает эффект размера, который особенно ярко проявляется, когда размер твердых частиц составляет десятки нанометров и меньше, т.е. у *нанокатализаторов*.

1. Почему каталитический эффект усиливается с уменьшением размера металлической частицы? Дайте краткое объяснение. **(2 балла)**

Увеличение скорости реакции на одном и том же катализаторе в одинаковых условиях происходит для различных реакций по-разному. Допустим, частицы твердого катализатора Pt представляют собой кубики с ребром R. Скорость двух каталитических реакций на таких кубиках увеличивается с уменьшением R пропорционально R^{-3} и R^{-1} (при постоянной общей массе катализатора!).

2. В каких местах на поверхности расположены каталитические центры твердого катализатора для каждой из этих реакций? Объясните. **(6 баллов)**

Огромный интерес ученых вызвали работы японского специалиста М.Харуты (M. Haruta), который исследовал реакцию $\text{CO} + 1/2\text{O}_2 = \text{CO}_2$ (1). Реакцию можно осуществить при низких температурах, используя в качестве катализатора металлическое золото. Харута выяснил следующее:

- Эффективным катализатором являются частицы золота, закрепленные на подложке из TiO_2 . Без подложки или на другой подложке катализатор не работает или работает хуже. Частицы золота на подложке, приготовленные по методу Харуты, представляют собой полусферы.
 - Реакция (1) имеет нулевые кинетические порядки по CO и O_2 .
 - Каталитический эффект усиливается с уменьшением размера полусфер из Au на поверхности (при постоянной общей массе катализатора). Если радиусы полусфер равны, соответственно, 4, 3, 1.8 нм, то скорости реакции (1) относятся, соответственно, как 6:11:55.
3. а) Кратко объясните, почему исследование возможности ускорить реакцию (1) вызывает такой интерес? **(2 балла)**
б) Запишите уравнение для скорости реакции (1). Предположите, почему реакция имеет нулевые порядки по реагентам? **(4 балла)**
в) Где расположены каталитические центры для реакции (1)? Объясните. **(6 баллов)**

Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева

		Г р у п п ы										
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
п е р и о д ы	1	1 H 1,008 Водород						(H)				2 He 4,00 Гелий
	2	3 Li 6,94 Литий	4 Be 9,01 Бериллий	5 B 10,81 Бор	6 C 12,01 Углерод	7 N 14,00 Азот	8 O 16,00 Кислород	9 F 19,00 Фтор				10 Ne 20,18 Неон
	3	11 Na 22,99 Натрий	12 Mg 24,31 Магний	13 Al 26,98 Алюминий	14 Si 28,09 Кремний	15 P 30,97 Фосфор	16 S 32,06 Сера	17 Cl 35,45 Хлор				18 Ar 39,95 Аргон
	4	19 K 39,10 Калий	20 Ca 40,08 Кальций	21 Sc 44,96 Скандий	22 Ti 47,90 Титан	23 V 50,94 Ванадий	24 Cr 52,00 Хром	25 Mn 54,94 Марганец	26 Fe 55,85 Железо	27 Co 58,93 Кобальт	28 Ni 58,69 Никель	
		29 Cu 63,55 Медь	30 Zn 65,39 Цинк	31 Ga 69,72 Галлий	32 Ge 72,59 Германий	33 As 74,92 Мышьяк	34 Se 78,96 Селен	35 Br 79,90 Бром				36 Kr 83,80 Криптон
	5	37 Rb 85,47 Рубидий	38 Sr 87,62 Стронций	39 Y 88,91 Иттрий	40 Zr 91,22 Цирконий	41 Nb 92,91 Ниобий	42 Mo 95,94 Молибден	43 Tc 98,91 Технеций	44 Ru 101,07 Рутений	45 Rh 102,91 Родий	46 Pd 106,42 Палладий	
		47 Ag 107,87 Серебро	48 Cd 112,41 Кадмий	49 In 114,82 Индий	50 Sn 118,69 Олово	51 Sb 121,75 Сурьма	52 Te 127,60 Теллур	53 I 126,90 Иод				54 Xe 131,29 Ксенон
	6	55 Cs 132,91 Цезий	56 Ba 137,33 Барий	57 La* 138,91 Лантан	72 Hf 178,49 Гафний	73 Ta 180,95 Тантал	74 W 183,85 Вольфрам	75 Re 186,21 Рений	76 Os 190,2 Осмий	77 Ir 192,22 Иридий	78 Pt 195,08 Платина	
		79 Au 196,97 Золото	80 Hg 200,59 Ртуть	81 Tl 204,38 Таллий	82 Pb 207,2 Свинец	83 Bi 208,98 Висмут	84 Po [209] Полоний	85 At [210] Астат				86 Rn [222] Радон
	7	87 Fr [223] Франций	88 Ra 226 Радий	89 Ac** [227] Актиний	104 Rf [261] Резерфордий	105 Db [262] Дубний	106 Sg [266] Сиборгий	107 Bh [264] Борий	108 Hs [269] Хассий	109 Mt [268] Мейтнерий	110 Ds [271] Дармштадтий	
		111 Rg [280] Рентгений	112 Cn [285] Коперниций	113 Nh [286] Нихоний	114 Fl [289] Флеровий	115 Mc [290] Московский	116 Lv [293] Ливерморий	117 Ts [294] Теннесси				118 Og [294] Оганесон

* Лантаноиды

58 Ce 140 Церий	59 Pr 141 Празеодим	60 Nd 144 Неодим	61 Pm [145] Прометий	62 Sm 150 Самарий	63 Eu 152 Европий	64 Gd 157 Гадолиний	65 Tb 159 Тербий	66 Dy 162,5 Диспрозий	67 Ho 165 Гольмий	68 Er 167 Эрбий	69 Tm 169 Тулий	70 Yb 173 Иттербий	71 Lu 175 Лютеций
------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	--------------------------------	------------------------------	------------------------------	---------------------------------	--------------------------------

** Актиноиды

90 Th 232 Торий	91 Pa 231 Протактиний	92 U 238 Уран	93 Np 237 Нептуний	94 Pu [244] Плутоний	95 Am [243] Америций	96 Cm [247] Кюрий	97 Bk [247] Берклий	98 Cf [251] Калифорний	99 Es [252] Эйнштейний	100 Fm [257] Фермий	101 Md [258] Менделеевий	102 No [259] Нобелий	103 Lr [262] Лоуренсий
------------------------------	------------------------------------	----------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

РАСТВОРИМОСТЬ КИСЛОТ, СОЛЕЙ И ОСНОВАНИЙ В ВОДЕ

	H ⁺	Li ⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Ba ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Sr ²⁺	Al ³⁺	Cr ³⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Ag ⁺	Hg ²⁺	Pb ²⁺	Sn ²⁺	Cu ²⁺
OH ⁻		P	P	P	P	P	M	H	M	H	H	H	H	H	H	-	-	H	H	H
F ⁻	P	M	P	P	P	M	H	H	H	M	H	H	H	P	P	P	-	H	P	P
Cl ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	H	P	M	P	P
Br ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	H	M	M	P	P
I ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	P	?	P	P	H	H	H	M	?
S ²⁻	P	P	P	P	P	-	-	-	H	-	-	H	-	H	H	H	H	H	H	H
HS ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
SO ₃ ²⁻	P	P	P	P	P	H	H	M	H	?	-	H	?	?	M	H	H	H	?	?
SO ₄ ²⁻	P	P	P	P	P	H	M	P	H	P	P	P	P	P	P	M	-	H	P	P
HSO ₄ ⁻	P	P	P	P	P	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	H	?	?
NO ₃ ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	P
NO ₂ ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	?	?	?	?	M	?	?	?	?
PO ₄ ³⁻	P	H	P	P	-	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
HPO ₄ ²⁻	P	?	P	P	P	H	H	M	H	?	?	H	?	H	?	?	?	M	H	?
H ₂ PO ₄ ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	P	?	P	P	P	?	-	?	?
CO ₃ ²⁻	P	P	P	P	P	H	H	H	H	?	?	H	-	H	H	H	H	H	?	H
HCO ₃ ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	P	?	?	?	?	?	P	?	?
CH ₃ COO ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	P	P	-	P	P	P	P	P	-	P
SiO ₃ ²⁻	H	H	P	P	?	H	H	H	H	?	?	H	?	H	H	?	?	H	?	?
MnO ₄ ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	?	?	P	?	?	?	?	?
Cr ₂ O ₇ ²⁻	P	P	P	P	P	M	P	?	H	?	?	?	P	?	?	H	H	M	?	P
CrO ₄ ²⁻	P	P	P	P	P	H	P	P	H	?	?	?	H	H	H	H	H	H	H	H
ClO ₃ ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	P	P	P	P	P	?	P
ClO ₄ ⁻	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	P

«P» – растворится (> 1 г на 100 г H₂O); «M» – мало растворяется (от 0,1 г до 1 г на 100 г H₂O);
«H» – не растворяется (меньше 0,01 г на 1000 г воды); «-» – в водной среде разлагается
«?» – нет достоверных сведений о существовании соединений

РЯД АКТИВНОСТИ МЕТАЛЛОВ / ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ РЯД НАПРЯЖЕНИЙ

Li Rb K Ba Sr Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb (H₂) Sb Bi Cu Hg Ag Pt Au →
 активность металлов уменьшается

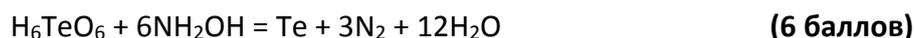


**Химия для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)
 Вариант II. Решения**

Решение задачи 1. Синтез полупроводника (8 баллов)

Простые вещества – Te (полупроводник, продукт восстановления H_6TeO_6) и N_2 (продукт окисления NH_2OH). **(2 балла)**

Уравнение реакции:



(Если есть все вещества, но неверные коэффициенты, – **3 балла**. Если вещества не все, или есть неправильные, – **0 баллов**).

Решение задачи 2. Соединение кремния с азотом (8 баллов)

1. Широко распространенные в земной коре продукты сгорания – SiO_2 и N_2 . Следовательно, бинарное соединение – нитрид кремния. Обозначим его Si_xN_y . Индексы x и y определим расчетом:

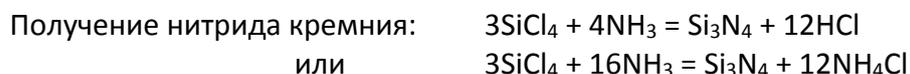
$$v(SiO_2) = 3.60 / 60 = 0.06 \text{ моль}, \quad v(Si) = v(SiO_2) = 0.06 \text{ моль.}$$

$$v(N_2) = 0.896 / 22.4 = 0.04 \text{ моль}, \quad v(N) = 2v(N_2) = 0.08 \text{ моль.}$$

$$v(Si) : v(N) = 0.06 : 0.08 = 3 : 4, \text{ формула нитрида Z – } Si_3N_4. \quad \textbf{(4 балла)}$$

Масса нитрида 2.80 г не используется, она нужна только для проверки.

2. Уравнения реакций.



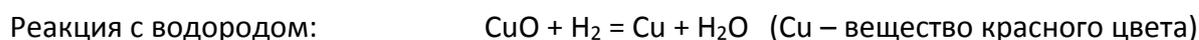
(по **2 балла** за уравнение. Если неверные коэффициенты, но все вещества верные – по 1 баллу. Уравнения с неверной формулой нитрида не оцениваются).

Решение задачи 3. Угадайка (8 баллов)

Неизвестный оксид входит в состав пасты, которую наносят на стекло для получения в его поверхностном слое металлических наночастиц. Этот оксид представляет собой черный порошок, нерастворимый в воде, но реагирующий с горячим раствором серной кислоты с образованием раствора синего цвета. При нагревании в токе водорода оксид превращается в вещество красного цвета. При очень сильном нагревании оксид частично отщепляет кислород, приобретая ярко-красную окраску.

1. Черный оксид, который при восстановлении превращается в красное вещество, а при растворении в серной кислоте дает синий раствор, – оксид меди(II), CuO. **(2 балла)**

2. Уравнения реакций.



(по 2 балла за уравнение. Если неверные коэффициенты, но все вещества верные – по 1 баллу).

Решение задачи 4. Простое вещество (8 баллов)

1. Твердый остаток представляет собой вещество X, взятое в избытке. Тогда получаем, что в реакцию с оксидом ртути вступило $20 - 14 = 6$ г X. $\nu(\text{HgO}) = 108.5 / 217 = 0.5$ моль. Если простое вещество реагирует с HgO в соотношении 1:1, то $\nu(\text{X}) = \nu(\text{HgO}) = 0.5$ моль. $M(\text{X}) = 6 / 0.5 = 12$ г/моль – это углерод. **(6 баллов)**

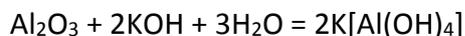
(ответ без расчетов – 0 баллов)



2. $\text{C} + 4\text{HNO}_3 = \text{CO}_2 + 4\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. **(2 балла)**

Решение задачи 5. Селективная мембрана (8 баллов)

1. Катионы калия и бария, содержащиеся в водном растворе смеси KOH и Ba(OH)₂, с помощью такой мембраны разделить нельзя, поскольку оксид алюминия растворяется в щелочной среде. **(2 балла)**



2. Катионы лития и рубидия, содержащиеся в водном растворе смеси LiCl и RbCl, частично разделить можно, так как они имеют разную подвижность. Вследствие гидратации ионов в водном растворе радиус катиона рубидия меньше радиуса катиона лития, имеющего бóльшую плотность заряда. Таким образом, через мембрану преимущественно будут проникать катионы рубидия, имеющие бóльшую подвижность в водном растворе. **(3 балла)**

3. Максимальное количество ионов, которое может адсорбировать мембрана, определяется её фиксированным зарядом, модуль которого должен быть равен суммарному заряду всех адсорбированных ионов. При этом знак заряда мембраны должен быть противоположным знаку заряда адсорбированных ионов. Таким образом, заряд мембраны равен

$$Q_K = en$$

$$n = N_A v$$

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

$$Q_K = \frac{eN_A m}{M}$$

$$Q_M = -\frac{eN_A m}{M}$$

где Q_M – фиксированный заряд мембраны (Кл), Q_K – суммарный заряд адсорбированных катионов натрия (Кл), e – заряд катиона натрия (Кл), n – число адсорбированных катионов натрия, N_A – число Авогадро (моль⁻¹), v – количество адсорбированных катионов натрия (моль), m – масса адсорбированных катионов натрия (г), M – молярная масса натрия (г/моль).

Значит, поверхностная плотность заряда равна

$$\sigma = \frac{Q_M}{S}$$

$$\sigma = -\frac{eN_A m}{MS}$$

$$\sigma = -\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{МОЛЬ}} \cdot 0,12 \cdot 10^{-3} \text{ г}}{23 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}} \cdot 1,65 \text{ м}^2} = -0,3 \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} \quad \text{(3 балла)}$$

Решение задачи 6. Гексаферрит стронция (20 баллов)

1. При отжиге оксалаты стронция и железа разлагаются до оксидов. Причём железо (II) на воздухе легко окисляется до железа (III). Таким образом, состав соединения **X** можно представить в виде $\text{SrO} \cdot n\text{Fe}_2\text{O}_3$. Молярная масса **X**:

$$M = 87,62 + 16 + n \cdot (2 \cdot 55,85 + 3 \cdot 16) = (103,62 + 159,7n) \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}}$$

С другой стороны, молярная масса соединения **X** равна

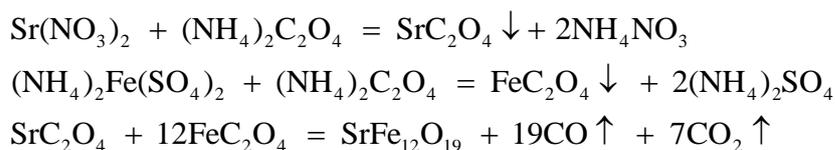
$$M = \frac{87,62 \cdot 100\%}{8,25\%} = 1062,06 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}}$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} 103,62 + 159,7n &= 1062,06 \\ n &= 6 \end{aligned}$$

Таким образом, состав соединения **X** – $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ или $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$. **(4 балла)**

2. Уравнения реакций:



(5 баллов)

(первые две реакции – по **1,5 балла**, последняя – **2 балла**)

3. Так как растворимость сульфата стронция в воде слишком мала, то смешивание растворов $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ и $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ приведёт к образованию осадка SrSO_4 , устойчивого при температуре отжига, то есть при 900°C . **(2 балла)**
4. Тривиальное название соединения **X** – гексаферрит стронция (см. название задачи), поскольку на одну формульную единицу оксида стронция приходится шесть формульных единиц оксида железа. **(2 балла)**
5. Полная площадь поверхности сферических наночастиц равна $S = 4\pi R^2 n$, где R – радиус наночастицы (м), n – число наночастиц. С другой стороны, площадь поверхности равна $S = S_{\text{уд}} \cdot m$, где $S_{\text{уд}}$ – удельная площадь поверхности ($\text{м}^2/\text{кг}$), m – масса наночастиц (кг).
Следовательно,

$$\begin{aligned} 4\pi R^2 n &= S_{\text{уд}} \cdot m \\ n &= \frac{m S_{\text{уд}}}{4\pi R^2} \end{aligned}$$

Суммарный объём, который занимают эти наночастицы равен $V = \frac{4}{3}\pi R^3 n$, где R – радиус наночастицы (м), n – число наночастиц. С другой стороны, объём равен $V = \frac{m}{\rho}$, где m – масса наночастиц (кг), ρ – их плотность (кг/м³). Следовательно,

$$\begin{aligned} \frac{4}{3}\pi R^3 n &= \frac{m}{\rho} \\ \frac{4}{3}\pi R^3 \frac{mS_{уд}}{4\pi R^2} &= \frac{m}{\rho} \\ \frac{S_{уд} R}{3} &= \frac{1}{\rho} \\ R &= \frac{3}{\rho S_{уд}} \\ D = 2R &= \frac{6}{\rho S_{уд}} = \frac{6}{5300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 7300 \frac{\text{м}^2}{\text{кг}}} = 1,55 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 155 \text{ нм} \end{aligned}$$

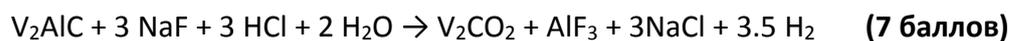
(7 баллов)

(Каждая арифметическая ошибка или неверный перевод из см в м – **минус 1 балл**. Каждая ошибка в рассуждениях или неверная формула – минус 2 балла. За попытку решить **1 балл**)

Решение задачи 7. Максены (20 баллов)

- Поскольку ионы калия полностью занимают поверхность максена, его химическая формула выглядит как $M_{n+1}X_nO_2K_2$. Из данных о ёмкости максена в K^+ -содержащем электролите можно определить его молярную массу. Ёмкость равна 239 мА*ч/г, значит молярная масса равна $96500 \cdot 2 / 239 / 3,6 = 224$ г/моль. Отсюда молярная масса металла $M(M) = 51$ г/моль, что соответствует ванадию, $X - C$, $n = 1$. В МАХ-фазе D массовая доля удаляемого элемента равна 19,1%, что соответствует алюминию. Таким образом, максен E имеет формулу V_2CO_2 , МАХ-фаза D – V_2AlC .

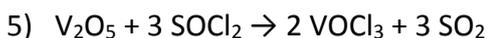
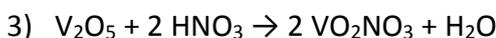
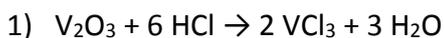
Уравнение реакции травления:



(5 баллов за формулу максена, по 1 баллу за МАХ-фазу и уравнение)

- Формула максена со связанными ионами алюминия – $V_2CO_2Al_x$. Тогда можно составить уравнение для нахождения x : $96500 \cdot 3x / 589 / 3,6 = 51 \cdot 2 + 12 + 16 \cdot 2 + 27x$. Отсюда $x = 146 / (136,5 - 27) = 1,333$. Таким образом, $x = 4/3$, ионами алюминия заполнено две трети поверхности максена. **(2 балла)**

3. Продукт отжига в атмосфере аргона – смесь карбида ванадия и оксида ванадия III, на воздухе – V_2O_5 . Уравнения реакций:



(8 баллов)

(2 балла за продукт отжига в аргоне, **1 балл** за продукт отжига на воздухе, **по 1 баллу** за каждое правильное уравнение реакции)

4. В производстве серной кислоты. V_2O_5 катализирует превращение SO_2 в SO_3 . **(1 балл)**

5. Максимум V_2NT_z . **(2 балла)**

Решение задачи 8. Нанокатализаторы. Эффект размера (20 баллов)

1. Поверхностных атомов на единицу массы становится больше. **(2 балла)**

Если в ответе говорилось, что увеличение каталитической активности связано с увеличением поверхности, участник получал 1 балл. Если в ответе говорилось об удельной поверхности (т.е. поверхности на единицу массы), ответ оценивался в 2 балла.

2. Скорость каталитической реакции, $r_{кат}$, растет пропорционально количеству каталитических центров, n . Общая масса катализатора, m , постоянная. Тогда при дроблении на кубики

$$m = nR^3 \rho_{Pt}; \quad n = \frac{m}{R^3 \rho_{Pt}}$$

Пусть каталитические центры – это определенные точки на поверхности куба, например, вершины. На каждом кубе количество таких точек постоянно и не зависит от R . Тогда количество таких центров растет пропорционально n , т.е. R^{-3} .

Пусть каталитические центры расположены на гранях, и их количество пропорционально площади граней, S , тогда

$$S = R^2; n = \frac{m}{R^3 \rho_{Pt}}; r_{кат} \sim nS \sim R^{-1}$$

(6 баллов)

Некоторые участники указали правильные ответы, но не дали никаких объяснений. Такой ответ оценивался **в 4 балла вместо 6**.

3.

- а) СО – опасный ядовитый газ. Необходимо превращать его в СО₂. Такая необходимость существует, например, в автомобильных двигателях. Катализатор можно поставить в выхлопной трубе. **(2 балла)**

б) $r_{кат} = k[O_2]^0[CO]^0[КЦ]$

Нулевые порядки реакции по СО и О₂, наблюдающиеся в эксперименте, указывают на то, что все имеющиеся в системе каталитические центры уже заняты, и дальнейшее увеличение концентрации реагентов не может ускорить реакцию. **(4 балла)**

Если в ответе приводилась только запись уравнения для скорости, а происхождение нулевых порядков не объяснялось, то баллы не начислялись.

- в) Цифры, приведенные в условии (б), показывают, что скорость реакции (т.е. количество каталитических центров) растет пропорционально R⁻². Это значит, что количество каталитических центров на одной полусфере растет пропорционально длине некоторой линии на поверхности полусферы из Au. Длина линии должна быть пропорциональна радиусу полусферы:

$$r_{кат} \sim [КЦ] \sim R^{-2}; [КЦ] \sim n \times R \sim \frac{M}{R^3} \times R \sim R^{-2}$$

Подложка влияет на каталитическую активность золота (см. пункт (а) условия). Харута предположил, что каталитические центры расположены на линии соприкосновения Au и TiO₂, т.е. на периметре полусферы, там, где образован контакт Au с подложкой. **(6 баллов)**



Универсиада

Специальный конкурс

Категория участников: студенты невыпускных и выпускных курсов, бакалавры, магистры, аспиранты, молодые ученые (до 35 лет)

Универсиада является уникальным конкурсом, впервые проводимом в новом, комплексном формате, который охватывает широкий диапазон участников – студентов и выпускников специалитета, бакалавриата, магистратуры, аспирантов, молодых ученых. Конкурс рассчитан на поддержку талантливой молодежи, мотивацию дальнейшего развития научно-исследовательской карьеры, пропаганду научных знаний, активное вовлечение участников в обмен мнениями и равноправное соревнование со своими сверстниками и коллегами на международном уровне, а также поступление в магистратуру МГУ без экзаменов по результатам Универсиады.

Задание

Все участники представляют на конкурс **единую комплексную заявку по форме [Приложения 1](#)** (далее – Заявка). Заявка должна содержать:

1. краткое изложение своих научных достижений, реальной научно-исследовательской работы или цикла работ – *часть А в форме научного миниобзора, на русском или английском языке,*
2. краткое научно-популярное изложение результатов – *часть Б в форме научно-популярного эссе, на русском языке,*
3. возможные предложения по внедрению результатов или технико-экономическое обоснование практической значимости работы – *часть В в форме оценочной информации для потенциального инвестора, на английском языке.*

По результатам Универсиады (рейтингованию Заявок) будут отобраны призеры и победители – сильнейшие участники, которые наиболее подготовлены к обучению и / или проведению научно-исследовательской работы в лучших лабораториях на российском и мировом уровне по самым современным направлениям в области химического материаловедения, физики, химии и механики материалов.

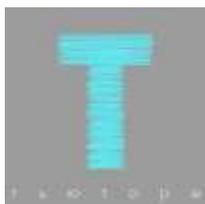
В рамках Универсиады по результатам рассмотрения **единой Заявки** лучшие участники будут награждены дипломами и памятным подарками, а также могут претендовать на следующие дополнительные льготы и поощрения:

- получить премии за лучшую научную работу (в абсолютном рейтинге Заявок); в связи с юбилеем факультета наук о материалах и декана-основателя [ФНМ МГУ академика Юрия Дмитриевича Третьякова](#) в 2021 году за счет добровольных пожертвований выпускников и партнеров ФНМ МГУ устанавливаются следующие денежные премии: **1 премия абсолютному победителю - 50000 рублей, до 5 вторых премий - по 20000 руб.**
- поступить в **магистратуру МГУ без экзаменов** в заранее заинтересовавшие участников научные группы ФНМ МГУ и новую междисциплинарную магистратуру Школы МГУ «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды» для проведения научной работы и карьерного роста (для выпускников бакалавриата и специалитета - в соответствии [с регламентирующими документами об Универсиаде «Ломоносов» по направлению подготовки 04.04.02 «Химия, физика и механика материалов»](#)), дополнительно лучшие работы (приоритетный фокус на части А Заявки) могут быть после доработки и рецензирования рекомендованы для публикации в российских журналах, входящих в Web of Science (Core Collection) - до 10 призеров и победителей,
- выиграть конкурс (для всех участников) «**Просто о сложном**» по научно-популярному изложению результатов своей научной работы (приоритетный фокус на частях А и Б Заявки), выступить в качестве приглашенных докладчиков на [Проектной школе-конференции](#) с публичной лекцией по мотивам своей работы; лучшие работы могут быть опубликованы после доработки в журналах «Популярная механика», «В мире науки», «Химия и жизнь», «Наука и жизнь» (по согласованию, приоритетный фокус на часть Б заявки); лучшие авторы могут также получить персональный контракт на разработку учебного курса на платформах онлайн-обучения [Стемфорд](#) или [eНано](#) в области своей профессиональной подготовки - до 10 призеров и победителей,
- выиграть конкурс (для студентов невыпускных курсов, бакалавров, магистров, аспирантов) «**National Student Team Contest**» для отбора в национальную команду для участия в Международной олимпиаде по нанотехнологиям (по согласованию, приоритетный фокус на частях А и В Заявки) - до 4 призеров и победителей.

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

[Положение об Универсиаде "Ломоносов"](#)

[Положение об апелляциях на результаты Универсиады "Ломоносов"](#)



Конкурс тьюторов

Конкурс Тьюторов

Категория участников: педагоги общеобразовательных организаций и организаций дополнительного образования детей, преподаватели высшей школы, молодые ученые, аспиранты, студенты, вовлеченные в организацию проектной деятельности школьников.

Конкурс тьюторов проектной деятельности школьников. Победители заочного этапа будут рекомендованы в качестве приглашенных докладчиков на [Проектную школу-конференцию](#), организованную в дистанционном формате, награждены дипломами, подарками. Конкурс проводится совместно с АНО "eНано" и проектом "Стемфорд" (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. Опыт наставников, тьюторов, педагогов, которые развивают и направляют молодое поколение будущего российской науки, техники, индустрии – современных школьников – бесценен и должен быть известен широкой научной и педагогической общественности, участники этого процесса существенно взаимно выиграют от обмена опытом, мнениями, опасениями, перспективами.

В этой связи конкурс тьюторов XV Всероссийской Олимпиады «Нанотехнологии – прорыв в будущее!» проводится с целью отбора лучших практик и теоретических подходов в вопросах научно-практической подготовки школьников и направлен на представление лучших работ и участников конкурса на [Проектной школе-конференции](#) (в дистанционном формате) в качестве приглашенных докладчиков. Победителям и призерам конкурса тьюторов предоставляются дипломы, памятные призы, сертификаты об участии в конкурсе.

Конкурс проводится совместно с [АНО «еНано»](#) и проектом [«Стемфорд»](#) (eNANO, Фонд инфраструктурных и образовательных программ, группа РОСНАНО).

Работа на конкурс предоставляется через [сайт Олимпиады](#) в виде файла заявки в формате pdf по шаблону, размещенном в файле с заданием ниже.

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



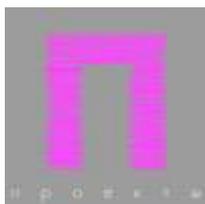
Конкурс тьюторов (заочный тур) Форма заявки на участие в конкурсе

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) работы (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 сертификатов о прохождении курсов повышения квалификации или теоретической подготовки, в том числе на платформах онлайн-обучения Стемфорд или eНано. (до 10 баллов)**
Участнику можно по желанию разместить в составе в заявки скан сертификата или сертификатов, полученных после прохождения курсов повышения квалификации или теоретической подготовки, в том числе, на платформе онлайн-обучения Стемфорд (<https://stemford.org>) или eНано (<https://edunano.ru/>).
- 6. Автореферат учебно-методической работы или образовательного проекта. (до 20 баллов)**
Участнику конкурса необходимо предоставить краткий автореферат своей учебно-методической работы или образовательного проекта (10 – 15 страниц формата А4 с иллюстрациями, шрифты типа Arial, Time New Roman, Calibri, 12 pt., один межстрочный интервал), рекомендуемая структура автореферата (информацию по пп. 1 – 4 можно не дублировать, разделы можно видоизменять, если необходимо): Введение (цели, задачи, методы, актуальность, новизна), Основная часть (описание работы или проекта с иллюстрациями), Заключение (выводы, перспективы), Список источников (публикации, патенты, гиперссылки на сайты, электронные образовательные ресурсы), Приложения (если необходимо). Желательно, чтобы структурирование и фактология материала позволяла подготовить по представленным результатам устное сообщение на Проектной школе-конференции с использованием дистанционных технологий.
- 7. Подготовка и сопровождение участников конкурса проектных работ школьников «Гениальные мысли». (до 10 баллов)**
Необходимо в составе настоящей заявки предоставить список школьников, подготовленных для участия в конкурсе проектных работ «Гениальные мысли» XV Олимпиады по нанотехнологиям. Участник конкурса тьюторов, который

подготовил школьников, загрузивших авторефераты своих работ на конкурс «Гениальные мысли» в рамках XV Всероссийской олимпиады «Нанотехнологии – прорыв в будущее!», будет отмечен дополнительными баллами, но не более 5 баллов за каждую заявку школьника, отправленную на конкурс, и не более 10 баллов за все курируемые заявки. Школьники при подаче заявки на конкурс проектных работ в п.1 автореферата указывают ФИО подготовившего их учителя / преподавателя.

Всего – 50 баллов



Гениальные мысли

Гениальные мысли

Категория участников: школьники 5-11 классов

Конкурс авторефератов **школьных проектов**. Победители заочного этапа будут приглашены для презентации своего проекта на [Проектную школу-конференцию](#), организованную в дистанционном формате, а победители награждены дипломами, ценными подарками и призами.

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 в области нанотехнологий, выполненные самостоятельно или в составе команды, под руководством учителя, научного консультанта. При подготовке и подаче работы следует учитывать, что Конкурс является соревнованием отдельных проектов и представляющих их авторов, которым делегированы все полномочия по подаче и защите проекта. Таким образом, в случае проекта, выполненного командой, все соавторы по взаимному согласию должны назначить из своего числа единственного представляющего автора, от действий которого зависит успех работы в Конкурсе, остальные соавторы информационно указываются в тексте работы. По результатам Конкурса проект и весь авторский коллектив, указанный в исходной заявке, награждается единой грамотой (дипломом) в том перечислении фамилий, имен и отчеств, образовательных организаций, которые содержались в исходной заявке; если авторский коллектив не был указан в заявке, награждается только представляющий автор. После подведения итогов никакие ходатайства, изменяющие исходную заявку по Конкурсу, не рассматриваются. В случае возникновения объективных и обоснованных возражений в отношении авторских прав со стороны третьих лиц, соавторов или научного куратора проекта работа снимается с конкурса.

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. 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. На конкурс могут быть представлены работы, которые участвовали в других конкурсах проектных и творческих работ, если они переработаны по форме и содержанию и отвечают критериям, которые установлены [Положением о конкурсе](#). Полнотекстовые файлы работы, не отвечающие форме, тематике и критериям Конкурса, могут оцениваться жюри Конкурса на минимальный балл.

Во всех случаях подготовленный школьником автореферат проекта предоставляется только через [сайт Олимпиады](#) в виде одного файла заявки в формате pdf в соответствии со специальной формой Конкурса, которая дана в виде [файла с заданием](#) ниже. Автореферат является конечной и единственной работой на конкурс, призванной убедить Жюри в обоснованности, реалистичности, актуальности, новизне, оригинальности материала, предоставляемого школьником в кратком изложении.

Конкурс проводится совместно с [Автономной некоммерческой организацией «Электронное образование для наноиндустрии»](#) и проектом «Стемфорд» (eNANO, Фонд инфраструктурных и образовательных программ, группа РОСНАНО). Взаимодействие с проектом «Стемфорд» проводится в информационном, методическом поле, а также выражается в возможности направленного привлечения проектов, разработанных на платформе stemford.org, для участия в Конкурсе с получением дополнительных мотивировочных баллов.

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 и соавторах (если имеются). (2 балла)**
Укажите название работы, а также сведения о научном руководителе работы (ФИО полностью, должность, место работы), полный выверенный список соавторов (если имеются, ФИО полностью, название школы, класс, населенный пункт), которые добровольно делегировали Вам право подать работу на конкурс как представляющему автору. Название должно иметь отношение к области нанотехнологий.
- 2. Соответствие области нанотехнологий, включая обоснование этого автором. (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. (5 баллов)**
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. (2 балла)

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

8. Наличие сертификата о прохождении сетевого дистанционного проекта на платформе онлайн-обучения Стемфорд. (5 баллов)

Участник может представить в формате Конкурса результаты выполнения проекта на платформе «Стемфорд» в исходной или доработанной форме (<https://stemford.org/project?page=1>), при этом дополнительные мотивировочные баллы будут даны, если в состав PDF файла-заявки на Конкурс будет включен сертификат о завершении проекта на платформе «Стемфорд».

9. Список достижений участника. (3 балла)

Представленный участником список достижений на других конкурсах (желательно привести подтверждающие гиперссылки), публикаций, а также (если имеется) подтвержденный сертификатом(ами) список теоретических курсов, пройденных на проекте «Стемфорд».

Всего – 60 баллов



Юный эрудит

Юный эрудит

Категория участников: школьники 5-7 классов

Блок простых задач для **младших** школьников. Лучшие школьники-младшеклассники будут награждены дипломами и подарками от Оргкомитета.

Задания

1. Загадки про квазичастицы

По кристаллу пролетает Раз неспешный электрон, То структуру искажает, Порождая
При нуле температуры Все пропадает он. Колебание структуры Именуется
«...». Электроны если дружно
Колебались в унисон, Значит, вывод сделать нужно, Что в кристалле был

2. Акроним

Выпишите загаданные слова или словосочетания и сложите из их первых букв название популярной летней школы по нанотехнологиям. (1) Одномерный наноматериал, длина которого значительно превосходит все остальные измерения; (2) участок поверхности катализатора...

3. Фиолетовые растворы

В двух склянках находятся два близких по цвету фиолетовых раствора в полиэтиленоксиде, в одном из которых содержится фуллерен C_{60} , а в другом – органический краситель индигокармин. Предложите простой способ, как распознать, в какой склянке находится раствор фуллерена...

4. Нанокластер 2021

Может ли нанокластер, содержащий точно 2021 атом металла, иметь форму: а) куба, б) квадрата, в) прямоугольника, г) прямоугольного параллелепипеда? В каждом случае дайте объяснение...

5. Смесь геометрических форм

На негативах просвечивающих микрофотографий смеси разных форм никелево-платиновых наночастиц отмечены некоторые частицы, имеющие форму трех многогранников. Каждой из отмеченных на рисунке наночастиц сопоставьте отвечающий ей многогранник...

6. Медицинская маска и вирус

В условиях пандемии COVID-19, вызванной коронавирусом SARS-CoV-2, Всемирная Организация Здравоохранения призывает использовать медицинские маски. На рисунке изображены защитная медицинская маска и микрофотография ее фильтрующего слоя...

7. Кто такие Фиксики - большой, большой секрет...

Фиксики – раса маленьких человечков, которые ремонтируют приборы и ухаживают за ними. Известно, что размер фиксиков – не более 1 сантиметра, а рассмотреть их детально можно только при помощи лупы. Питаются они энергией, которую получают от электроприборов...

8. Раскраска графена

Закрасьте семью цветами фрагмент графенового листа из 140 шестиугольников (рис. а) так, чтобы он был сложен без промежутков фигурами, представленными на рисунке б. При этом фигуры каждого цвета должны использоваться ровно по 5 раз...

9. Разноцветная ботаника

Под двумя одинаковыми стеклянными колпаками растут два растения, одно с желтыми листьями, а другое с зелеными. Как Вы думаете, под каким колпаком свеча будет гореть дольше и чем это объясняется? Есть две молекулы, похожие как сестры, у одной в центре находится ион магния...

10. Пищевая цепь

На одном изолированном острове обитают популяции змей, мышей и больших орлов. Основным источником питания мышей являются злаки. Пусть средний суммарный прирост биомассы орла, необходимый для его нормальной жизнедеятельности, составляет 20 кг/год...

11. Удивительные митохондрии

Митохондрии – одни из важнейших клеточных органоидов, основной функцией которых является синтез АТФ при помощи АТФ-синтазы, расположенной во внутренней митохондриальной мембране. При этом митохондрии обладают множеством других функций...

12. Клубок наноцеллюлозы

На поверхности многих растительных клеток есть особая нанофабрика – комплекс из 36 одинаковых ферментов, которые совместно «прядут» микрофибриллу целлюлозы. Этот комплекс путешествует по поверхности клетки и наматывает на нее производимую целлюлозную нить как на веретено...

13. Все дело в кубе

Если взять кубический кластер, на ребро которого приходится x атомов металла, и «разобрать» его на отдельные атомы, то из них можно «собрать» не только октаэдрический и треугольный кластеры, на ребро каждого из которых также приходится по x атомов, но и кубический кластер...

14. Как построить модель фуллерена своими руками

Чтобы построить модель многогранника, необходимы трубочки, леска и немного терпения (подробную инструкцию см. в *Приложении* в конце задачи). На рисунке 1 представлена проекция фуллерена C_{24} на плоскость. Опишите последовательность...

15. Нанокроссворд

По горизонтали: 5г. Всеобщие ограничения как способ обуздать 18г. 7г. «Наноконверт», который может использоваться 20в для хранения своей 12г. 10г. Поражающий печень 20в. 12г. Рис. 12г. 16г. Роль Cas9 в CRISPR-Cas9. 18г. Когда болеет весь мир. 19г. Защищает как человека, так и 4в...

Текст задачи обновлен 04.01.2021: вопрос 22г относится к рис.15в.



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 1. Загадки про квазичастицы

1. По кристаллу пролетает
Раз неспешный электрон,
То структуру искажает,
Порождая (1 балл)
2. При нуле температуры
Вовсе пропадает он.
Колебание структуры
Именуется «...». (1 балл)
3. Электроны если дружно
Колебались в унисон,
Значит, вывод сделать нужно,
Что в кристалле был (1 балл)
4. Если с атома сорвался,
Но остался электрон
Рядом, то образовался
В том кристалле ... (1 балл)
5. Не в каждом кристалле бывает,
Магнитам присущ только он.
Магнитный момент их снижает.
Частица зовётся «...». (1 балл)

Всего – 5 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 1. Загадки про квазичастицы

1. Полярон
2. Фонон
3. Плазмон
4. Экситон
5. Магнон



Юный эрудит (заочный тур)
Задача 2. Акроним

Выпишите загаданные слова или словосочетания и сложите из их первых букв название популярной летней школы по нанотехнологиям.

- (1) Одномерный наноматериал, длина которого значительно превосходит все остальные измерения;
- (2) участок поверхности катализатора, участвующий в каталитическом процессе;
- (3) элемент, входящий в состав поваренной соли;
- (4) соединение кобальта, используемое в производстве литий-ионных аккумуляторов;
- (5) отдельный слой из атомов углерода, входящий в состав графита;
- (6) элемент, названный в честь России;
- (7) электрод, на котором при электролизе выделяются такие газы, как кислород или хлор;
- (8) процесс, в результате которого отдельные атомы, первоначально равномерно распределенные в среде, собираются в наночастицу.

Всего – 10 баллов



**Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 2. Акроним**

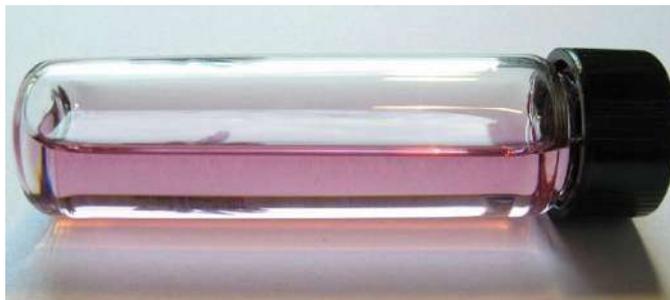
- (1) – нанонить
- (2) – активный центр
- (3) – натрий
- (4) – оксид кобальта
- (5) – графен
- (6) – рутений
- (7) – анод
- (8) – диффузия

(по 1 баллу за слово)

Летняя школа – НАНОГРАД *(2 балла)*



Юный эрудит (заочный тур)
Задача 3. Фиолетовые растворы



В двух склянках находятся два близких по цвету фиолетовых раствора в полиэтиленоксиде, в одном из которых содержится фуллерен C_{60} , а в другом – органический краситель индигокармин. Предложите простой способ, как распознать, в какой склянке находится раствор фуллерена.

Всего – 4 балла



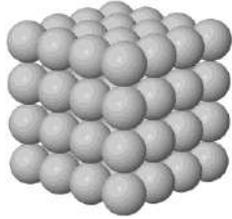
Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 3. Фиолетовые растворы

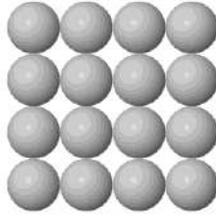
Один из вариантов – изменить pH раствора. Индигокармин – кислотно-основный индикатор, его окраска будет изменяться. Окраска раствора фуллерена не изменится.



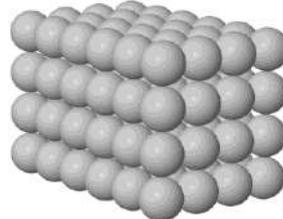
Юный эрудит (заочный тур)
Задача 4. Нанокластер 2021



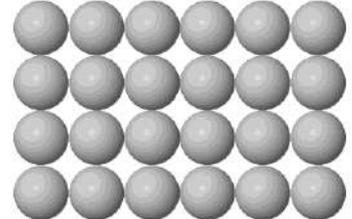
а



б



в



г

Может ли нанокластер, содержащий точно 2021 атом металла, иметь форму:

- а) куба,
- б) квадрата,
- в) прямоугольника,
- г) прямоугольного параллелепипеда?

В каждом случае дайте объяснение.

Всего – 4 балла



Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 4. Нанокластер 2021

Число атомов в перечисленных видах кластеров можно записать как:

- а) куб $N = a^3$,
- б) квадрат $N = a^2$,
- в) прямоугольник $N = a \cdot b$,
- г) прямоугольный параллелепипед $N = a \cdot b \cdot c$,

где **a**, **b** и **c** – целые числа.

Чтобы понять, какие из этих кластеров могут содержать 2021 атом, необходимо найти, на какие множители раскладывается число 2021.

$$2021 = 43 \cdot 47.$$

Данный результат можно получить, например, воспользовавшись таблицей разложения чисел на множители. Или обратить внимание, что число оканчивается на единицу, но не делится без остатка ни на 3, ни на 7, и проверить делится ли 2021 на 13, 17, 23, 37, 43, 47, 53 без остатка (27 и 33 отбрасываем, поскольку они делятся на 3).

То есть, нанокластер, содержащий 2021 атом металла, может иметь только форму прямоугольника.



Юный эрудит (заочный тур)
Задача 5. Смесь геометрических форм

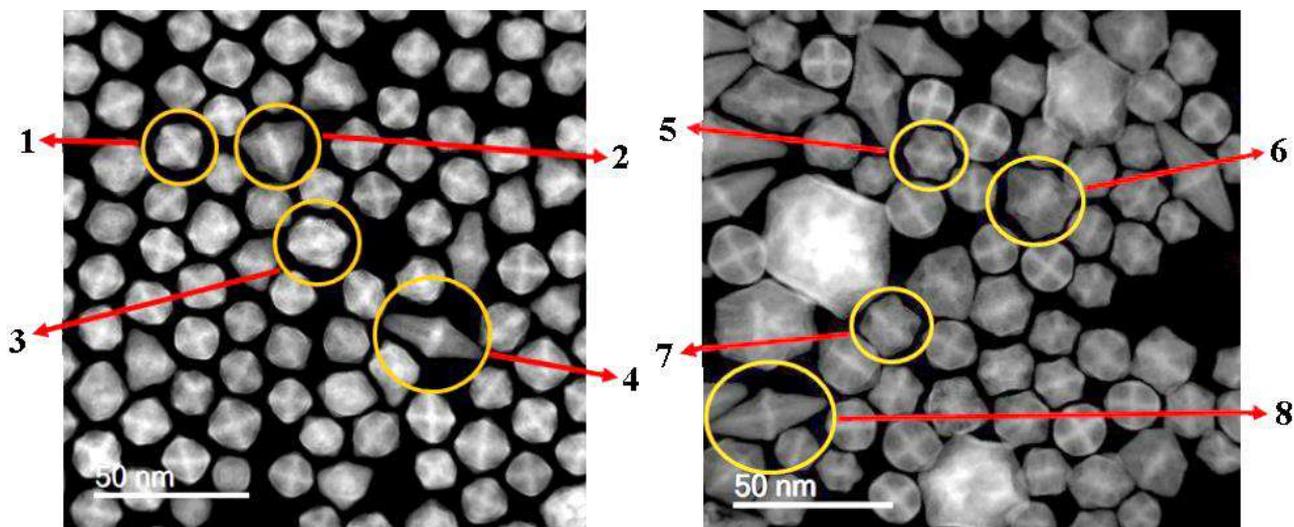
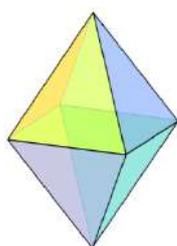


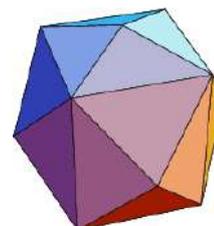
Рис. 1.



I



II



III

Рис. 2.

На негативах просвечивающих микрофотографий смеси разных форм никелево-платиновых наночастиц отмечены некоторые частицы, имеющие форму трех показанных на рис. 2 многогранников.

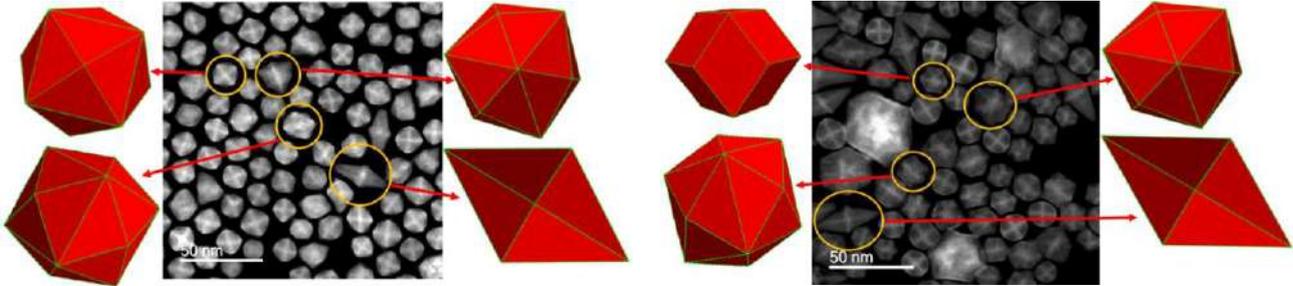
Каждой из отмеченных на рис. 1 наночастиц сопоставьте отвечающий ей многогранник, приведенный на рис. 2.

Всего – 4 балла



Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 5. Смесь геометрических форм

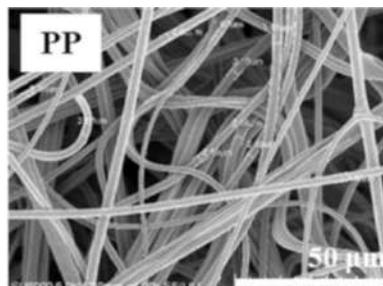
Наночастица	1	2	3	4	5	6	7	8
Многогранник	III	III	III	I	II	III	III	I





Юный эрудит (заочный тур)

Задача 6. Медицинская маска и вирус



В условиях пандемии COVID-19, вызванной коронавирусом SARS-CoV-2, Всемирная Организация Здравоохранения призывает использовать медицинские маски.

На рисунке изображены защитная медицинская маска и микрофотография ее фильтрующего слоя, который сделан из нетканого фильтрующего материала мелтблаун, состоящего из полипропиленовых (PP) волокон (масштабный отрезок составляет 50 мкм).

1. Каков размер частиц коронавируса SARS-CoV-2? **(1 балл)**
2. Оцените по микроструктуре фильтрующего слоя маски минимальные размеры частиц, которые маска эффективно задерживает. **(2 балла)**
3. Проникают ли частицы коронавируса через фильтрующий слой такой маски? Если не проникают, поясните, почему; если проникают – поясните, почему в условиях пандемии для защиты от вируса применяются такие маски. **(3 балла)**

Всего – 6 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 6. Медицинская маска и вирус

1. Размер частиц SARS-CoV-2 лежит в диапазоне от 60 до 140 нм.
2. Максимальные «зазоры» между волокнами (следовательно, минимальные размеры эффективно задерживаемых частиц) по микрофотографии составляют примерно 10 мкм.
3. Размер частиц коронавируса примерно в 100 раз меньше, чем способна эффективно задерживать маска. Поэтому, задержать индивидуальную частицу коронавируса маска, конечно, не способна. Но вирусы респираторных инфекций распространяются не сами по себе, а в капельках жидкости, которую выделяет больной при кашле, чихании, при дыхании и разговоре. Активные вирусы находятся внутри капель размером от примерно 1 до 200 микрометров. Большая часть капель аэрозоля крупные (при сухом кашле ~15 мкм), поэтому медицинская маска способна их задерживать, более того, в многослойной маске даже часть более мелких капель «прилипает» и задерживается на волокнах маски.



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 7. Кто такие Фиксики – большой, большой секрет...



Фиксики – раса маленьких человечков, которые ремонтируют приборы и ухаживают за ними. Известно, что размер фиксиков – не более 1 сантиметра, а рассмотреть их детально можно только при помощи лупы. Питаются они энергией, которую получают от электроприборов. Кроме того, они обладают устойчивостью к электричеству. Известно, что фиксик всегда знает, где находится его электроприбор. Они обладают нечеловеческой силой, которая позволяет им поднимать предметы в сто раз больше их веса. «Волосы» у фиксиков светятся.

Напишите, какие наноприспособления используют фиксики в своей жизни. Как физиология фиксиков связана с нанотехнологиями?

Задание творческое, однако в качестве правильных ответов засчитываются только ответы с обоснованиями.

Всего – 6 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 7. Кто такие Фиксики – большой, большой секрет...

При уменьшении геометрических размеров тела живого существа его масса уменьшается пропорционально длине тела в третьей степени, а площадь поперечного сечения мускул — пропорционально квадрату длины тела. То есть, если уменьшить человека в 100 раз, то его сила уменьшится только в 10 раз. Фиксики меньше человека приблизительно в 100-1000 раз, поэтому могут поднимать тяжелые объекты. Не является наноприспособлением.

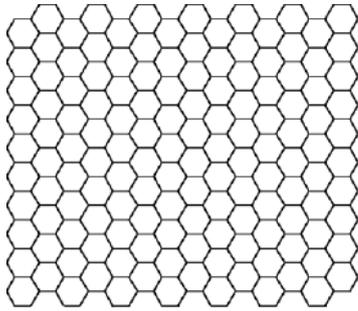
Наноприспособления:

1. Если предположить, что внутри фиксиков существуют магнитосомы, то, возможно, они реагируют на электроприбор, от которого происходила зарядка фиксика.
2. Волосы у фиксиков – скорее часть тела, чем волосы в привычном понимании, поэтому возможность светиться (отражать свет) обусловлена строением этой части головы тела – могут присутствовать специальным образом уложенные чешуйки по аналогии с крылом бабочки).
3. Каждый фиксик имеет свой собственный цвет, что может быть связано со структурой, которой покрыта кожа – она может иметь поры определённых определенных размеров, которые отражают только определенные лучи света (по аналогии с перьями птиц).
4. Фиксики не способны извлекать энергию из обычной человеческой еды. Также они устойчивы к электричеству. Также они способны превращаться в гайки, винтики и т.д. Из этого можно сделать вывод, что физиология фиксиков отлична от живых существ. Также, возможно, что фиксики большей частью состоят из металла, а именно, из таких металлов как золото, серебро, платина, медь – это металлы с высокой проводимостью, обладающие способностью менять цвет в зависимости от размеров наноструктур.

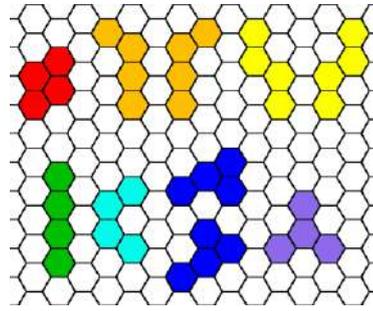
Принимаются и иные ответы, имеющие разумное обоснование.



Юный эрудит (заочный тур)
Задача 8. Раскраска графена



а



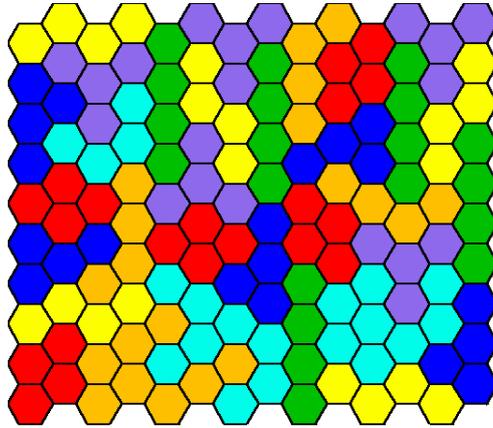
б

Закрасьте семью цветами фрагмент графенового листа из 140 шестиугольников (рис. а) так, чтобы он был сложен без промежутков фигурами, представленными на рисунке б. При этом фигуры каждого цвета должны использоваться ровно по 5 раз.

Всего – 8 баллов

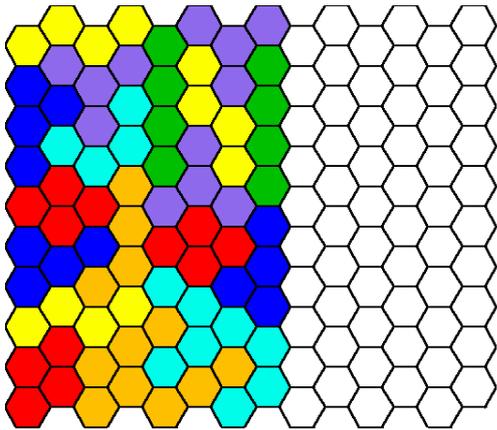


Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 8. Раскраска графена

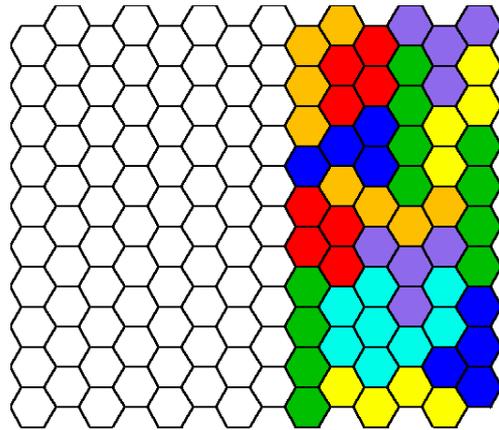


Один из способов решения задачи.

Предложенный вариант раскраски можно разделить (не разбивая фигур одного цвета) на два независимых блока (см. рис.). Меняя эти блоки местами, а также заменяя один или оба блока на результат его поворота на 180°, можно получить и другие варианты решения.



Блок 1, составленный из 8-ми вертикальных полос шестиугольников.



Блок 2, составленный из 6-ти вертикальных полос шестиугольников.

В качестве правильного решения принимались также и другие способы раскраски, удовлетворяющие условию.



Юный эрудит (заочный тур)
Задача 9. Разноцветная ботаника



1. Под двумя одинаковыми стеклянными колпаками растут два растения, одно с желтыми листьями, а другое с зелеными. Как Вы думаете, под каким колпаком свеча будет гореть дольше и чем это объясняется? **(2 балла)**
2. Есть две молекулы, похожие как сестры, у одной в центре находится ион магния, а у другой – ион железа. Одна молекула определяет цвет большинства растений, а другая – цвет крови позвоночных животных. Что это за молекулы? Почему они придают именно такие цвета? **(2 балла)**
3. Какие еще есть пигменты, которые влияют на цвет листьев и цветков растений? Как, изменяя условия выращивания растения в квартире, можно повлиять на цвет листьев? **(2 балла)**
4. Наблюдая за окраской листьев при листопаде, можно заметить, что в Европе много деревьев с желтыми листьями, а красная окраска редка, а на Дальнем Востоке и в Северной Америке много деревьев, у которых листва осенью окрашена в красный цвет. Как думаете, с чем это может быть связано? **(2 балла)**

Всего – 8 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 9. Разноцветная ботаника

1. Свеча будет дольше гореть под левым колпаком (с зеленым растением), так как его листья содержат больше хлоропластов, которые в процессе фотосинтеза производят кислород, который необходим для горения.
2. Первая молекула – это хлорофилл, вторая – гемоглобин. Молекулы хлорофилла придают растениям зеленый цвет потому, что они поглощают свет в синей и красной областях спектра, а зеленый свет отражают. Гемоглобин, напротив, поглощает свет в синей и зеленой областях спектра и отражает красный, в результате чего он придает крови красный цвет.
3. Кроме хлорофилла, в листьях и цветах присутствуют такие пигменты, как каротиноиды и антоцианы, каротиноиды отвечают за окраску листьев в желтый цвет, а антоцианы в красный. Если увеличить или уменьшить освещенность комнатных растений, то можно изменять соотношение пигментов в листьях. Так, в условиях слабой освещенности листья становятся темно-зелеными и увеличиваются в размерах, если освещение избыточно, то листья становятся более светлыми (желтовато-зелеными) и уменьшаются в размерах.
4. Красная и желтая окраска листьев осенью связана с наличием в растениях антоцианов и каротиноидов, они всегда присутствуют в растении в примерно одинаковом количестве, но когда осенью листья теряют хлорофилл, то их становится видно. Антоцианы, помимо других своих функций, помогают защищаться растению от насекомых. Так, например, тли предпочитают растения с желтыми листьями, так как растения с красными листьями могут вырабатывать ядовитые для них вещества. Предполагается, что в ледниковый период предки европейских растений “спасались” в области Средиземноморья, за Альпами, и по каким-то причинам сокососущие вредители там отсутствовали. А те растения, предки которых выжили во время ледникового периода на Дальнем Востоке и Америке, страдали от сокососущих насекомых, и там выжили растения с большим количеством антоцианов в листьях.



Юный эрудит (заочный тур)
Задача 10. Пищевая цепь



На одном изолированном острове обитают популяции змей, мышей и больших орлов. Основным источником питания мышей являются злаки. Пусть средний суммарный прирост биомассы орла, необходимый для его нормальной жизнедеятельности, составляет 20 кг/год, при этом для прироста 1 кг биомассы орла необходимо 200 кДж энергии. Определите массу злаков, необходимую для прироста орла за год, если 1 кг злаков дает 100 кДж энергии.

Всего – 6 баллов

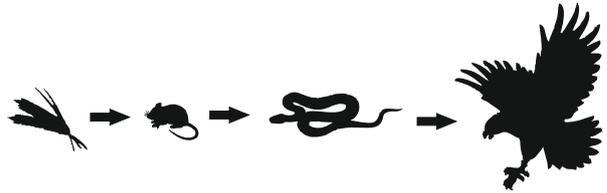


Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 10. Пищевая цепь

Трансформация энергии протекает в соответствии с правилом Линдемана.

Пищевая цепь выглядит так:

Консумент 3-го порядка	орлы
Консумент 2-го порядка	змеи
Консумент 1-го порядка	мыши
продуценты	злаки



Рассчитаем количество энергии, необходимое для годового прироста биомассы орла:
 $20 \text{ кг/год} \times 200 \text{ кДж} = 4\,000 \text{ кДж}$.

У нас цепочка из четырех звеньев. Согласно правилу Линдемана, если на 4-м уровне необходимо $4\,000 \text{ кДж}$, то на 3-м энергия будет составлять $4\,000 \text{ кДж} \times 10 = 4 \times 10^4 \text{ кДж}$. Соответственно, на 1-м уровне величина энергии будет составлять $4 \times 10^6 \text{ кДж}$.

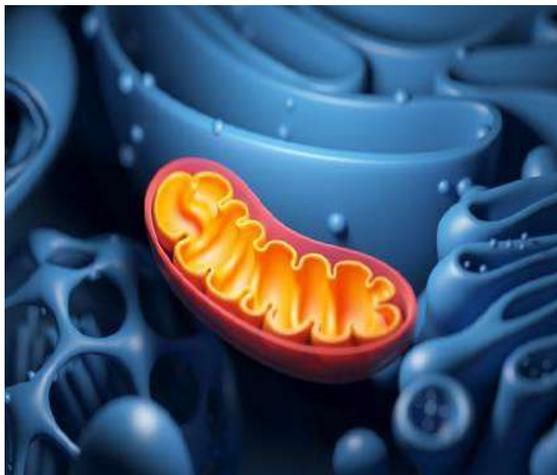
Согласно условию, в 1 кг растений содержится 100 кДж энергии. Значит, $4 \times 10^6 \text{ кДж}$ заключено в $4 \times 10^6 / 100 = 4 \times 10^4 \text{ кг}$, или 40 т .

Ответ. 40 тонн.



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 11. Удивительные митохондрии



Митохондрии – одни из важнейших клеточных органоидов, основной функцией которых является синтез АТФ при помощи АТФ-синтазы, расположенной во внутренней митохондриальной мембране. При этом митохондрии обладают множеством других функций. Недавно было установлено, что расположение митохондрий в отростках нервных клеток может определять участки ветвления отростков. Также известно, что распределение митохондрий, как правило, неоднородно по клетке. В последние годы накапливается все больше данных о том, что с нарушением функционирования митохондрий связаны многие заболевания, например, патологии нервной системы, а также старение.

1. Перечислите функции митохондрий (кроме синтеза АТФ) **(1 балл)**
2. Предложите механизм, при помощи которого митохондрия приводит к ветвлению отростка нервной клетки в месте расположения митохондрии. **(1 балл)**
3. Как Вы думаете, в каких участках клетки будет наблюдаться наибольшее скопление митохондрий? Почему? **(1 балл)**
4. Какие заболевания связаны с патологиями митохондрий? **(1 балл)**
5. Каким образом нарушение функционирования митохондрий может приводить к ускоренному старению? **(2 балл)**
6. Какие методы, в том числе, нанотехнологические, могут быть использованы для исследования функций и морфологии митохондрий? **(2 балла)**

Всего – 8 баллов



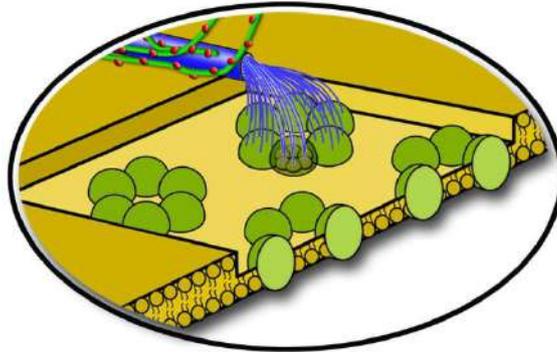
Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 11. Удивительные митохондрии

1. Накопление и хранение избыточного цитоплазматического Ca^{2+} , образование активных форм кислорода, бета-окисление жирных кислот, инициация апоптоза (цитохром С-зависимого) и др.
2. В области расположения митохондрий увеличивается локальная концентрация АТФ, происходит синтез белков, в том числе и тех, которые необходимы для формирования отростков.
3. В большинстве клеток максимальное количество митохондрий наблюдается вокруг ядра, что можно объяснить высокой потребностью ядра в АТФ, необходимого для транскрипции генов и репарации поврежденных участков ДНК. В нейронах скопление митохондрий наблюдается в синапсах – для обеспечения синаптической передачи.
4. Заболевания, связанные с мутациями в генах митохондриальных белках. Например, синдром Барта, синдром Пирсона и др. Заболевания, связанные с нарушением метаболизма, например, кардиомиопатия, осложнения сахарного диабета и пр.
5. Одно из возможных объяснений – это повышенная генерация супероксид-анион радикала O_2^- , образование из него других активных форм кислорода и развитие окислительного стресса.
6. Методы исследования функций митохондрий: респираторометрия – регистрация поглощения O_2 , флуоресцентная микроскопия, спектроскопия комбинационного и гигантского комбинационного рассеяния, дифференциальная абсорбционная спектроскопия. Методы исследования морфологии митохондрий: просвечивающая электронная микроскопия, криоэлектронная микроскопия, флуоресцентная микроскопия и др.



Юный эрудит (заочный тур)
Задача 12. Клубок наноцеллюлозы



На поверхности многих растительных клеток есть особая нанофабрика – комплекс из 36 одинаковых ферментов, которые совместно «прядут» микрофибриллу целлюлозы. Этот комплекс путешествует по поверхности клетки и наматывает на нее производимую целлюлозную нить как на веретено.

Оцените, с какой скоростью (нм/с) одна нанофабрика «прядет» микрофибриллу, если целлюлозой, произведенной 100 такими комплексами за сутки, можно покрыть 20% боковой стенки цилиндрической клетки радиусом 7 мкм и длиной 20 мкм? Диаметр микрофибриллы примите равным $d = 4$ нм.

Всего – 6 баллов



Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 12. Клубок наноцеллюлозы

Рассчитаем площадь боковой поверхности цилиндрической клетки:

$$S_{\text{кл}} = 2\pi RH = 2\pi \cdot 7 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 8,8 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2.$$

Тогда площадь, которую может покрыть вырабатываемая целлюлоза за сутки, равна

$$S = 0,2 \cdot S_{\text{кл}} = 0,2 \cdot 8,8 \cdot 10^{-10} = 1,76 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2.$$

Это отвечает суммарной длине всех синтезированных микрофибрилл, равной

$$L = S/d = 1,76 \cdot 10^{-10} / 4 \cdot 10^{-9} = 0,044 \text{ м}.$$

Тогда одна нанофабрика за сутки производит микрофибриллу длиной

$$L_1 = L/100 = 0,044/100 = 4,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

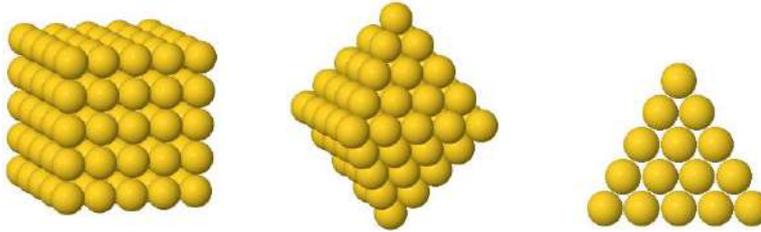
$$t = 1 \text{ сут} = 24 \text{ ч} = 1440 \text{ мин} = 86400 \text{ с}$$

Что отвечает производству со скоростью

$$v = L_1/t = 4,4 \cdot 10^{-4} / 86400 = 5,1 \cdot 10^{-9} \text{ м/с} = 5,1 \text{ нм/с}.$$



Юный эрудит (заочный тур)
Задача 13. Все дело в кубе



Если взять кубический кластер, на ребро которого приходится x атомов металла, и «разобрать» его на отдельные атомы, то из них можно «собрать» не только октаэдрический и треугольный кластеры, на ребро каждого из которых также приходится по x атомов, но и кубический кластер, на ребро которого приходится $2x/3$ атомов.

Найдите x . Как полученное значение связано с текущей Олимпиадой?

Число атомов в треугольном кластере:

$$T_n = n(n + 1)/2.$$

Число атомов в октаэдрическом кластере:

$$O_n = (2n^3 + n)/3.$$

Всего – 6 баллов



Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 13. Все дело в кубе

Исходя из условия и учитывая, как зависит число атомов в кластере от его формы и от числа атомов, приходящихся на его ребро, запишем уравнение:

$$\text{Куб}(x) = \text{Октаэдр}(x) + \text{Треугольник}(x) + \text{Куб}(2x/3)$$

$$x^3 = (2x^3 + x)/3 + x(x + 1)/2 + (2x/3)^3$$

Упрощая его, получаем:

$$x^3/27 - x^2/2 - 5x/6 = 0$$

$$2x^3 - 27x^2 - 45x = 0$$

Таким образом, все сводится к решению квадратного уравнения

$$2x^2 - 27x - 45 = 0$$

$$D = 729 + 360 = 1089 = 33^2$$

$$x = (27 + 33)/4 = 15$$

15 – порядковый номер текущей Всероссийской интернет-олимпиады по нанотехнологиям.



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 14. Как построить модель фуллерена своими руками

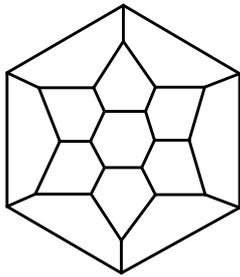


Рис. 1.

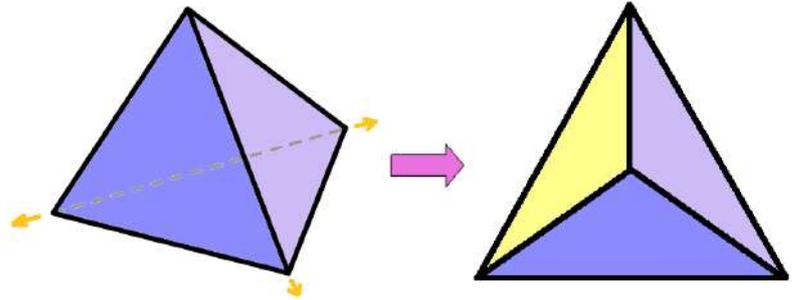


Рис. 2.

Чтобы построить модель многогранника, необходимы трубочки¹, леска² и немного терпения (подробную инструкцию см. в *Приложении* в конце задачи).

1. На рисунке 1 представлена проекция фуллерена³ C_{24} на плоскость⁴. Опишите последовательность
 - а) сборки граней, **(1 балл)**
 - б) присоединения трубочек-ребер **(1 балл)**при построении модели этого фуллерена по методике, описанной в приложении.
2. Рассчитайте минимальную длину лески, необходимую для построения этой модели из трубочек длиной 3 см. **(2 балла)**
3. Соберите модель фуллерена C_{24} . К ответу приложите ее фотографию. **(3 балла)**

¹ Трубочки можно использовать любые: для коктейля, от ватных палочек, главное, чтобы они были достаточно жесткими.

² Если нет лески, можно взять нитку или проволоку.

³ Фуллерены – каркасные углеродные молекулы, представляющие собой выпуклые многогранники, имеющие только пяти- и шестиугольные грани, в каждой вершине которых сходятся по три ребра.

⁴ Чтобы удобно изобразить многогранник на плоскости, можно одновременно «потянуть» в разные стороны вершины одной из его граней (как показано на рис. 2): в какой-то момент мы сможем «расправить» на бумаге все его ребра и вершины – получим его плоскую проекцию.

Приложение

Последовательность действий на примере сборки модели тетраэдра.

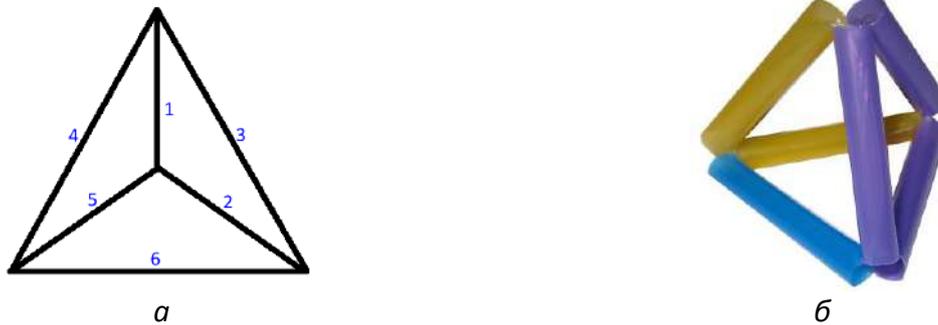


Рис. 3. Тетраэдр. а) Последовательность присоединения ребер. б) Готовая модель.

- Нам понадобятся 6 трубочек одинаковой длины (обозначим их Т1-Т6) и кусок лески.
- Берем леску необходимой длины и продеваем ее через Т1, Т2 и Т3 – сформирована первая грань тетраэдра (фиолетовый, рис. 3б). Конец лески со стороны Т3 заправляем в Т1 так, чтобы получившийся треугольник находился практически на середине лески. Подтягиваем леску за концы, чтобы она не провисала по углам полученного треугольника.
- На конец лески, выходящий из Т1 со стороны Т3, надеваем Т4 и Т5 (желтый, рис. 3б), затем протягиваем этот же конец через Т2 – сформирована вторая грань тетраэдра.
- Конец, выходящий из Т1 со стороны Т2, заправляем в Т5 и затем надеваем на него Т6 (синяя, рис. 3б). Подтягиваем леску, завязываем концы на узелок – сформированы третья и, автоматически при замыкании фигуры, четвертая грани. Тетраэдр готов!
- *Примечание:* для удобства сборки необходимо брать леску на 15-30 см длиннее рассчитанной величины.

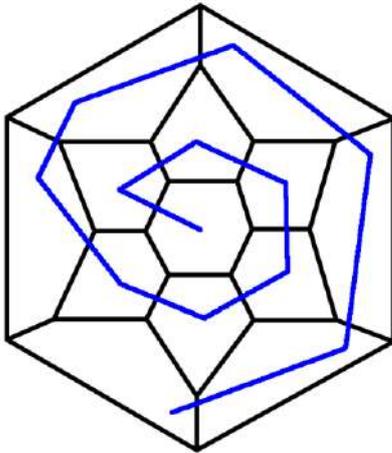
Всего – 7 баллов



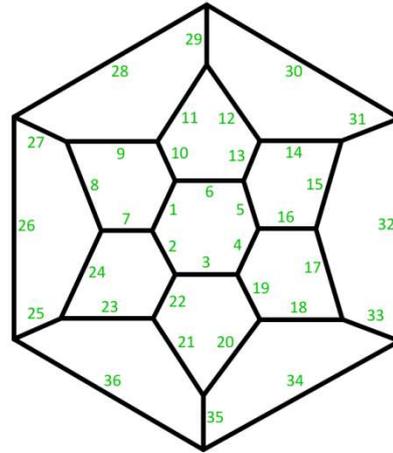
Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 14. Как построить модель фуллерена своими руками

1.



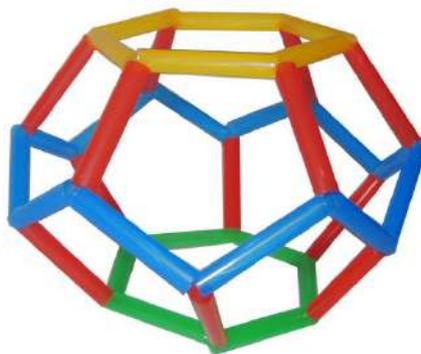
а) Пример последовательности сборки граней модели фуллерена C₂₄. Последняя, шестиугольная, грань получается автоматически.



б) Последовательность сборки трубочек-ребер модели фуллерена C₂₄. Через все трубочки, кроме 26, 28, 30, 32, 34 и 36 леска проходит дважды.

2. Фуллерен C₂₄ имеет 36 ребер. Минимум 30 из них при построении модели по алгоритму, представленному в п. 1б), необходимо пройти дважды. Следовательно, минимальная длина лески

$$(36 + 30) \cdot 3 = 66 \cdot 3 = 198 \text{ см}$$



в) Готовая модель фуллерена C₂₄.

3. Готовая модель фуллерена C₂₄ представлена на рис. в). Длина использованной лески – 260 см, по окончании сборки модели, концы лески заправлены в трубочки.



Юный эрудит (заочный тур)
Задача 15. Нанокроссворд

По горизонтали

- 5г.** Всеобщие ограничения как способ обуздать **18г.**
- 7г.** «Наноконверт», который может использоваться **20в** для хранения своей **12г.**
- 10г.** Поражающий печень **20в.**
- 12г.** Рис. **12г.**
- 16г.** Роль Cas9 в CRISPR-Cas9.
- 18г.** Когда болеет весь мир.
- 19г.** Защищает как человека, так и **4в.**
- 21г.** Способ выработать **19г** против **20в.**
- 22г.** **15в** по своей природе.
- 23г.** Рис. **23г**, одна из ключевых структурных особенностей системы CRISPR.
- 24г.** Находится между **23г** в CRISPR, «нацеливает» **16г** на **20в.**

По вертикали

- 1в.** Способ редактирования генома до CRISPR-Cas9, искусственная **11в.**
- 2в.** Набор генетически идентичных **20в** или **4в.**

3в. Рис. 3в, лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 2020 года за открытие одного из видов возбудителя **10г**.

4в. Рис. 4в.

6в. Рис. 6в: 20в, поражающий **4в**.

8в. Рис. 8в, автор фантастического сценария конца света в результате неуправляемого самовоспроизводства **13в**

9в. Клеточная «наноантенна» для улавливания внешних сигналов, может быть использована для проникновения в клетку **20в**.

11в. «Кольцевой ген».

13в. Робот с размерами от $1 \cdot 10^{-9}$ до $1 \cdot 10^{-7}$.

14в. «Головной убор» одного из **20в** (рис. **20в**).

15в. Рис. 15в.

17в. Рис. 17в, лауреат Нобелевской премии по химии 2020 года за открытие «генетических **16г** CRISPR-Cas9».

20в. Рис. 20в.

Всего – 12 баллов



Юный эрудит (заочный тур)
Решение задачи 15. Нанокроссворд

По горизонтали

- 5г. Карантин – всеобщие ограничения как способ обуздать 18г (пандемию).
- 7г. Капсид – «наноконверт», который может использоваться 20в (вирусом) для хранения своей 12г (РНК).
- 10г. Гепатит – поражающий печень 20в (вирус).
- 12г. РНК – рис. 12г.
- 16г. Ножницы – роль Cas9 в CRISPR-Cas9.
- 18г. Пандемия – когда болеет весь мир.
- 19г. Иммунитет – защищает как человека, так и 4в (бактерию).
- 21г. Вакцина – способ выработать 19г (иммунитет) против 20в (вируса).
- 22г. Белок – 5в (антитело) по своей природе.
- 23г. Палиндром – рис. 23г, одна из ключевых структурных особенностей системы CRISPR.
- 24г. Спейсер – находится между 23г (палиндромами) в CRISPR, «нацеливает» 16г (ножницы) на 20в (вирус).

По вертикали

- 1в.** Вектор – способ редактирования генома до CRISPR-Cas9, искусственная **11в** (плазмида).
- 2в.** Штамм – набор генетически идентичных **20в** (вирусов) или **4в** (бактерий).
- 3в.** Алтер – **рис. 3в**, лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 2020 года за открытие одного из видов возбудителя **10г** (гепатита).
- 4в.** Бактерия – **рис. 4в**.
- 6в.** Фаг – **рис. 6в: 20в** (вирус), поражающий **4в** (бактерию).
- 8в.** Дрекслер – **рис. 8в**, автор фантастического сценария конца света в результате неуправляемого самовоспроизводства **13в** (наномашин).
- 9в.** Рецептор – клеточная «наноантенна» для улавливания внешних сигналов, может быть использована для проникновения в клетку **20в** (вирусом).
- 11в.** Плазмида – «кольцевой ген».
- 13в.** Наномашина – робот с размерами от $1 \cdot 10^{-9}$ до $1 \cdot 10^{-7}$.
- 14в.** Корона – «головной убор» одного из **20в** (вирусов, **рис. 20в**).
- 15в.** Антитело – **рис. 15в**.
- 17в.** Дудна – **рис. 17в**, лауреат Нобелевской премии по химии 2020 года за открытие «генетических **16г** (ножниц) CRISPR-Cas9».
- 20в.** Вирус – **рис. 20в**.



Химия для школьников

Комплекс предметов

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 заключительный тур желательно решить задачи не только по химии, но и по математике, биологии, физике, чтобы набрать больше баллов. Дополнительные баллы будут начислены за прохождение двух тестов: ["Нанотест - приглашение на Олимпиаду"](#) и ["Тест ЗНТШ"](#).

Задания

1. Синтез графитоподобного вещества

Слабая кислота **X** известна большинству благодаря своим солям, многие из которых токсичны. Менее известно, что это вещество в больших количествах производится и потребляется химической промышленностью. При взаимодействии **X** с хлором образуется бесцветный газ **Y**...

2. Наночастицы против бактерий

Фермент лизоцим разрушает клеточные стенки бактерий путем гидролиза пептидогликана. Его антибактериальную активность увеличивают наночастицы **X**, образующие с ним наногибридную систему. Для получения **X** используют раствор соли **Y**, в который добавляют аскорбиновую кислоту...

3. Изомерные комплексы золота

Для синтеза каталитически активных наночастиц золота часто используют $\text{H}[\text{AuCl}_4]$, однако присутствие примесных анионов хлора в полученных катализаторах приводит к их низкой стабильности вследствие агрегации. Чтобы избежать подобного загрязнения наночастиц...

4. Адсорбция на мембране

Известно, что нанофильтрационные процессы сопровождаются не только диффузией ионов через мембрану, но и их специфической адсорбцией на поверхности мембранного материала, которая зависит от поверхностного заряда, возникающего вследствие протонирования и депротонирования...

5. Нанокатализатор

Гетерогенный катализатор исследовали на предмет активности в модельной реакции дегидрирования этана. Катализатор представляет собой сложный оксид, содержащий два металла в высших степенях окисления +5 и +6 (M1 и M2, соответственно)...

6. Перспективный состав

Молодому химику, увлекающемуся вопросами альтернативной энергетики, принесли на анализ 10,0 г желтого вещества. Нагревание вещества не приводит к видимым изменениям до температуры около 800°C, вещество плавится без разложения при 900°C...

7. Как очистить воду от солей?

Для этого можно использовать специальные мембраны, которые пропускают воду, но задерживают соли. Речь идет о солях щелочных и щелочноземельных металлов, главным образом, хлоридах. Одно из таких устройств изображено на рисунке в файле задачи...

Решение обновлено 05.02.21

8. Надежные ферменты

Основой многих нанобиосистем (например, молекулярных моторов и насосов, высокоточных тест-систем) являются ферменты – белки, в некоторых случаях также содержащие компоненты небелковой природы. Часто перед исследователями встает вопрос создания конструкций...

9. Одномерные нанореакторы

На рисунке 1 представлена схема получения некоторых нанообъектов **В – I**, исходя из **А** - одностенной закрытой углеродной нанотрубки (зУНТ) при участии бакибола C₆₀, коронена **Г** и ацетилена. ПЭМ-изображения полученных нанообъектов **С, F, I**...

10. 2D материал

2D-материал **В** впервые был получен из вещества **С** травлением в 50%-й плавиковой

кислоте. **С** состоит из 3-х элементов: **М**, **А** и **Х**, их массовые доли в **С** равны 73.85%, 13.85% и 12.30%, соответственно. **Х** образует бинарные соединения с **М** (вещество **Д**) и с **А** (вещество **Е**)...



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 1. Синтез графитоподобного вещества

Слабая кислота **X** известна большинству благодаря своим солям, многие из которых токсичны. Менее известно, что это вещество в больших количествах производится и потребляется химической промышленностью. При взаимодействии **X** с хлором образуется бесцветный газ **Y** (*реакция 1*), хорошо растворимый в воде. В присутствии кислоты газ **Y** тримеризуется, превращаясь в твердое негорючее вещество **Z**, которое разлагается гидроксидом калия с образованием двух солей (*реакция 2*). При действии на **Z** амидом натрия при 200°C образуется смесь нанокристаллического белого порошка **M** и бесцветных кристаллов **R**, окрашивающих пламя в желтый цвет. Белый порошок **M** имеет структуру графита, при сжигании образует газовую смесь с плотностью по гелию 9,4 (*реакция 3*). При пропускании этой смеси через раствор щелочи (*реакция 4*) выходящий газ оказывается немного легче воздуха.

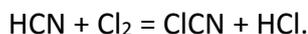
1. Установите формулы веществ **X**, **Y**, **Z**, **M**, **R**. Для веществ **Z** и **M** приведите структурные формулы. **(5 баллов)**
2. Напишите уравнения реакций (1) – (4). **(4 балла)**
3. Какое применение находит нанопорошок **M**? **(1 балл)**

Всего – 10 баллов

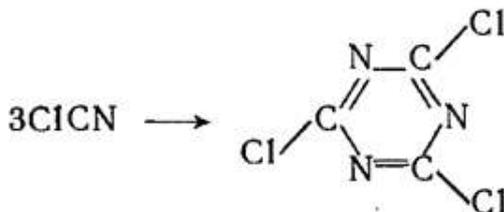


Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 1. Синтез графитоподобного вещества

1–2. Анализ текста задачи позволяет заключить, что в состав **X** входит элемент углерод. Из описания свойств **X** и его применения можно предположить, что это – циановодород. Взаимодействие его с хлором приводит к хлорциану **Y** (*реакция 1*):



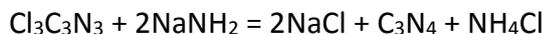
В присутствии кислоты хлорциан полимеризуется в циклический тример **Z**.



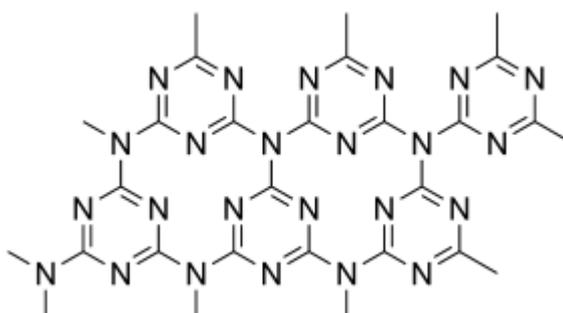
Это вещество разлагается щелочью с образованием солей двух кислот (*реакция 2*):



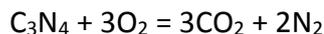
Действие амида натрия приводит к образованию хлорида натрия (вещество **R**, окрашивает пламя в желтый цвет) и нанокристаллического нитрида углерода C_3N_4 (вещество **M**):



Нитрид углерода C_3N_4 имеет несколько модификаций. Одна из структур состоит из плоских слоев, в основе которых лежат триазиновые циклы, соединенные азотами азота:

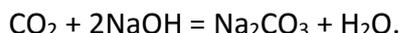


При сгорании нитрид углерода образует азот и углекислый газ (*реакция 3*):



($M_{\text{cp}} = (3 \cdot 44 + 2 \cdot 28) / 5 = 37.6$ г/моль, $D_{\text{He}} = 37.6 / 4 = 9.4$).

Щелочь поглощает углекислый газ (*реакция 4*), остается азот:



Таким образом, **X** – HCN, **Y** – ClCN, **Z** – $\text{Cl}_3\text{C}_3\text{N}_3$, **M** – C_3N_4 , **R** – NaCl.

3. Нанопорошок нитрида углерода используют для создания износостойких и противокоррозионных покрытий, а также в составе различных композиционных материалов. Известно, что он обладает и каталитической активностью.



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 2. Наночастицы против бактерий

Фермент лизоцим разрушает клеточные стенки бактерий путем гидролиза пептидогликана. Его антибактериальную активность увеличивают наночастицы **X**, образующие с ним наногибридную систему. Для получения **X** используют раствор соли **Y**, в который добавляют аскорбиновую кислоту. При сгорании на воздухе наночастицы **X** превращаются в белый порошок **Z**, который при сплавлении с карбонатом калия, превращается в **Y**. Известно, что из 1,17 г **X** таким способом можно получить 3,04 г **Y**, при этом в последней реакции выделяется 332 мл газа (н.у.).

1. Установите формулы веществ **X**, **Y**, **Z** и напишите уравнения всех описанных реакций. Ответ подтвердите расчетом. **(6 баллов)**
2. Какую роль играет аскорбиновая кислота в этом синтезе? Чем ее можно заменить? **(3 балла)**
3. Спектр поглощения наночастиц **X** (**A** – поглощение) приведен на рисунке ниже. Какую окраску они имеют? **(1 балл)**

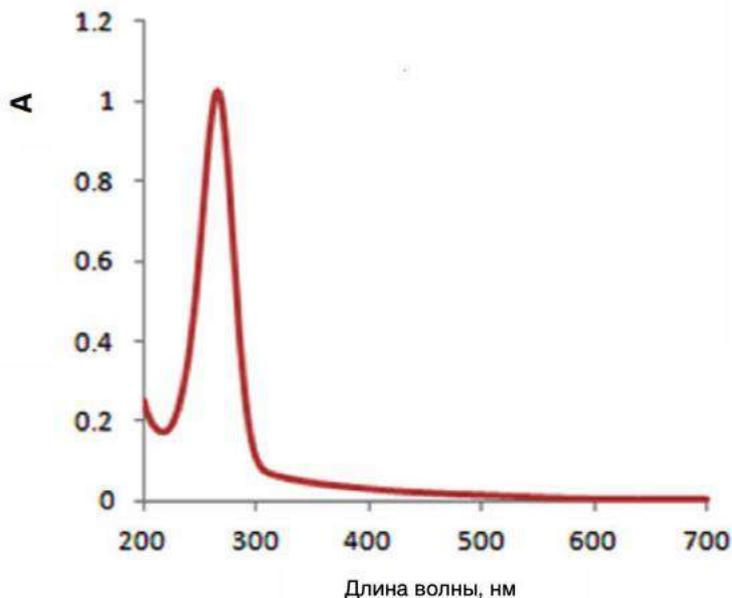


Рис. Спектр поглощения наночастиц **X**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 2. Наночастицы против бактерий

1. Из условия задачи можно предположить, что **X** – простое вещество, **Y** – кислотный оксид, а **Z** – соль. При сплавлении **Y** с карбонатом калия выделяется углекислый газ.

$$n(\text{CO}_2) = 332 / 22,4 = 14,82 \text{ ммоль.}$$

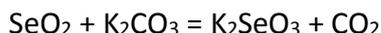
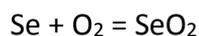
Считая, что в состав **Z** входит один атом элемента **X**, получаем:

$$M(\text{X}) = 1,17 / 14,82 \cdot 10^{-3} = 78,95 \text{ г/моль.}$$

Это соответствует селену Se. Молярная масса **Z** равна: $M(\text{Z}) = 3,04 / 14,82 \cdot 10^{-3} = 205 \text{ г/моль}$, что соответствует формуле K_2SeO_3 .

Таким образом, **X** – Se, **Y** – SeO_2 , **Z** – K_2SeO_3 .

Уравнения реакций:



2. Аскорбиновая кислота выступает в роли восстановителя. Ее можно заменить другими восстановителями (сернистый газ, дитионит натрия и т.д.).
3. Окраска наночастиц селена вызвана плазмонным резонансом, максимум которого лежит в ультрафиолетовой части спектра. Наночастицы селена поглощают свет в сине-фиолетовой области спектра, следовательно они имеют оранжево-красную окраску.



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 3. Изомерные комплексы золота

Для синтеза каталитически активных наночастиц золота часто используют $\text{H[AuCl}_4]$, однако присутствие примесных анионов хлора в полученных катализаторах приводит к их низкой стабильности вследствие агрегации. Чтобы избежать подобного загрязнения наночастиц, методику синтеза дополняют одной промежуточной стадией: исходный водный раствор $\text{H[AuCl}_4]$ смешивают с водным раствором нитрата аммония, после чего к полученной смеси по каплям добавляют водный раствор аммиака. В результате образуется комплексное соединение **X**, не содержащее хлорид-анионов и довольно хорошо растворимое в воде. Термическое разложение высушенного соединения **X**, проведённое в токе водорода, позволяет получить наночастицы золота, потеря массы при этом составляет 49,4%.

1. Определите состав соединения **X** (подтвердите расчётом). Запишите уравнения реакций его получения из $\text{H[AuCl}_4]$ и термического разложения в токе водорода. **(5 баллов)**
2. Предложите возможные структуры соединения **X**. **(2 балла)**
3. Предложите химический способ, с помощью которого можно различить эти изомеры. Запишите уравнения реакций. **(3 балла)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 3. Изомерные комплексы золота

1. Определим молярную массу соединения **X**. Так как потеря массы при разложении составляет 49,4%, то из 1 г соединения **X** получится 0,506 г металлического золота. Следовательно,

$$\begin{array}{ccc}
 1,00 \text{ г} & & 0,506 \text{ г} \\
 \mathbf{X} & \rightarrow & \mathbf{Au} \\
 \times \frac{\text{г}}{\text{моль}} & & 196,97 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \\
 \\
 x = \frac{196,97 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot 1 \text{ г}}{0,506 \text{ г}} \approx 389 \frac{\text{г}}{\text{моль}}
 \end{array}$$

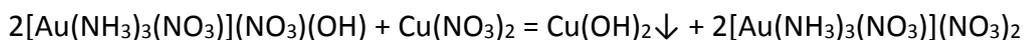
Из рассчитанных 389 г на золото приходится 197 г. Следовательно, оставшиеся 192 г приходятся на анионы и лиганды. В качестве лигандов могут выступать молекулы аммиака NH_3 , а в качестве анионов – NO_3^- или OH^- . Поскольку для золота (III) характерно координационное число 4, то можно предположить состав $[\text{Au}(\text{NH}_3)_4](\text{NO}_3)_3$, молярная масса которого 451 г/моль. Эта величина превышает молярную массу соединения **X** ровно на 62 г/моль, то есть на молярную массу нитрат-аниона. Однако для золота не характерна степень окисления +2, поэтому состав $[\text{Au}(\text{NH}_3)_4](\text{NO}_3)_2$ не подходит. Следовательно, третьим анионом является OH^- , молярная масса которого совпадает с молярной массой NH_3 . Таким образом, состав соединения **X** – $[\text{Au}(\text{NH}_3)_3\text{OH}](\text{NO}_3)_2$.

Уравнения реакций:



(азотсодержащие продукты могут зависеть от температурного режима и скорости подачи водорода, поэтому принимается любое разумное уравнение реакции).

2. У соединения **X** возможно два координационных изомера: координационную сферу катиона золота (III) может достроить либо гидроксид-анион $[\text{Au}(\text{NH}_3)_3(\text{OH})](\text{NO}_3)_2$, либо нитрат-анион $[\text{Au}(\text{NH}_3)_3(\text{NO}_3)](\text{NO}_3)(\text{OH})$.
3. Чтобы различить данные изомеры, можно провести качественную реакцию на OH^- , например, взаимодействием с нитратом меди (II). При этом взаимодействие с изомером $[\text{Au}(\text{NH}_3)_3(\text{NO}_3)](\text{NO}_3)(\text{OH})$, содержащим гидроксид-анион во внешней сфере, приведёт к образованию осадка гидроксида меди (II):



В то же время, взаимодействие с изомером $[\text{Au}(\text{NH}_3)_3(\text{OH})](\text{NO}_3)_2$, содержащим гидроксид-анион во внутренней сфере, приводит к образованию осадка гидроксида меди (II) не будет.



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 4. Адсорбция на мембране

Известно, что нанофильтрационные процессы сопровождаются не только диффузией ионов через мембрану, но и их специфической адсорбцией на поверхности мембранного материала, которая зависит от поверхностного заряда, возникающего вследствие протонирования и депротонирования функциональных групп.

1. Определите полную площадь поверхности мембраны из анодного оксида алюминия, имеющей сквозные цилиндрические поры диаметром 26 нм. Масса мембраны 0,5 г, её толщина 100 мкм, а поры занимают 10% всего объёма материала. Плотность пористого оксида алюминия 3,2 г/см³. **(6 баллов)**
2. Какие ионы – катионы K⁺ или анионы Cl⁻ – будут преимущественно адсорбироваться на стенках пор при диффузии раствора KCl через мембрану с поверхностной плотностью заряда 0,2 Кл/м²? Ответ поясните. **(1 балл)**
3. Какое максимальное количество этих ионов сможет адсорбировать мембрана, имеющая все перечисленные выше параметры? **(3 балла)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 4. Адсорбция на мембране

1. Полная площадь поверхности мембраны может быть рассчитана как

$$S_T = S_1 + S_2 + S_p,$$

где S_T – полная площадь поверхности мембраны (m^2), S_1 – площадь верхней поверхности (m^2), S_2 – площадь нижней поверхности (m^2), S_p – суммарная площадь всех пор (m^2). Площадь верхней и нижней поверхности можно вычислить по формуле

$$S_1 = S_2 = S_0 - S,$$

где S_0 – площадь поверхности мембраны без учёта пор (m^2), S – суммарная площадь, занимаемая всеми порами на поверхности мембраны (m^2). Кроме того,

$$S_0 = \frac{V}{L},$$

где V – объём мембраны (m^3), L – толщина мембраны (m).

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

где m – масса мембраны (kg), ρ – плотность пористого оксида алюминия (kg/m^3).

Поскольку цилиндрические поры занимают 10% объёма материала, то суммарная площадь их торцов занимает также 10% от площади поверхности мембраны. Значит,

$$S = 0,1S_0,$$

Площадь торца одной поры равна

$$S_t = \pi r^2,$$

где r – радиус поры (m). Следовательно,

$$\frac{nS_t}{S_0} = 0,1,$$

где n – количество пор. Площадь поверхности пор равна

$$S_p = 2\pi rL \cdot n,$$

где L – толщина мембраны, равная длине поры (поскольку поры цилиндрические).

Таким образом,

$$S_T = S_1 + S_2 + S_p$$

$$S_T = 2(S_0 - S) + S_p$$

$$S_T = 2 \cdot 0,9 \cdot S_0 + S_p$$

$$S_T = 2 \cdot 0,9 \cdot \frac{m}{\rho L} + 2\pi r L \cdot \frac{0,1 S_0}{S_t}$$

$$S_T = 2 \cdot 0,9 \cdot \frac{m}{\rho L} + 2\pi r L \cdot \frac{0,1 m}{\rho L \pi r^2}$$

$$S_T = \frac{m}{\rho} \left(\frac{1,8}{L} + \frac{0,2}{r} \right)$$

$$S_T = \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{М}^3}}{3200 \frac{\text{кг}}{\text{М}^3}} \left(\frac{1,8}{100 \cdot 10^{-6} \text{М}} + \frac{0,2}{13 \cdot 10^{-9} \text{М}} \right) = 2,4 \text{ м}^2$$

Для материалов с порами нанометрового размера и довольно большим содержанием пор (в данном случае 10%) вкладом верхней и нижней поверхностей можно пренебречь, поскольку они гораздо меньше суммарной площади поверхности всех пор. Действительно, в этом случае

$$S_T = \frac{0,2m}{\rho r}$$

$$S_T = \frac{0,2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \text{кг}}{3200 \frac{\text{кг}}{\text{М}^3} \cdot 13 \cdot 10^{-9} \text{М}} = 2,4 \text{ м}^2$$

2. Так как поверхностная плотность заряда принимает положительное значение, то из электростатических соображений на поверхности мембраны преимущественно будут адсорбироваться анионы Cl^- .
3. Поверхностная плотность заряда может быть рассчитана по формуле

$$\sigma = \frac{Q}{S_T},$$

где σ – поверхностная плотность заряда ($\text{Кл}/\text{м}^2$), Q – суммарный заряд на поверхности мембраны (Кл), S_T – полная площадь поверхности мембраны (м^2). Количество адсорбированных анионов будет максимальным, если их суммарный заряд компенсирует фиксированный заряд на мембране, то есть при

$$Q = qN,$$

где q – элементарный заряд (Кл), N – количество адсорбированных ионов. Таким образом,

$$N = \frac{\sigma S_T}{q}$$

$$N = \frac{0,2 \frac{\text{Кл}}{\text{М}^2} \cdot 2,4 \text{ м}^2}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{Кл}} = 3 \cdot 10^{18} \text{ ионов.}$$



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 5. Нанокатализатор

Гетерогенный катализатор исследовали на предмет активности в модельной реакции дегидрирования этана.

Катализатор представляет собой сложный оксид, содержащий два металла в высших степенях окисления +5 и +6 (M1 и M2, соответственно). Оба металла находят применение в промышленности. M1 известен своим тугоплавким карбидом, применяемых в конструкции ТВЭЛ, его также используют в ряде стран для изготовления разноцветных монет. M2 интересен тем, что из него изготавливаются компоненты ламп накаливания.

Синтез сложного оксида можно осуществить обжигом продуктов гидролиза, образующихся при сливании одинаковых объемов растворов компонентов, а именно солянокислого раствора $H[M1Cl_6]$ (содержание металла M1 в растворе – 4.645 г в 100 мл раствора) и раствора $(NH_4)_6(M2)_7O_{24}$ с концентрацией соли 124.69 г/л. Для получения чистого продукта сформировавшийся после сливания растворов белый осадок следует выдержать при температуре 80 °С для усиления гидролиза и далее отфильтровать.

При изучении процесса окисления этана выяснилось, что эффективность катализатора с размером частиц 100 нм выше, чем для катализатора с размером частиц 2 мкм. Результаты кинетических измерений представлены в таблице.

Таблица. Данные каталитического эксперимента

Время, с	0	10	20	40	60
Парциальное давление этана в реакторе, 10^{-5} атм	2.0	1.6	1.3	0.80	0.55

1. Определите химический состав катализатора. Запишите уравнения, описывающие метод его синтеза. **(6 баллов)**
2. Определите порядок реакции каталитического дегидрирования этана. **(2 балла)**
3. В каких еще промышленных процессах может быть эффективен данный катализатор? Приведите не менее двух примеров с уравнениями реакций. **(2 балла)**

Всего – 10 баллов



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

1. Из условий задания требуется определить, о каких двух металлах в составе сложного оксида идет речь. Обратим внимание на то, какие соединения M1 и M2 подвергаются гидролизу в процессе синтеза оксида.

Состав $(\text{NH}_4)_6(\text{M}2)_7\text{O}_{24}$ достаточно редко встречается в химической литературе. Несложно установить, что значительное число источников относится к парамолибдату аммония, который имеет состав $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ и $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ в водном растворе и в виде кристаллов соответственно. Парамолибдат аммония имеет белый цвет. Гидролиз протекает в кислой среде по следующему уравнению:



О металлическом молибдене известно, что из него изготавливаются крючки, фиксирующие вольфрамовую проволоку в лампах накаливания.

Для определения второго металла нужно рассчитать мольное соотношение M1 и M2 из указанных условий синтеза. Из условия известно, что металлы находятся в высших степенях окисления и имеют степени окисления +5 и +6 соответственно. Возможные варианты включают следующие металлы: V, As, Nb, Sb, Ta, Bi.

Рассмотрим случай, когда синтез производится путем сливания равных объемов растворов по 100 мл. В 100 мл раствора содержится

$$n = \frac{872,85 \frac{\text{г}}{\text{л}} \cdot 0,1 \text{ л}}{1163,8 \frac{\text{моль}}{\text{л}}} = 0,075 \text{ моль Mo}$$

Путем перебора молекулярных масс элементов находим число молей M1 в растворе после сливания.

V	As	Nb	Sb	Ta	Bi
0,912	0,062	0,05	0,03815	0,02567	0,02223
моль	моль	моль	моль	моль	моль

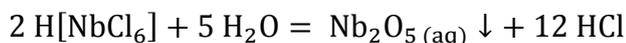
Согласно расчету, целочисленные соотношения M1 : M2 могут иметь место для трех случаев:

$$\text{Nb} : \text{Mo} = 2 : 3, \quad \text{Sb} : \text{Mo} = 1 : 2, \quad \text{Ta} : \text{Mo} = 1 : 3.$$

Рассмотрим дополнительные сведения об элементе M1. Известно, что в металлическом виде он используется в конструкции ТВЭЛ. Этому условию соответствуют ниобий и тантал. Кроме того, известно, что при гидролизе формируется белый осадок, в то время как гидролиз хлорида сурьмы привел бы к образованию осадка желтого цвета. Таким образом, сурьма не может являться M1.

О М1 также известно, что он используется в ряде стран для изготовления цветных монет. Цветные монеты получают путем анодирования поверхности ниобия. Кроме того, ниобий значительно дешевле тантала, что делает его более привлекательным для промышленного использования.

Процесс гидролиза хлоридного комплекса Nb может быть описан следующим уравнением:



Итак, запишем итоговый состав оксида: $\text{Nb}_2\text{Mo}_3\text{O}_{14}$.

2. Процесс каталитического дегидрирования этана можно записать следующим образом:



Запишем в общем виде уравнение для скорости этой реакции:

$$v = k \cdot p(\text{C}_2\text{H}_6)^n,$$

где k – константа скорости, n – порядок реакции. За равные промежутки времени давление этана уменьшается на разные значения, поэтому зависимость – нелинейная, порядок реакции – ненулевой. В случае первого порядка зависимость должна быть экспоненциальной:

$$p(\text{C}_2\text{H}_6) = p_0 \cdot e^{-kt}$$

или

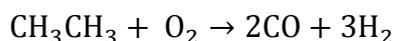
$$k = \frac{1}{t} \ln \frac{p_0}{p(\text{C}_2\text{H}_6)}$$

Проверим это соотношение, подставив в него экспериментальные данные

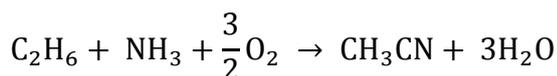
t, c	10	20	40	60
k, c^{-1}	0.0223	0.0215	0.0229	0.0215

Константа скорости, рассчитанная по уравнению первого порядка, практически не зависит от времени, следовательно, реакция имеет первый порядок: $n = 1$.

3. Помимо дегидрирования этана катализатор может оказаться эффективен в процессе каталитического дегидрирования пропана и в процессах парциального окисления алкенов.



В литературе также присутствуют примеры окислительного аммонолиза этана и пропана.





Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 6. Перспективный состав

Молодому химику, увлекающемуся вопросами альтернативной энергетики, принесли на анализ 10,0 г желтого вещества. Нагревание вещества не приводит к видимым изменениям до температуры около 800°C, вещество плавится без разложения при 900°C.

«Это вещество может составить конкуренцию свинец-содержащим перовскитам в солнечной энергетике», - подумал химик и исследовал оптический спектр вещества. Край поглощения вещества находится около 625-630 нм.

Вещество растворили в избытке азотной кислоты при умеренном нагревании. При этом выделилось 5,28 г жидкости бурого цвета, прекрасно экстрагируемой в неполярную фазу, и сформировался светлый осадок, окрашивающий лакмусовую индикаторную бумагу в красный цвет. После отделения и высушивания осадка при 300 °С получено 2,38 г желтого кристаллического продукта постоянного состава. Масс-спектрометрический анализ осадка показал, что он содержит элемент, встречающийся в природе, преимущественно, в виде сульфидов, простейший из которых используется человеком еще с древних времен для чернения посуды и в косметике.

Ученый решил попробовать синтезировать нанокристаллы этого вещества самостоятельно. Для этого он использовал белое вещество с ионным типом связи, водный раствор сильной кислоты, обладающей восстановительными свойствами, и желтоватое гигроскопичное вещество, которое может быть получено взаимодействием двух простых веществ. Полученный коллоидный раствор имеет желтый цвет, однако фотолюминесценция нанокристаллов наблюдается в голубой области.

Исследование фотокаталитических свойств нанокристаллов вещества показало их высокую каталитическую активность в реакции восстановления диоксида углерода.

1. Определите химический состав соединения, которое принесли ученому на анализ. Запишите уравнение реакции его взаимодействия с азотной кислотой. **(7 баллов)**
2. Запишите основные реакции, используемые в методике синтеза нанокристаллов данного вещества. **(3 балла)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 6. Перспективный состав

1. Из условия известно, что вещество может взаимодействовать с азотной кислотой с выделением бурой жидкости, экстрагируемой в неполярный растворитель, например, в CCl_4 , и образованием бурого осадка, который при прокаливании при низких температурах приобретает постоянный вес.

Экстрагирующимся в неполярную среду компонентом могут быть иод или бром, которые могут выделиться при окислении иодида или бромида азотной кислотой. Действительно, иодиды и бромиды являются перспективными материалами для перовскитной солнечной энергетики. В то же время, известно, что вещество не содержит свинец, так как, по мнению ученого, может составить конкуренцию свинец-содержащим перовскитам. Так как в дальнейшем, для синтеза нанокристаллов химик использовал водный раствор кислоты, обладающей восстановительными свойствами, предположим, что это бромоводородная или иодоводородная кислоты, соответственно.

Попробуем понять, какие еще элементы входят в состав соединения. Известно, что образовавшийся при растворении в горячей концентрированной азотной кислоте осадок имеет светлый цвет и при прокаливании образует желтый продукт. Немногие элементы образуют осадок при кипячении в азотной кислоте. Продуктом такого процесса может быть продукт окисления и гидролиза – высший оксид, обладающий кислотными свойствами.

Такое поведение характерно для сурьмы, именно она образует при действии концентрированной азотной кислоты гидратированный оксид – осадок $Sb_2O_5(aq)$ или $Sb_2O_5 \cdot nH_2O$, который при аккуратном прокаливании может перейти в безводную форму – светло-желтый Sb_2O_5 .

Сурьму добывают путем обжига с последующим восстановлением ее сульфидов, в том числе, минерала антимонита Sb_2S_3 . Антимонит имеет черный цвет и применялся в древние времена в Европе и северной Африке в косметике.

Предположив, что в состав соединения входит бром, рассчитаем стехиометрическое соотношение сурьмы и брома:

$$\frac{2,37 \text{ г}}{323,5 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} : \frac{5,28 \text{ г}}{160 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 1 : 4,50 = 2 : 9$$

Таким образом, целочисленное соотношение Sb к Br в соединении 2 : 9, что может соответствовать формуле соединения $M_3Sb_2Br_9$, где M – неизвестный металл с зарядом +1.

Предположим, что соединение содержит только один тип металла M. Его молекулярную массу можно рассчитать следующим образом.

$$n(Br) = \frac{5,28 \text{ г}}{80 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 0,066 \text{ моль}, \quad n(Sb) = 0,0147 \text{ моль}$$

$$n(M) = 0,022 \text{ моль},$$

$$M(M) = \frac{(10 \text{ г} - 5,28 \text{ г} - 0,0147 \text{ моль} * 121,8 \frac{\text{г}}{\text{МОЛЬ}})}{0,022 \text{ моль}} = 133 \text{ г/моль}$$

Это – цезий.

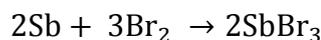
При выборе иода в качестве галогена, входящего в состав неизвестного соединения, расчет не позволит найти удовлетворяющий условию второй металл.

Процесс растворения $\text{Cs}_3\text{Sb}_2\text{Br}_9$ в концентрированной азотной кислоте можно записать следующим образом:



- В условии сказано, что при синтезе нанокристаллов химик использовал белое ионное соединение, водный раствор кислоты, обладающей восстановительными свойствами, и желтоватое гигроскопичное вещество. Белым веществом с ионным типом связи может быть кристаллический CsBr . Кислота, обладающая восстановительными свойствами, – HBr . Бромид-ион обладает восстановительными свойствами (см. реакцию выше) и увеличивает растворимость других бромидов.

Про третий компонент известно очень мало, за исключением того, что он гигроскопичен и может быть синтезирован из простых веществ. Очевидно, что этот реагент содержит сурьму. Тогда реакция синтеза данного вещества из простых веществ может быть следующей:



Бромид сурьмы(III) легко гидролизуеться на воздухе, образуя оксобромиды, например, SbOBr и др.

Альтернативным вариантом третьего компонента может быть иодид сурьмы(III) SbI_3 , который в избытке HBr может вступить в обменную реакцию.

В заключение, стоит отметить, что нанокристаллы найденного соединения $\text{Cs}_3\text{Sb}_2\text{Br}_9$, действительно, демонстрируют высокую фотокаталитическую активность в процессе восстановления CO_2 , в 10 раз превышающую таковую у фазы CsPbBr_3 .



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 7. Как очистить воду от солей?

Для этого можно использовать специальные мембраны, которые пропускают воду, но задерживают соли. Речь идет о солях щелочных и щелочноземельных металлов, главным образом, хлоридах. Одно из таких устройств изображено на рисунке 1. В структуре углеродного наноматериала – оксида графита – есть тонкие капилляры (поры – параллелепипеды). Оксид графита – это продукт окисления графита смесью сильных окислителей (приблизительная формула $\text{CO}_{0,34}\text{H}_{0,02}$, соотношение углерод/кислород может меняться от трех до двух). Оксид графита сохраняет слоистую структуру, присущую графиту, но часть атомов на графитовых плоскостях окислена.

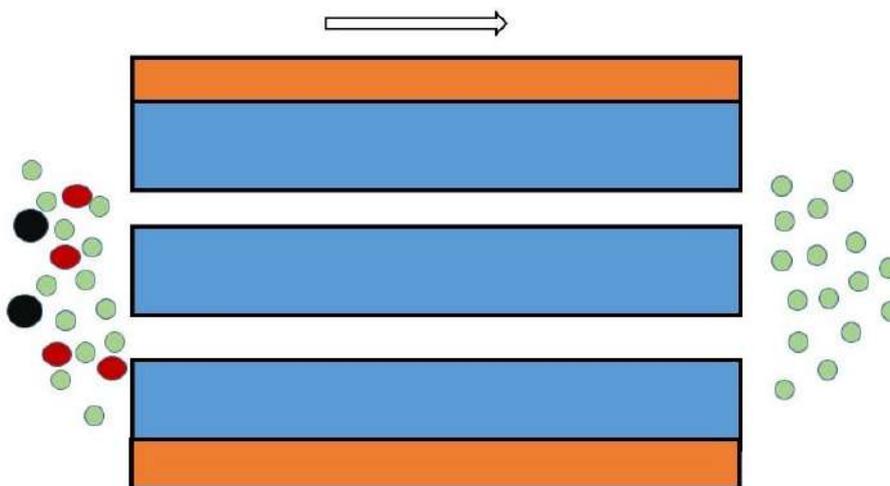


Рис. 1. Мембрана из оксида графита. Синим цветом обозначена сама мембрана с двумя капиллярами. Коричневый цвет – крепление мембраны. Зеленые кружки – молекулы воды. Цветные кружки – соли. Стрелка указывает направление движения сквозь мембрану.

1. В виде каких частиц соли присутствуют в воде? **(1 балл)**
2. Почему мембрану нужно делать из оксида графита, а такая же мембрана, изготовленная из неокисленного графита не работает? **(2 балла)**
3. Какого диаметра (приблизительно!) должны быть капилляры в мембране для того, чтобы очищать воду от солей? **(2 балла)**
4. Установлено, что при больших диаметрах капилляров соли проходят через мембрану, и фильтрации не происходит. Рисунок 2 показывает, как уменьшается концентрация соли в растворе после прохождения сквозь мембрану при уменьшении ширины (толщины) пор. Пользуясь рисунком, предложите формулу описывающую зависимость концентрации в отфильтрованном растворе от ширины поры. **(3 балла)**
5. Предложите механизм, объясняющий, почему количество ионов калия, прошедших через мембрану, с уменьшением диаметра падает, как показано на рисунке 2. **(2 балла)**

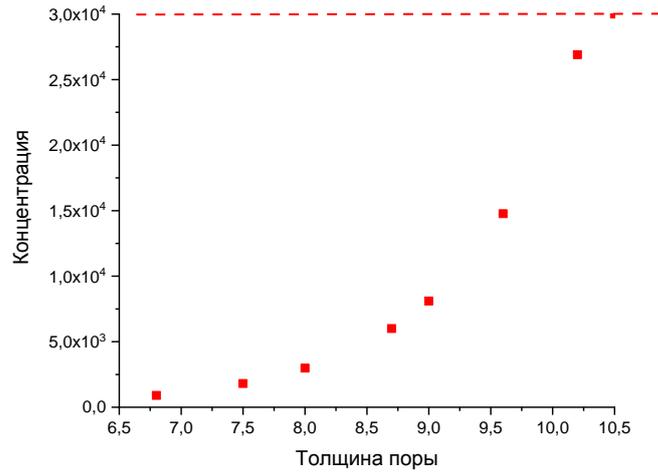


Рис. 2. Зависимость концентрации иона K^+ в отфильтрованном растворе от толщины пор в мембране. Величины по осям даны в условных единицах. Красная пунктирная линия – концентрация в исходном растворе.

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 7. Как очистить воду от солей?

1. Хлориды щелочных и щелочно-земельных элементов – сильные электролиты. В растворе они присутствуют в виде гидратированных ионов.

Многие участники писали просто: «Ионы». Это тоже правильный ответ. За него ставился 1 балл. Если в ответе дополнительно говорилось о «гидратной оболочке ионов» или об «оболочке из молекул воды», то к оценке добавлялся 1 призовой балл. Гидратная оболочка играет в этой задаче важную роль.

2. Графит гидрофобен, оксид графита гидрофилен. Вода не сможет войти в поры графита. Графит не сорбирует воду, а оксид графита сорбирует. Правильный ответ дает 2 балла.
3. Для того, чтобы фильтровать воду, толщина пор должна быть сопоставима с диаметрами гидратированных ионов. Это – 5-10 ангстрем. Такой ответ оценивался в 2 балла. Некоторые указывали только характерный размер молекулы воды ~2,8 А. Это 1 балл.
4. При толщине пор 6.5 А ионы через мембрану практически не проходят. При толщине 10.5 А сквозь мембрану проходят практически все ионы K^+ .

Зависимость, представленная на рис. 2, – экспоненциальная. Ее можно выразить формулой

$$c(d) = e^d \quad (1)$$

Проверить формулу (1) легче всего построив зависимость $\ln c = f(d)$ и убедившись, что она линейна. Если участник в качестве ответа приводил формулу (1), он получал 2 балла. В формуле (1), однако, непонятно, какую размерность имеет правая часть и как возводить экспоненту в степень "d", если "d" – размерная величина. Более грамотная запись имеет вид

$$c(d) = c_0 e^{\frac{(d-10,5)}{d_0}} \quad (2)$$

где 10.5 А – толщина пор, при которых фильтрация исчезает, c_0 – концентрация в исходном растворе, $d_0 = 1$ А. Теперь размерность правой и левой части – одинаковая. При $d = 10,5$ А экспонента равна единице, а концентрация в отфильтрованном растворе совпадает с концентрацией в исходном растворе. За формулу (2) можно было получить 3 балла.

5. Из рисунка 2 понятно, что мембрана не пропускает часть ионов. Чем меньше диаметр пор, тем меньше ионов проходит сквозь мембрану. Почему? Многие решили, что положительно заряженные ионы просто «цепляются» за кислородосодержащие группы на поверхности оксида графита и не проходят насквозь. Но в этом случае оксид графита не годится для изготовления мембран. Поры быстро забьются и не будут пропускать даже чистую воду. На самом деле, ионы не застревают, а не могут в пору войти!

В растворе ионы окружены гидратной оболочкой разной толщины. Размер иона K^+ с максимальной гидратной оболочкой равен $\sim 10.5 \text{ \AA}$ с минимальной – около 6 \AA . Поры с $d < 6 \text{ \AA}$ должны очистить воду полностью. Если верить данным, приведенным на рис. 2, то концентрация гидратированных ионов размером меньше $d \sim 10.5 \text{ \AA}$ падает пропорционально e^d . Правильный ответ оценивался в 2 балла.



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 8. Надежные ферменты

Основой многих нанобиосистем (например, молекулярных моторов и насосов, высокоточных тест-систем) являются ферменты – белки, в некоторых случаях также содержащие компоненты небелковой природы. Часто перед исследователями встает вопрос создания конструкций, в которых биокатализаторы связаны с наночастицами органической или неорганической природы, и здесь на помощь приходит иммобилизация ферментов на носителях.

Для эффективного связывания с белком носитель обычно приходится активировать или вводить так называемый бифункциональный сшивающий агент.

1. Запишите схемы иммобилизации фермента на носителе, содержащем гидроксильные группы, с использованием:
 - a) глутарового диальдегида; **(1 балл)**
 - b) бромциана в присутствии триэтиламина. **(1 балл)**
2. Обоснуйте выбор групп(ы) белка, задействованных(ой) в иммобилизации. **(1 балл)**
3. Укажите побочные реакции, которые могут снижать эффективность иммобилизации. **(1 балл)**
4. Объясните роль триэтиламина при использовании бромцианового метода. **(1 балл)**

Иммобилизация существенно влияет на каталитические характеристики ферментов, в первую очередь, на каталитическую активность и стабильность. В случае использования носителя макроскопических размеров реакция может протекать в двух режимах: кинетическом (представлен на рисунке ниже в двойных обратных координатах) или диффузионном, при котором скорость всего процесса определяется диффузией субстрата к ферменту в приповерхностном слое. В каждом конкретном случае есть определенная начальная концентрация субстрата $[S]_{0,trans}$, при которой происходит смена режимов.

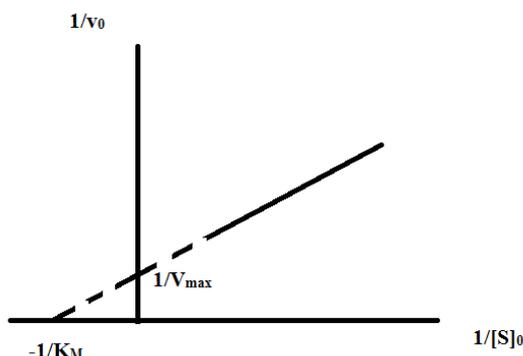


Рис. Зависимость скорости ферментативной реакции от концентрации субстрата в двойных обратных координатах.

5. Приведите в двойных обратных координатах график, иллюстрирующий катализ иммобилизованным ферментом в кинетическом и диффузионном режимах. Укажите, в каком интервале какой режим наблюдается, и отметьте $[S]_{0,trans}$. **(2 балла)**

6. В эксперименте установлено, что при 25 °С катализ иммобилизованным ферментом осуществляется в режиме диффузионных ограничений. Возможен ли переход в кинетический режим при повышении температуры проведения реакции, если диффузия зависит от температуры существенно меньше, чем скорость реакции? **(2 балла)**

7. Возможен ли режим диффузионного контроля при использовании наноразмерных носителей? **(1 балл)**

Всего – 10 баллов

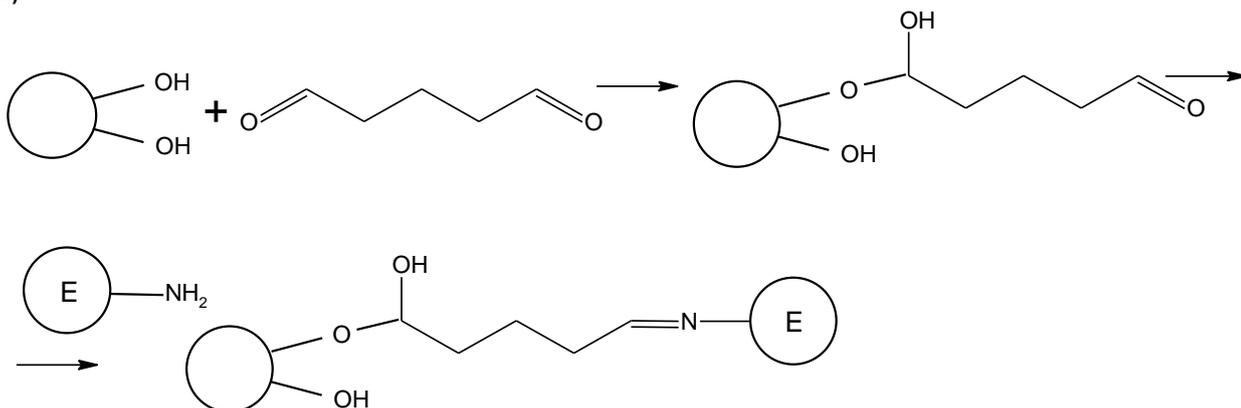


Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 8. Надежные ферменты

1. Носитель обозначен неподписанным кружком, фермент обозначен «Е».

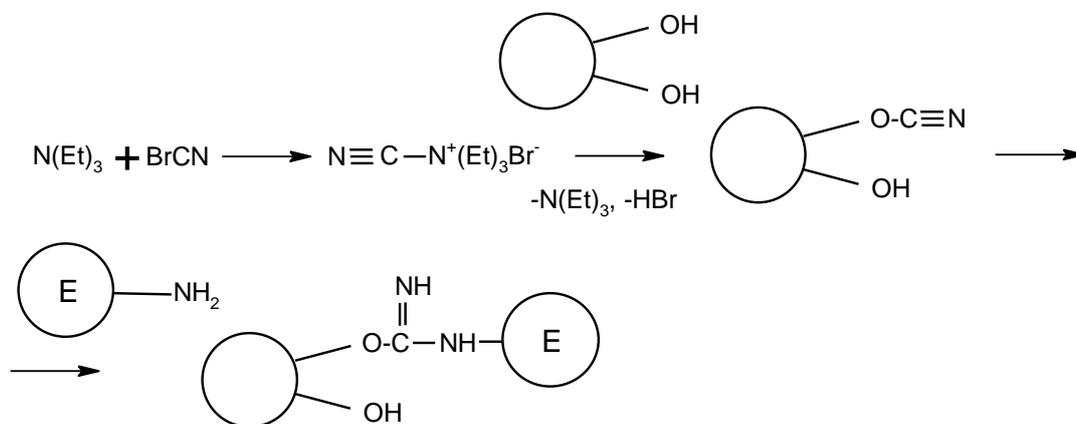
Принимаются протонированная и депротонированные формы аминогруппы фермента.

a)



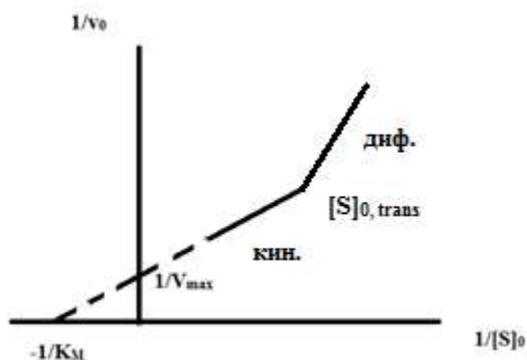
Возможно образование не только полуацетальной связи глутарового диальдегида с одной OH-группой носителя, но и полного ацетала с двумя OH-группами носителя (не показано на схеме).

b)



2. Активация носителя глутаровым диальдегидом или бромцианом приводит к возникновению связанной с носителем электрофильной группировки. Соответственно, фермент должен вступить в реакцию нуклеофильной группой, к которым следует отнести группы –SH, –NH₂ и –OH. Тиольная группа является наиболее реакционноспособной из приведенных, но они критичны для поддержания структуры белка (образуют дисульфидные мостики) либо для проявления каталитической функции (например, в тиоловых протеазах). Гидроксильные группы при нейтральных значениях pH не проявляют достаточной нуклеофильности. Таким образом, оптимальный выбор – аминогруппы, поскольку они реакционноспособны, их много в составе белков и, как правило, большинство доступных аминогрупп не задействовано в поддержании структуры или проявлении функции белка.

3. К основным побочным реакциям следует отнести взаимодействие глутарового диальдегида обеими карбонильными группами с ОН-группами носителя, самоконденсацию глутарового диальдегида, превращение цианата в неактивный карбамат вместо имидокарбоната (данный интермедиат не показан на схеме выше).
4. Триэтиламин, вступая в реакцию с бромцианом, повышает электрофильность реагента, в результате чего можно осуществлять взаимодействие в ОН-группами носителя при нейтральных значениях рН, при которых нуклеофильность ОН-групп не высока (реакция с бромцианом в отсутствие триэтиламина при нейтральных рН практически не идет).
- 5.



6. Нет, такой вариант невозможен: с увеличением температуры разница в скорости ферментативной реакции и диффузии будет только возрастать (пока не произойдет термоденатурация фермента).
7. Режим диффузионных ограничений возникает в связи с тем, что у поверхности макроскопического носителя есть перемешивающийся слой, движение субстрата в котором определяется исключительно диффузией. Один из путей преодоления диффузионных ограничений – измельчение частиц носителя. Переход к наноразмерным частицам исключает вероятность диффузионных ограничений такого рода.



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 9. Одномерные нанореакторы

На рисунке 1 представлена схема получения некоторых нанобъектов **B – I**, исходя из **A** – одностенной закрытой углеродной нанотрубки (зУНТ) при участии бакибола **C₆₀**, коронена **G** и ацетилена. ПЭМ-изображения полученных нанобъектов **C, F, I**, а также промежуточных продуктов реакции превращения **C** в **D** (**D₁*** и **D₂***), показаны на рисунке 2.

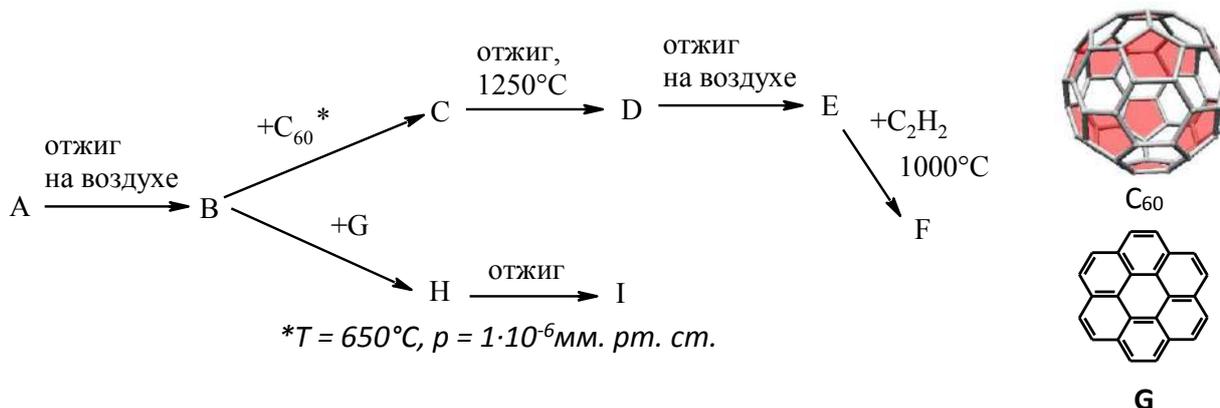


Рис. 1.

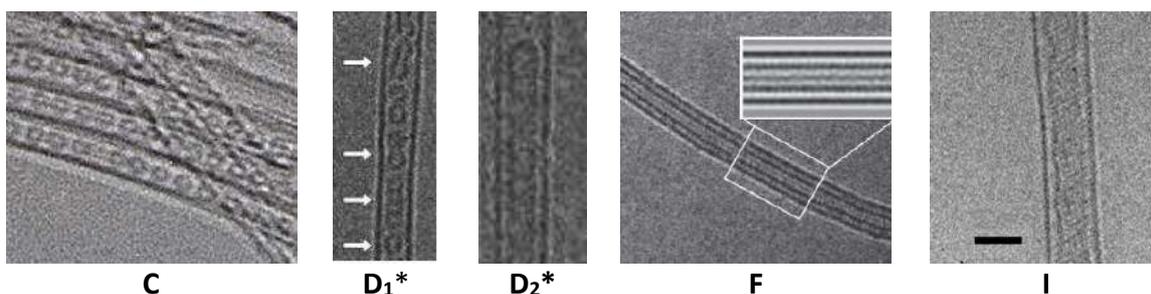


Рис. 2. Изображения просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) для **C, D₁*** и **D₂, F, I**.

1. Что представляют собой нанобъекты **C, D, F, I**? Опишите основные особенности их структуры. Поясните роль исходной зУНТ **A** в реакциях, происходящих в процессе образования этих нанобъектов. **(2.5 балла)**
2. Почему для получения объектов **C** и **H** необходим отжиг **A** на воздухе? **(0.5 балла)**
3. Какой фактор – энтальпийный или энтропийный – отвечает за превращение **C** в **D**? Почему для протекания реакции требуется нагрев? Поясните свой ответ, основываясь на происходящих при этом изменениях структуры. **(1.5 балла)**
4. Объект **C** имеет поворотную ось пятого порядка. Основываясь на параметрах структуры графита (рис. 4а) и механизме образования **B** и **C**, определите индексы хиральности¹ и диаметр внутренней нанотрубки в **C**, а также минимальный диаметр и индексы хиральности нанотрубки **A** из которой **C** может быть получен. **(3.5 балла)**
5. На основе данных о рассеянии электронов на образце **C** (рис. 3а) был определен период структуры – 0,95 нм. Определите, связаны ли ковалентными связями друг с другом молекулы фуллерена внутри образца. **(1 балл)**

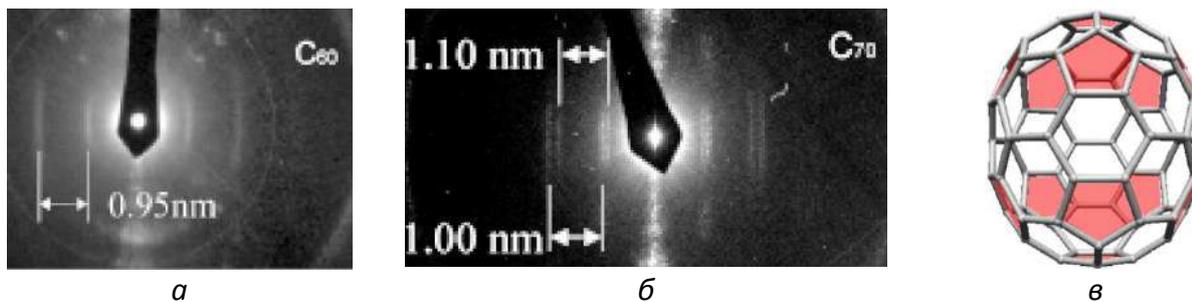


Рис. 3.

6. Объясните, почему для структуры C' , полученной в условиях синтеза C при замене бакибола на фуллерен C_{70} (рис. 3в), экспериментально определяется два периода (рис. 3б)? (1 балл)

¹ Диаметр УНТ выражается через ее индексы хиральности (n , m) (см. рис. 4б) как:

$$D = \sqrt{3}a\sqrt{n^2 + nm + m^2} / \pi$$

где a – расстояние между ближайшими соседними атомами углерода на графеновой плоскости (см. рис. 4а).

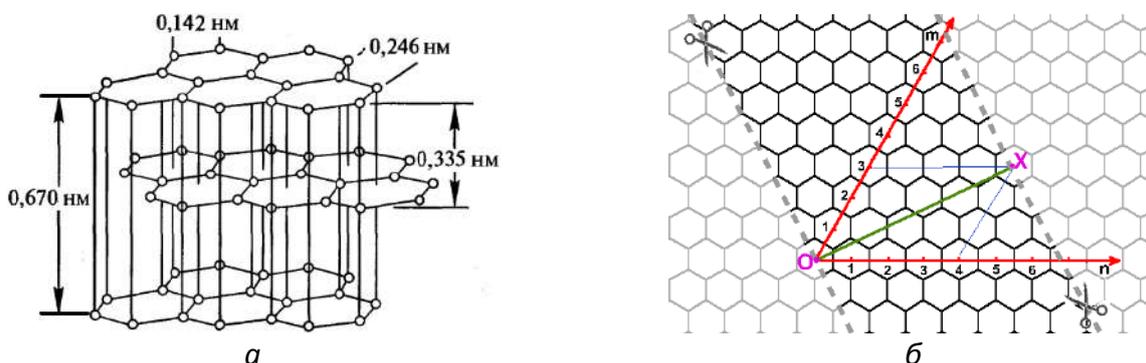


Рис. 4. а) Параметры структуры графита

б) Развертка УНТ задается с помощью пары чисел (n , m), называемых индексами хиральности. Для получения УНТ полосу 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).

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 9. Одномерные нанореакторы

1. Нанообъект **В** – открытая однослойная УНТ.
Нанообъект **С** – соединение внедрения УНТ с бакиболом.
Нанообъект **Д** – двухслойная УНТ (внутренняя трубка – зУНТ).
Нанообъект **Е** – двухслойная открытая УНТ.
Нанообъект **Ф** – углеродная нить внутри двухслойной УНТ.
Нанообъект **Н** – соединение внедрения УНТ с короненом.
Нанообъект **И** – графеновая нанолента (по краям которой расположены атомы водорода) внутри УНТ.

При отжиге на воздухе происходит окислительное разрушение торцов зУНТ, которое начинается с окисления более реакционноспособных пятичленных циклов, расположенных в закрывающих трубку «шапочках», и внутренняя полость трубки становится доступной для молекул гостя.

Следовательно, **В** – открытая УНТ, **С** – «стручок» (внутри полости УНТ расположены «горошины» – молекулы бакибола). При нагревании **С** происходит постепенное слияние молекул бакибола (промежуточные продукты D_1^* и D_2^*) и, в конце концов, получается двухслойная УНТ **Д**, в которой внешняя трубка открытая, а внутренняя – закрытая. Повторяя процедуру отжига на воздухе, получают двухслойную открытую УНТ **Е**.

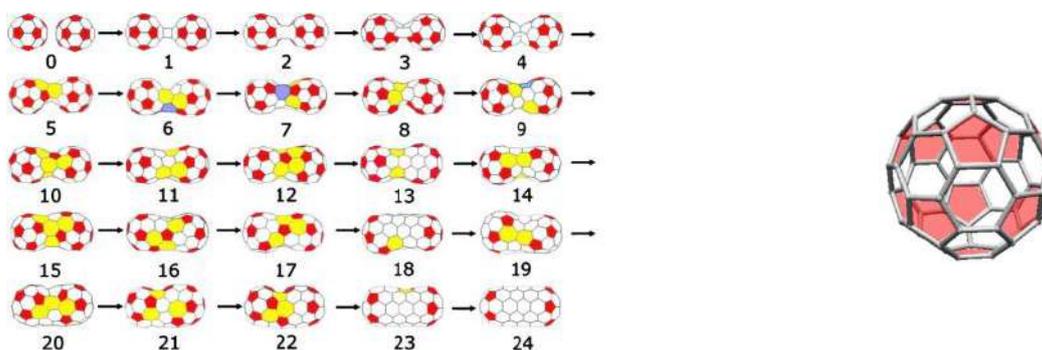
Согласно ПЭМ изображению и реакции синтеза, **Ф** представляет собой углеродную нить, которая находится внутри двухслойной открытой нанотрубки. Углеродная нить получается при объединении в цепочку молекул ацетиленов внутри трубки с потерей ими атомов водорода.

Заменой фуллерена на коронен **Г** получают аналогичное **С** соединение внедрения **Н**, при нагревании которого соседние молекулы коронена объединяются в ленту с потерей части атомов водорода.

Исходная нанотрубка играет роль темплата-заготовки, упорядоченно располагая молекулы реагентов внутри себя так, чтобы они могли прореагировать друг с другом только в определенном направлении – вдоль оси трубки, затрудняя при этом другие побочные реакции. Стенки трубки также могут проявлять каталитическую активность, стабилизировать продукты реакций и защищать их от внешних воздействий.

2. Закрытые УНТ содержат мало дефектов, через которые внутрь могут проникнуть другие молекулы, поэтому их использование ведет к получению лишь незначительного числа трубок с молекулами гостя.
3. При образовании внутренней трубки из фуллеренов энтропия системы уменьшается, поскольку уменьшается общее число молекул. Следовательно, возможность протекания реакции объединения фуллеренов определяет не энтропийный, а энтальпийный фактор. Действительно, в ходе реакции часть напряженных пятиугольников фуллерена превращается в устойчивые шестиугольники стенки внутренней нанотрубки (остаются только 12 торцевых пятиугольников). Следовательно, нагревание требуется для преодоления энергии активации (разрыва связей в ходе частичной перестройки углеродного скелета в фуллеренах).

4.



Если бакибол разрезать на две половинки по «экватору», то разрезу будет соответствовать УНТ с индексами хиральности (5,5). При сливании двух фуллеренов шапочки трубок не изменяются (сохраняется поворотная ось пятого порядка), и, следовательно, не меняется сечение (и индексы хиральности) получающейся трубки. Диаметр данной трубки составляет

$$D = \sqrt{3}a \sqrt{3m^2} / \pi = 3 \cdot 0,142 \cdot 5 / 3,14 = 0,678 \text{ нм.}$$

и, очевидно, примерно соответствует диаметру исходного бакибола.

Чтобы молекула бакибола могла поместиться во внешнюю нанотрубку, расстояние между ними должно соответствовать ван-дер-ваальсовому расстоянию между слоями углерода в графите (0,335 нм). То есть, минимальный диаметр внешней нанотрубки составит

$$0,678 + 0,335 \cdot 2 = 1,35 \text{ нм.}$$

Это отвечает диаметру УНТ с индексами хиральности

$$n = m = D\pi / 3a = 1,35 \cdot 3,14 / 3 \cdot 0,142 \approx 10.$$

Поскольку 10:5, то эта нанотрубка тоже обладает поворотной осью пятого порядка.

5. Чтобы понять, возможна ли химическая связь между «горошинами» в стручке, необходимо найти минимальное расстояние d_{\min} между атомами углерода соседних молекул бакибола, и сравнить его с расстоянием между соседними плоскостями углерода в графите (между которыми химическая связь отсутствует) и длиной С–С связи.

Диаметр фуллерена мы уже оценили как диаметр получающейся из него трубки (0,678 нм), следовательно, минимальное расстояние между атомами соседних молекул фуллеренов в стручке составит:

$$0,95 - 0,678 = 0,272 \text{ нм.}$$

Несмотря на то, что эта величина почти на 20% меньше расстояния между слоями углерода в графите, она почти в два раза больше расстояния между соседними атомами в графите и примерно в 1,6 раз больше длины одинарной связи углерод-углерод. Следовательно, молекулы фуллерена в С не связаны друг с другом ковалентными связями.

6. Фуллерен C_{70} имеет форму «мяча для регби» и его ось может быть ориентирована как вдоль направления трубки, так и перпендикулярно к ней. Соответственно, возможно два однородно ориентированных расположения молекул в трубке, которые и наблюдаются экспериментально.



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 10. 2D материал

2D-материал **В** впервые был получен из вещества **С** травлением в 50%-й плавиковой кислоте. **С** состоит из 3-х элементов: **М**, **А** и **Х**, их массовые доли в **С** равны 73.85%, 13.85% и 12.30%, соответственно. **Х** образует бинарные соединения с **М** (вещество **Д**) и с **А** (вещество **Е**), причём его массовые доли в этих соединениях равны 20.0% и 25.0%, соответственно. **Д** обладает высокой твёрдостью, жаростойкостью и химической инертностью. **Е**, напротив, вступает в реакции с разбавленными кислотами и с водой. При взаимодействии **Е** с водой образуются осадок **Ф** и газ **Г** (*реакция 1*), который также образуется при реакции **Е** с водородом (*реакция 2*). Осадок **Ф** растворяется как в кислотах (*реакция 3*), так и в щелочах (*реакция 4*). Для получения химически чистого **Д** используют реакцию газа **Г** и хлорида элемента **М** (*реакция 5*). Вещество **С** получают спеканием порошков **М**, **А** и **Д** (*реакция 6*).

1. Определите все неизвестные вещества, запишите уравнения всех указанных реакций. **(7 баллов)**
2. Почему для синтеза химически чистого **Д** используют описанную выше реакцию, а не взаимодействие простых веществ **М** и **Х**? **(1 балл)**

При травлении **С** слой элемента **А** удаляется, остаются слои, состоящие из элементов **М** и **Х**, на поверхности которых находятся так называемые терминальные группы. Толщина слоя таких материалов зависит от состава вещества, которое подвергается травлению, а расстояние между слоями и состав терминальных групп зависят от используемых для травления реагентов.

3. Нарисуйте структуры соединений **В** и **С**. **(1 балл)**
4. Считая, что терминальными группами при травлении **С** в плавиковой кислоте являются только фториды, укажите состав получаемого вещества **В**, если масса образца увеличилась на 5.64% после травления. **(0.5 балла)**
5. Предположите, какие ещё терминальные группы могут образовываться на поверхности слоев вещества **В**. **(0.5 балла)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 10. 2D материал

1. Условия задачи указывают на то, что при взаимодействии бинарного E с водой образуется осадок F – амфотерный гидроксид. Под указанные условия подходит лишь небольшое число бинарных соединений: карбиды алюминия, цинка, бериллия, халькогениды алюминия. Вычислив массовые доли элементов в этих соединениях (см. таблицу ниже), можно узнать, что под приведённые числа подходит только карбид алюминия, следовательно, A – Al, X – C, E – Al₄C₃, F – Al(OH)₃.

	Al ₄ C ₃	ZnC ₂	Be ₂ C	Al ₂ S ₃	Al ₂ Se ₃
ω(металла), %	75.0	73.2	60.0	36.0	18.6
ω(неметалла), %	25.0	26.8	40.0	64.0	81.4

Массовая доля углерода в D равна 20.0%, значит M – титан, D – TiC. Зная M, A и X, находим формулу C – Ti₃AlC₂. Таким образом,

A – Al, C – Ti₃AlC₂, D – TiC, E – Al₄C₃, F – Al(OH)₃, G – CH₄, M – Ti, X – C.

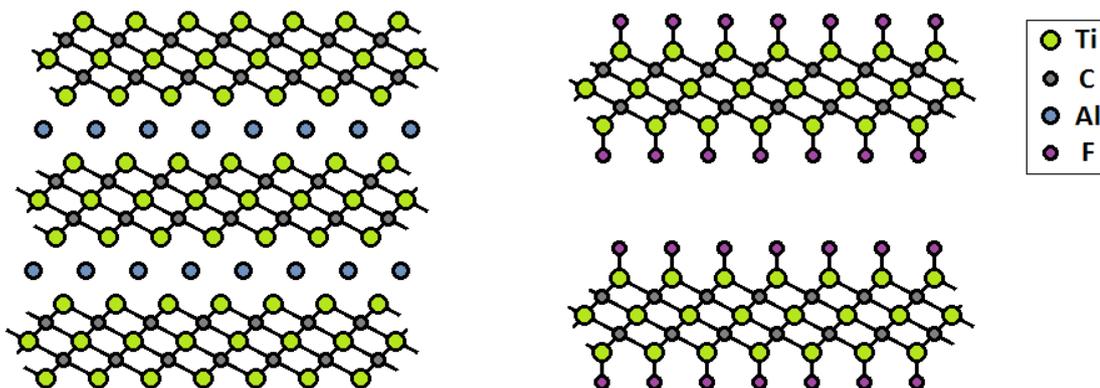
Уравнения реакций:

- 1) Al₄C₃ + 12 H₂O → 4 Al(OH)₃ + 3 CH₄
- 2) Al₄C₃ + 6 H₂ → 4 Al + 3 CH₄
- 3) Al(OH)₃ + 3 HCl → AlCl₃ + 3 H₂O
- 4) Al(OH)₃ + NaOH → Na[Al(OH)₄]
- 5) TiCl₄ + CH₄ → TiC + 4 HCl
- 6) 2 TiC + Ti + Al → Ti₃AlC₂

8 веществ и 6 уравнений – по 0.5 балла каждое

2. И хлорид титана, и метан, и хлороводород являются газообразными в условиях синтеза, единственным твёрдым веществом является карбид титана. Кроме того, реакция стехиометрическая, поэтому её продукт оказывается чистым. В случае реакции между титаном и углеродом продукт может иметь нестехиометрический состав, а также быть загрязнён реагентами.

3.



За каждую из структур – 0.5 балла.

4. Молярная масса соединения С равна 195 г/моль. Масса после травления увеличилась на 5,64%, следовательно, новая молярная масса равна $195 * 1,0564 = 206$ г/моль.

$206 - 48 * 3 - 12 * 2 = 38$, значит, формула соединения В – $Ti_3C_2F_2$.

5. Помимо фторидов, в зависимости от используемых реагентов могут образовываться такие терминальные группы как –ОН, –О–, –Сl.



Биология для школьников

Комплекс предметов

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 заключительный тур желательно решить задачи не только по биологии, но и по математике, физике, химии, чтобы набрать больше баллов. Дополнительные баллы будут начислены за прохождение двух тестов: ["Нанотест - приглашение на Олимпиаду"](#) и ["Тест ЗНТШ"](#).

Задания

1. Шпинат и нанотрубки

Органоиды, содержащиеся в клетках организма *Spinacia oleraceae* L., на свету выделяют кислород и поглощают углекислый газ. Что это за органоиды и какой процесс происходит в них на свету? *Органоид:* 1) Амилопласты 2) Пероксисомы 3) Лизосомы 4) Хлоропласты 5) Митохондрии...

Решение обновлено 04.02.2021

2. Нанопластик и пищевые цепи мирового океана

В последнее время ученые обнаружили, что микро- и нанопластик может передаваться по пищевой цепи. Зоопланктон «проглатывает» частички пластика вместо фитопланктона или одноклеточных диатомовых водорослей. Составьте максимально длинную и реалистичную пищевую цепь...

Решение обновлено 04.02.2021

3. Голубое

Все четыре изображения объединяет один физический эффект. 1. Назовите его. 2. Опишите подробнее, как он реализуется в каждом из 4 случаев. 3. Какова роль этого эффекта при формировании зеленого и карего цвета глаз? 4. Почему «голубое»?..

4. Научный шпионаж

Доктор Ву нанял частного детектива для того, чтобы проследить за последними исследованиями профессора Шу, своего более успешного коллеги и конкурента. Детектив установил в лаборатории профессора Шу прослушивающее устройство...

5. Цитокиновый шторм

Поговорим о цитокиновом шторме, о котором вы наверняка слышали в последнее время*. Давайте попробуем сильнее углубиться в это понятие, а заодно проверим свои знания, касающиеся воспаления и иммунитета. Выбирать необходимо только один ответ...

6. Вакцина

Предлагаем проверить свои знания по особенно актуальной в настоящее время проблеме – вакцинам. С вакцинами вы часто встречаетесь не только на страницах учебников, в разговорах, газетах и новостях, но также и «лично», в качестве медицинского препарата...

7. Мыши с «тепловизором»

Молодой сотрудник Технического университета г. Хэфэй Юцянь Ма вышел из лаборатории около 6 вечера. Сегодня ему удалось синтезировать наночастицы, поглощающие свет в инфракрасном диапазоне, а светящиеся в зеленом...

8. Включить/выключить

В современных экспериментах часто возникает задача избирательно выключить или включить тот или иной ген, причем в заданный момент времени и в заданном типе клеток. Для решения таких задач распространено использование Cre-рекомбиназы...

9. Как покрасить клетки антителами?

Для исследования морфологии клеток, внутриклеточной локализации белков и белковых комплексов используются различные методы специфического флуоресцентного окрашивания, из которых самым селективным и высокочувствительным является метод иммунохимического окрашивания...

10. НАНО-3 — материал будущего

Нанотехнологи будущего разработали материал НАНО-3, благодаря которому стало возможно сращивание сломанных костей. Для этого, необходимо ввести наноматериал, содержащий микротрубочки, прямо в кость. Какие есть структуры у костей и в чем их отличие друг от друга?..

Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 1. Шпинат и нанотрубки

1. Органоиды, содержащиеся в клетках организма *Spinacia oleraceae* L., на свету выделяют кислород и поглощают углекислый газ. Что это за органоиды и какой процесс происходит в них на свету? **(1 балл)**

Органоид

- 1) Амилопласты
- 2) Пероксисомы
- 3) Лизосомы
- 4) Хлоропласты
- 5) Митохондрии

Процесс

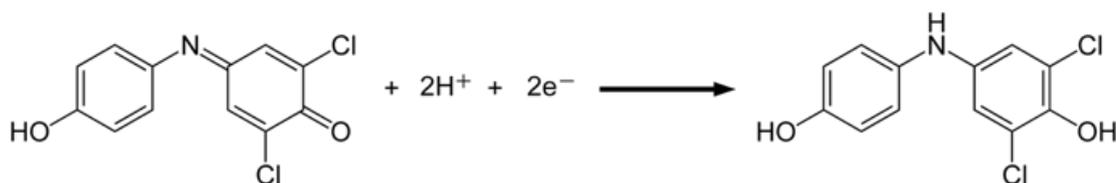
- A. Хемосинтез
- B. Дыхание
- C. Фотосинтез
- D. Транскрипция
- E. Фиксация атмосферного азота.

2. Каковы особенности этих органоидов? **(2 балла)**

- 1) Способны к делению
- 2) Отшнуровываются от аппарата Гольджи
- 3) Во время митоза распадаются на отдельные мембранные пузырьки
- 4) Немембранные органоиды
- 5) Одномембранные органоиды
- 6) Двумембранные органоиды
- 7) Не содержат рибосом
- 8) Содержат рибосомы прокариотического типа 70S
- 9) Содержат рибосомы эукариотического типа 80S
- 10) Не содержат ДНК
- 11) Содержат линейные молекулы ДНК
- 12) Содержат кольцевую молекулу ДНК

3. Ученые из Массачусетского технологического института выделили эти органоиды и добавили к ним углеродные нанотрубки. Оказалось, что в присутствии нанотрубок на свету скорость переноса электронов по электрон-транспортной цепи, локализованной в этих органоидах, увеличивается. Для определения скорости переноса электронов ученые использовали метод, предложенный в 1937 году биохимиком из Кембриджского университета Робертом Хиллом. Хилл обнаружил, что если добавить

к экстрактам листьев растений краситель 2,6-дихлорофенолиндофенол (DCIP – окисленная форма синего цвета), а затем осветить эти препараты, то они будут выделять кислород и одновременно в них будет происходить восстановление этого красителя с образованием бесцветной формы (DCIPH₂).



В темноте не происходило ни выделения кислорода, ни восстановления красителя. Это наблюдение послужило доказательством того, что энергия света может вызывать перенос электронов от воды на молекулу-акцептор. Так как при освещении экстрактов раствор обесцвечивался, по скорости исчезновения окраски можно было рассчитать скорость переноса электронов.

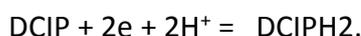
- 1) Какая молекула является природным акцептором электронов (в отсутствие красителя) в листьях? **(1 балл)**
- 2) Какой еще продукт (кроме восстановленного акцептора, электрона и кислорода) образуется при переносе электрона по электрон-транспортной цепи? **(1 балл)**
- 3) Для чего используются эти продукты? **(1 балл)**
- 4) Предположим, что в присутствии DCIP все электроны, образующиеся при окислении воды, идут на восстановление этого красителя. Известно, что в пробирке объемом 1 мл, содержащей органоиды *Spinacia oleracea* L. (см. предыдущие пункты), за 1 час освещения в отсутствие нанотрубок восстановилось 0,026 мкмоль DCIP. Какое количество кислорода (в мкмоль) при этом образовалось? **(3 балла)**
- 5) После добавления углеродных нанотрубок за 1 час освещения в пробирке того же объема образовалось 0,015 мкмоль кислорода. Сколько молекул красителя при этом восстановилось? **(1 балл)**
- 6) Предложите гипотезы, почему углеродные нанотрубки увеличивают скорость переноса электрона. **(1 балл)**

Всего – 11 баллов

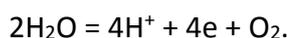
**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 1. Шпинат и нанотрубки**

1. 4, С (ответ D тоже допустим, так как транскрипция в хлоропластах идет постоянно).
2. 1, 6, 8, 12
- 3.

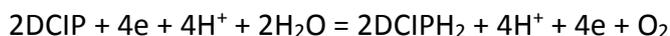
- 1) НАДФ+
- 2) АТФ
- 3) Для фиксации углекислого газа и синтеза сахаров (темновая фаза фотосинтеза)
- 4) Реакцию восстановления DCIP для простоты перепишем так:



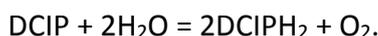
Эта реакция на свету сопровождается окислением воды и выделением кислорода фотосистемой II:



Умножим первую реакцию на 2 и сложим со второй:



или



Значит, при восстановлении 2 моль DCIP образуется 1 моль O_2 , а при восстановлении 0,026 мкмоль DCIP – 0,013 мкмоль O_2 , соответственно.

Ответ: 0,013 мкмоль.

- 5) В присутствии нанотрубок образовалось 0,015 мкмоль O_2 , значит восстановилось 0,03 мкмоль красителя. Число восстановившихся молекул красителя найдем, умножив число молей на число Авогадро:

$$0,03 \text{ мкмоль} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 1,806 \cdot 10^{16} \text{ молекул}.$$

Ответ: $1,806 \cdot 10^{16}$.

- 6) Все разумные гипотезы, не содержащие биологических ошибок. Возможные варианты:
 - Нанотрубки взаимодействуют с ферментами электрон-транспортной цепи тилакоидных мембран и увеличивают их активность.

- Нанотрубки служат дополнительными антеннами, улавливающими свет в тех спектральных диапазонах, где не поглощают пигменты фотосинтеза (УФ, зеленый).
- Нанотрубки защищают аппарат фотосинтеза от повреждения активными формами кислорода.

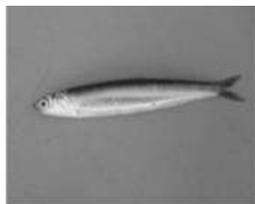
Варианты, связанные с влиянием нанотрубок на темновую фазу фотосинтеза (РУБИСКО и другие ферменты цикла Кальвина), в данном случае не подходят, так как описанные экспериментальные результаты относятся только к световой фазе!

**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
 Задача 2. Нанопластик и пищевые цепи мирового океана**

В последнее время ученые обнаружили, что микро- и нанопластик может передаваться по пищевой цепи. Зоопланктон «проглатывает» частички пластика вместо фитопланктона или одноклеточных диатомовых водорослей.



Чайка



Анчоус



Циклоп



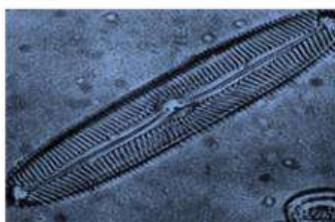
Косатка



Калянус



Морской котик



Диатомея



Барракуда



Кальмар

Рис. 1. Представители морской флоры и фауны

1. Составьте максимально длинную и реалистичную пищевую цепь, из представленных выше представителей флоры и фауны. Примите во внимание, что элементом пищевой цепи не являются животные или растения, которые могут выступить в качестве пищи случайно или однократно. **(2 балла)**
2. Составьте три варианта более коротких альтернативных вариантов пищевой цепи. **(3 балла)**
3. К какому типу пищевых цепей относятся составленные вами пищевые цепи? **(1 балл)**
4. Кто из представленных ниже представителей флоры и фауны является автотрофом? **(1 балл)**
5. Назовите консумент 2 порядка, который может содержать в себе микро- или нанопластик. **(1 балл)**

Всего – 8 баллов

Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 2. Нанопластик и пищевые цепи мирового океана

1. Диатомея – калянус – анчоус – кальмар – морской котик – косатка (возможен вариант: диатомея – калянус – анчоус – кальмар – чайка – косатка, но этот пример хуже, так как при нем теряется намного больше, чем 90%, потенциальной энергии в виде тепла).

Вариант “диатомея – калянус – циклоп – анчоус – кальмар – морской котик – косатка” будет оцениваться также на полный балл. При этом обратите внимание на то, что циклопы являются хищниками и в их рацион обычно не входят диатомовые водоросли.

Другие варианты будут оцениваться на балл ниже, так как, по условию задачи, элементом пищевой цепи не являются животные или растения, которые могут выступить в качестве пищи случайно или однократно. Например, не всякая рыба является пищей морских котиков или косаток, таким образом, барракуда не может быть включена в пищевую цепь в качестве промежуточного звена. Также, хотя и есть единичные наблюдения, что косатки в океанариуме охотились на чаек, в дикой природе чайки не являются для них объектами охоты.

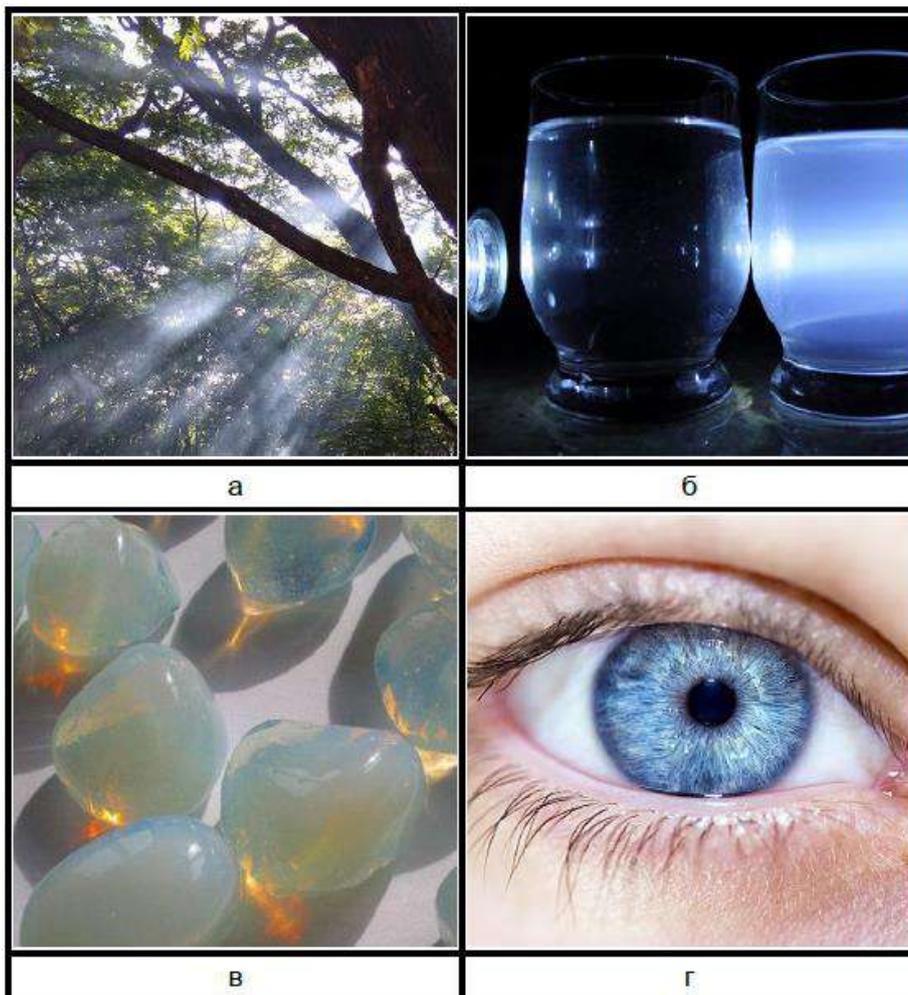
2. Альтернативные цепи:

- А) диатомея – калянус – анчоус – кальмар – барракуда
- Б) диатомея – калянус – кальмар – морской котик – косатка
- В) диатомея – калянус – кальмар – чайка

В зачет будут приняты и другие варианты логичных пищевых цепей

3. Все эти цепи относятся по типу к пастбищным – цепи выедания.
4. Диатомея.
5. Таким консументом 2-го порядка в нашей цепи, скорее всего, является анчоус, но может быть и кальмар или циклоп.

**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 3. Голубое**



Все четыре изображения объединяет один физический эффект.

1. Назовите его. **(1 балл)**
2. Опишите подробнее, как он реализуется в каждом из 4 случаев. **(4 балла)**
3. Какова роль этого эффекта при формировании зеленого и карего цвета глаз? **(3 балла)**
4. Почему «голубое»? **(2 балла)**

Всего – 10 баллов

**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 3. Голубое**

1. Эффект Тиндаля. Ответ «рассеяние света» тоже можно считать правильным, но конкретные примеры именно про эффект Тиндаля — рассеяние на частицах по размерам сопоставимым с длиной волны света.
2.
 - а. Рассеяние света на частицах тумана.
 - б. Рассеяние на коллоидных частицах в растворе: в первой емкости нет частиц или там находится истинный раствор, во второй — коллоидный раствор, наблюдается рассеяние.
 - в. Рассеяние света на микронеоднородностях в опалесцирующем стекле. Рассеивается голубая часть спектра (молочно-голубая окраска камней или стекла), проходит насквозь оставшаяся, более красная часть спектра — видно желто-оранжевое свечение.
 - г. Свет рассеивается на коллагеновых волокнах радужной оболочки, рассеивается голубая часть спектра.

(по 1 баллу за каждый случай)

3. В радужке нет голубого пигмента, голубая окраска формируется за счет рассеяния света. При наличии пигмента меланина формируется каряя и черная окраска, при наличии липофусцина, окрашенного в желтый или коричневый цвета, формируется зеленая окраска, т. к. свет, отраженный от «желтого» липофусцина, суммируется со голубым светом, рассеянным от коллагеновых волокон, также в оттенки зеленого вносит вклад меланин.

Т.о., правильный ответ — эффект Тиндаля играет частичную роль при формировании зеленого цвета глаз, при формировании карего — практически не играет роли.

4. Голубое — потому что во всех случаях рассеянный свет имеет голубоватый оттенок, если объект освещается белым светом. Это связано с тем, что интенсивность рассеяния обратно пропорциональна длине волны в 4 степени, т. е. более интенсивно рассеивается «голубая» часть спектра, поэтому мы наблюдаем голубой оттенок.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 4. Научный шпионаж



Доктор Ву нанял частного детектива для того, чтобы проследить за последними исследованиями профессора Шу, своего более успешного коллеги и конкурента. Детектив установил в лаборатории профессора Шу прослушивающее устройство (профессор любил бормотать себе под нос в процессе работы) и наблюдал за профессором в бинокль. Было видно, как профессор что-то записывает в журнале, но рассмотреть написанное не удалось.

Вечером детектив передал расшифровку доктору Ву.

— Вот что говорил мистер Шу, но часть информации он молча записал в журнал. Выкрасть журнал будет затруднительно.

— Не стоит беспокоиться, - ответил доктор Ву, - я уже понял, чем занимается мой коллега.

Заполните пробелы в расшифровке аудиозаписи (каждый пробел может включать от одного слова (и даже части слова) до 4-5 предложений):

«В культуральной жидкости культуры опухолевых клеток мы обнаружили интересные частицы. Их диаметр был равен в среднем около 80 нм. На фотографиях, полученных с помощью электронного микроскопа, отчетлива видна округлая форма и однослойная мембрана. Вирусную природу этих частиц мы исключили, анализ состава показал отсутствие фрагментов вирусных ДНК или РНК, но наличие микроРНК. Для того, чтобы избавиться от последних сомнений, провели анализ белков — белки цитоскелета, белки комплексов гистосовместимости, тетраспанины. Сомнений нет, эти частицы — (1)_____. Для дальнейших исследований нужно заказать ультрацентрифугу. Затем посмотрим, как они будут взаимодействовать со здоровыми клетками. Пометим тетраспанины мембраны опухолевых клеток флуоресцентным красителем, он прикрепится к участкам, ориентированным во внеклеточное пространство. Тогда в процессе образования эндосом — очень похожее слово — краситель окажется вот здесь, на (2)_____, а потом, когда образуются мульти(3)_____, вот здесь, на (4)_____, потом произойдет (5)_____, наши частицы окажутся во внеклеточном пространстве. Выделим и концентрируем их, добавим к культуре здоровых клеток. Конечно, мембраны (6)_____, а помеченный красителем участок белка будет ориентирован (7)_____. Посмотрим, как будут развиваться здоровые клетки после такого воздействия. Но хорошо бы использовать это на благо. Например, (8)_____.»

Ответ представьте в виде списка: номер пропуска и ваша версия пропущенного фрагмента. При желании можете добавить пояснения.

Всего – 10 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 4. Научный шпионаж

Ответ на этот вопрос выходит за рамки школьной программы, однако при некоторой настойчивости и наличии талантов детектива его можно найти в интернете.

1. экзосомы.

Экстраклеточные везикулы тоже считается за правильный ответ. Микровезикулы, эктосомы — не совсем правильный ответ, т. к. в тексте указаны средние размеры частиц, которые гораздо больше подходят под определение экзосом.

2. на внутренней стороне первичной эндосомы

3. мультивезикулярных телец. (Этап в формировании экзосом (но не эктосом))

4. наружной стороне везикул

5. экзоцитоз

6. сольются

7. на внешнюю сторону мембраны здоровых клеток

8. Здесь предполагается привести примеры полезного использования экзосом. Наиболее распространенные варианты: диагностика заболеваний по наличию и характеристикам экзосом в биологических жидкостях, например, в плазме крови. Также предполагается, что экзосомы можно использовать для доставки лекарств или для генетической терапии, поскольку они являются частями собственных клеток организма и не вызывают иммунного ответа.

(По 2 балла за пп. 1 и 8, остальные пункты – по 1 баллу)



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 5. Цитокиновый шторм



Поговорим о цитокиновом шторме, о котором вы наверняка слышали в последнее время*. Давайте попробуем сильнее углубиться в это понятие, а заодно проверим свои знания, касающиеся воспаления и иммунитета. Максимальное количество баллов за это задание – 10. Выбирать необходимо только один ответ. Ответ представьте в виде произвольной таблицы для первых семи вопросов и схемы с ответом на 8 вопрос:

Таблица 1. Пример заполнения таблицы с ответами (в строке «Ответы» надо указать буквы, соответствующие вашему выбору в ответе на подвопрос)

Подвопрос	1	2	3	4	5	6	7
Ответ							

В другом виде правильность проверки не гарантируется и ответ не будет засчитан!!!

*Звездочка в тексте означает что к этому понятию или вопросу существуют справочные материалы, которые, как мы надеемся, помогут вам разобраться в этом вопросе.

Итак:

1. Что такое цитокины? **(1 балл)**

- A. Небольшие информационные пептиды, которые синтезируются лимфоцитами, фагоцитами и другими клетками иммунной системы, а также клетками стромы.
- B. Небольшие информационные полипептиды и белки, которые синтезируются лимфоцитами, фагоцитами и другими клетками иммунной системы, а также клетками стромы.
- C. Информационные молекулы – эфиры, содержащие амидную группу, которые синтезируются лимфоцитами, фагоцитами и другими клетками иммунной системы, а также клетками стромы.
- D. Информационные молекулы – сахаросодержащие спирты, которые синтезируются лимфоцитами, фагоцитами и другими клетками иммунной системы, а также клетками стромы.

2. Цитокины делятся на группы и обеспечивают **(1 балл)**

- A. Провоспалительное, (интерлейкины 1,2,6,8, ФНО α , интерферон γ), противовоспалительное (интерлейкины 4,10, TGF β) воздействие, регуляцию клеточного иммунитета, регуляцию активности гормональной системы.
- B. Провоспалительное, (интерлейкины 1,2,6,8, ФНО α , интерферон γ), противовоспалительное (интерлейкины 4,10, TGF β) воздействие.
- C. Провоспалительное, (интерлейкины 1,2,6,8, ФНО α , интерферон γ), противовоспалительное (интерлейкины 4,10, TGF β) воздействие, регуляцию активности гормональной системы.
- D. Провоспалительное, (интерлейкины 1,2,6,8, ФНО α , интерферон γ), противовоспалительное (интерлейкины 4,10, TGF β) воздействие, регуляцию клеточного иммунитета.

3. Каков механизм повреждения клеток и тканей при действии цитокинов? **(1 балл)**

- A. Прямое повреждение клеток этими веществами.
- B. Косвенное воздействие за счет активации в клетках их биологических функций.
- C. Прямое и косвенное воздействие.
- D. Цитокины активируют клетки (иммунные и другие), а уже эти клетки начинают разрушать органы и ткани.

4. Одними из основных продуцентов цитокинов являются лимфоциты. Считается, что лимфоциты – основные клетки иммунной системы. Какие виды иммунитета (по классификации) обеспечивают лимфоциты? **(1 балл)**

- A. Гуморальный, клеточный, врожденный и адаптивный.
- B. Гуморальный, клеточный и адаптивный.
- C. Клеточный и адаптивный.
- D. Клеточный.

5. Выберите неправильное утверждение о макрофагах и моноцитах. **(1 балл)**
- A. Все макрофаги — это дифференцированные моноциты.
 - B. Моноциты относятся к врожденной системе иммунитета, источник макрофагов, важный компонент иммунной системы.
 - C. Макрофаги совместно с лимфоцитами играют важную роль в процессе антителообразования.
 - D. Макрофаги и моноциты, воздействуя на другие клетки, способствуют выделению цитокинов и других медиаторов.
6. Процесс воспаления делится на несколько стадий, выберите правильный вариант **** (1 балл)**
- A. (1) альтерация, которая подразделяется на первичную и вторичную, параллельно развиваются (2) сосудистые реакции и изменения крово- и лимфообращения, (3) экссудация и выход форменных элементов крови, и (4) пролиферация клеточных элементов тканей.
 - B. (1) альтерация, которая подразделяется на первичную и вторичную, (2) экссудация и выход форменных элементов крови, и (3) пролиферация клеточных элементов тканей.
 - C. (1) альтерация, которая подразделяется на первичную и вторичную, (2) экссудация и выход форменных элементов крови, (3) сосудистые реакции и изменения крово- и лимфообращения, и (4) пролиферация клеточных элементов тканей.
 - D. (1) альтерация, которая подразделяется на первичную и вторичную, (2) экссудация, и (3) пролиферация клеточных элементов тканей.
7. В нашем организме есть специальные гормоны, часто упоминаемые в околемецинских средствах массовой информации, – глюкокортикостероиды. Их часто применяют для лечения цитокинового шторма. Как вы думаете, почему? **(1 балл)**
- A. Они обладают мощным противовоспалительным действием.
 - B. В дополнение к свойству, указанному в пункте А, они обладают иммунорегулирующим действием (угнетают активность различных лимфоцитов и лейкоцитов, снижают продукцию антител и цитокинов).
 - C. В дополнение к свойствам, указанным в пунктах А и Б, они еще и увеличивают свертываемость крови.
 - D. В дополнение к свойствам, указанным в пунктах А, Б и В они еще и понижают чувствительность тканей к инсулину.
8. Правильно ответив на предыдущие вопросы и прочитав справочные материалы, вы вполне сможете выполнить и это задание. Схематично, в произвольной форме изобразите схему развития цитокинового шторма. Излишних подробностей не требуется. Главное – это правильность и понятность. **(3 балла)**

Всего – 10 баллов

Справочные материалы

*Цитокиновый шторм

Цитокиновый шторм (синдром цитокинового шторма, гиперцитокинемия) – очень опасная реакция иммунной системы, характеризующаяся быстрой пролиферацией и повышенной активностью некоторых клеток иммунной системы (главным образом лимфоцитов и клеток, обладающих фагоцитарной активностью, например, моноцитов и макрофагов). При цитокиновом шторме происходит неконтролируемая активация этих клеток, сопровождаемая дополнительным выбросом цитокинов и других веществ по принципу положительной обратной связи, что приводит к разрушению тканей и неконтролируемому распространению процесса потенциально на весь организм.

Цитокиновый шторм – понятие относительно новое (считается, что первое упоминание о нем появилось в первой половине 90-х годов XX столетия) и его точного и устоявшегося определения, особенно что касается его клинических проявлений, в настоящее время не существует. Обычно под синдромом цитокинового шторма понимают ряд потенциально приводящих к гибели клинических состояний с похожими симптомами (например, сепсис). Как правило, это – гипервоспалительная реакция различной природы, при которой высвобождается большое количество различных медиаторов (интерферонов, факторов некроза опухоли, интерлейкинов различного действия и др.), приводящая к повреждению собственных клеток из-за высвобождения цитокинов.

Воздействие цитокинов на клетки обусловлено наличием на поверхности клеток специфических рецепторов. Количество свободных рецепторов обуславливают чувствительность клеток к цитокинам. Цитокины активны в очень малых концентрациях. Как правило, они оказывают локальное воздействие. Чтобы воздействие было системным, требуется очень большое количество цитокинов в русле крови. Образование и секреция цитокинов строго регулируются. Синтез цитокинов в клетках индуцируется, чаще всего, микроорганизмами или их компонентами, при этом цитокины одного типа могут служить индуктором синтеза других цитокинов.

Цитокиновый шторм может возникнуть в результате различных инфекций, например, некоторых форм гриппа и других острых респираторных вирусных инфекций, онкозаболеваний, аутоиммунных и ревматических заболеваний, а также в результате некоторых видов иммунотерапий.

Симптомы цитокинового шторма включают в себя повышенную температуру (лихорадку), нарушения свертываемости крови, изменение количества клеток крови, патологическое увеличение селезенки, печени и лимфатических узлов, повреждение легких, увеличение белков острой фазы в крови. Очень часто на фоне симптомов заболевания различить симптомы сопутствующего цитокинового шторма не всегда возможно.

В настоящее время эффективного лечения синдрома цитокинового шторма, особенно в тяжелой форме нет. Основное – это поддерживающая терапия (лечение, направленное на устранение симптомов и поддержку организма, а также позволяющее улучшить качество жизни пациентов во время и после лечения). Поддерживающее лечение также включает в себя коррекцию свертываемости крови. В случае некоторых форм или нетяжелого протекания синдрома этого бывает достаточно, однако это происходит далеко не всегда. Также прибегают к искусственному угнетению иммунитета, например, с использованием глюкокортикостероидов и использованию препаратов, угнетающих определенные этапы процессов или вещества, в них участвующие, так используют специфические антитела к некоторым цитокинам (например, интерлейкин-6).

**Воспаление

Воспаление – иммуннозависимая защитная реакция организма, направленная на устранение патогенов и приводящая к восстановлению поврежденного участка и/или органа/организма. Причины воспаления могут быть различны и включать в себя как внешние (напр., вирусы, бактерии, грибы, различные токсины, и др.), так и внутренние причины (продукты неправильного метаболизма, продукты разложения поврежденных и погибших тканей, различные комплексы, содержащие антигены и антитела, и др.).

Альтерация – обобщающий термин, означающий повреждение, обусловленное патогеном. В результате альтерации наблюдается повреждение и последующий некроз окружающих клеток и тканей, а также высвобождение медиаторов воспаления, включая цитокины. Альтерация подразделяется на первичную (обусловленную непосредственным воздействием патогена в месте его воздействия) и вторичную (отсрочена во времени, формируется вокруг первичной, связана с диффузией из зоны первичной альтерации в окружающую ткань медиаторов воспаления различного происхождения и/или самих патогенов, также вызывает повреждение клеток соединительных тканей и сосудов, выброс медиаторов воспаления).

Сосудистые реакции – спазмы сосудов, связанные с рефлекторным сокращением нервных клеток, а также действием медиаторов воспаления с последующей артериальной и затем венозной гиперемией (переполнение кровью сосудов кровеносной системы какого-либо органа или области тела). Развиваются после воздействия патогена, идут параллельно альтерации. Сопровождаются локальным покраснением и повышением температуры. Сосудистые реакции способствуют накоплению медиаторов воспаления, частичному вымыванию патогена или продуктов его распада, способствуют накоплению белых клеток крови, но также способствуют агрегации тромбоцитов.

Экссудация и выход форменных элементов крови – выход жидкости и клеток крови (в основном плазмы и белых клеток крови) из сосудов в пораженные ткани и органы в результате увеличения проницаемости стенок микрокапилляров.

Экссудация способствует транспорту различных веществ в очаг воспаления и выводу токсичных веществ. Внешним признаком экссудации является отек. Экссудация – одна из причин развития боли при воспалении.

В процессе экссудации происходит выход форменных элементов белой крови в воспаленную ткань, внутри которой они выполняют ряд функций, ключевых для процесса воспаления.

Лейкоциты и моноциты обеспечивают фагоцитоз и лизис патогенов и его компонентов. Некоторые белые клетки продуцируют специальные вещества, способствующие развитию лихорадки, являющейся частью защитных факторов организма. Макрофаги принимают участие в иницировании иммунного ответа, способствуя созданию антигенов, пригодных для образования антител переработку их в иммуногенную форму. И, наиболее важное для этого вопроса, моноциты/макрофаги, лимфоциты и другие белые клетки выступают как важные медиаторы и модуляторы воспаления, синтезируя различные медиаторы, включая и противовоспалительные белки.

Пролиферация – завершающая стадия воспаления, представляет собой процесс размножения клеток и разрастания ткани, в результате чего и происходит восстановление целостности ткани в очаге воспаления.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 5. Цитокиновый шторм

Подвопрос	1	2	3	4	5	6	7
Ответ	В	А	Д	А	А	А	В

1. В (это белки, поскольку их масса в среднем составляет около 30 кДа, что значительно превышает массу пептидов).
2. А (цитокины оказывают очень широкий спектр воздействия).
3. Д (если коротко, то опосредованное действие цитокинов приводит к активации клеток иммунной системы, развитию неконтролируемого воспаления с последующим разрушением тканей и всего организма). С также засчитывается, ответы С и Д практически равноценны).
4. А (различные типы лимфоцитов обеспечивают различные, по классификации, типы иммунитета).
5. А (данный пункт наиболее далек от истины; не все макрофаги в организме происходят от моноцитов, но моноциты становятся макрофагами).
6. А (нетрудно догадаться что правильный вариант – А, он самый полный; иногда сосудистые реакции не выносятся отдельным пунктом, но тогда они должны быть указаны в одной из смежных стадий, здесь такого нет, что касается С, то в нем нарушена последовательность стадий).
7. В (остальное излишне и опасно).
8. Мы старались оценивать этот пункт по возможности лояльно, *максимально 3 балла*. Как уже упоминалось, основные критерии — это правильность и понятность. *За это ставили 2 и больше баллов*.

Что касается *третьего балла*, то, как вы уже должны были понять, цитокиновый шторм – это такое состояние иммунной системы, при которой в результате каких-то факторов (внутренних или внешних) она начинает работать вразнос (что, в сущности, и означает термин положительная обратная связь). Если вы сумели отразить это в своей блок-схеме вы получали *третий балл*.

Ниже представлен возможный пример блок-схемы. Надеемся, что в рамках представленного в вопросе материала, он правильный и понятный :).





Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 6. Вакцина



Предлагаем проверить свои знания по особенно актуальной в настоящее время проблеме – вакцинам. С вакцинами вы часто встречаетесь не только на страницах учебников, в разговорах, газетах и новостях, но также и «лично», в качестве медицинского препарата. И хотя некоторые задания из этого вопроса немного выходят за рамки школьной программы, надеемся, что это задание не вызовет у вас особых проблем. Выбирать необходимо только один ответ. Ответ представьте в виде таблицы с обоснованием ответа к подвопросу 9:

Таблица 1. Пример заполнения таблицы с ответами (в строке «Ответы» надо указать буквы, соответствующие вашему выбору в ответе на подвопрос).

Подвопрос	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ответ									
Обоснование ответа на 9 подвопрос									

В другом виде правильность проверки не гарантируется и ответ не будет засчитан!!!

Согласно определению, данному на сайте Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), «вакцина — это препарат, предназначенный для обеспечения выработки иммунитета против какой-либо болезни путем стимулирования выработки антител».

1. Существует такой процесс как «иммунизация». Как связаны вакцинация и иммунизация между собой? **(1 балл)**
 - A. Это – не связанные между собой термины.
 - B. Вакцинация – частный случай иммунизации.
 - C. Иммунизация – частный случай вакцинации.
 - D. Это – синонимы.
2. Против каких патогенов действуют разработанные в настоящее время вакцины? **(1 балл)**
 - A. Против вирусов и бактерий.
 - B. Против вирусов, бактерий и грибов.

- C. Против любых организмов и токсинов (и их частей), являющихся антигенами, способными к созданию антител в организме.
3. На рисунке, сопровождающем этот вопрос, вакцина изображена в виде черного быка. Как вы думаете, почему именно такое изображение использовано для иллюстрации вакцины? **(1 балл)**
- A. Автор так решил по неизвестной мне причине.
 - B. В имени или фамилии создателя первой вакцины присутствовало слово «бык» («корова»).
 - C. Название препарата содержало слово «бык» («корова»).
 - D. Ее впервые использовали для лечения коров.
4. На рисунке в виде быка изображена вакцина, которая способна защитить от различных микробов, также представленных на рисунке. Эти микробы вызывают различные заболевания. Как называется такая вакцина? **(1 балл)**
- A. Поливалентная.
 - B. Комбинированная.
 - C. Возможны оба вышеупомянутых названия, эти слова – синонимы.
 - D. Предоставленной информации недостаточно, чтобы определить название вакцины.
5. В настоящее время вакцинация является наиболее эффективным методом предотвращения различных инфекционных заболеваний. Как вы думаете, насколько безопасно вакцинирование? **(1 балл)**
- A. В случае сертифицированных вакцин, прошедших все стадии тестирования, и выполнения всех требований к применению, вакцинирование абсолютно безопасно.
 - B. Возможны только кратковременные незначительные побочные эффекты.
 - C. Даже в случае проведения полного тестирования вакцин и выполнения всех требований, помимо незначительных побочных эффектов, в редких случаях возможны серьезные побочные эффекты.
6. Как вы думаете, может ли у привитого в результате прививки развиться полноценное заболевание, от которого прививка должна была защищать? Возможно ли заразиться от вакцины? (Здесь не рассматривается ситуация, когда вакцина не сработала) **(1 балл)**
- A. Да, это случается довольно часто.
 - B. Да, в случае некоторых типов вакцин, очень редко, это возможно.
 - C. Это невозможно!
7. Ранее уже упоминалось о строгом контроле и тестировании вакцин. Как вы думаете, какие этапы должна пройти вакцина, прежде чем она станет доступна для широкого использования (относится к испытанию всех медицинских препаратов)? **(1 балл)**
- A. Базовые исследования, доклинические исследования, одностадийные клинические испытания, контроль и регистрация государственными органами.

- В. Базовые исследования, доклинические исследования, одностадийные клинические испытания, контроль и регистрация государственными органами, дальнейшие исследования.
- С. Базовые исследования, доклинические исследования, трехфазные клинические испытания, контроль и регистрация государственными органами, дальнейшие исследования.
- Д. Базовые исследования, доклинические исследования, сокращенные по специальному указанию клинические испытания, контроль и регистрация государственными органами, дальнейшие исследования.
8. Когда говорят о вакцинах 2-го и выше поколений, упоминают «анатоксины» и «адьюванты». Очень часто их используют вместе, при этом возникает вопрос о совместимости анатоксинов и адьювантов. Так что такое анатоксины и адьюванты? **(1 балл)**
- А. Анатоксины – инактивированные токсины, сохранившие иммуногенность; адьюванты – вещества, неспецифически стимулирующие иммунный ответ на определенные антигены.
- В. Анатоксины – разновидность антител, нейтрализующие различные токсины; адьюванты – вещества, стимулирующие иммунитет и неспецифическую резистентность организма к антигенам.
- С. Анатоксины – разновидность антител, нейтрализующие различные токсины; адьюванты – вещества, неспецифически стимулирующие иммунный ответ на определенные антигены.
- Д. Анатоксины – инактивированные токсины, сохранившие иммуногенность; адьюванты – вещества, стимулирующие иммунитет и неспецифическую резистентность организма к антигенам.
9. Не всегда удается достичь эффективного ответа вакцины. Это может быть связано не только с качеством вакцины, но также и с особенностями патогенов, против которых применяются вакцины. Как вы думаете, существуют ли механизмы, способные противостоять действию вакцин и, если они есть, то какие? Коротко обоснуйте свой ответ, примеры желательны **(2 балла)**
- А. Некоторые патогены в процессе эволюции разработали механизмы, позволяющие избегать иммунного ответа, вызванного вакцинами (например, антигенная вариация и маскировка антигенов).
- В. Некоторые патогены в процессе эволюции разработали механизмы, направленные непосредственно на вакцины (некоторые из них сходны с описанными в предыдущем пункте), позволяющие разрушать или избегать их воздействия.
- С. Существуют механизмы, позволяющие патогенам обманывать иммунитет организма, избегая его различными способами (прячась внутри клеток, формируя пленки, защитные оболочки, синтезируя вещества, связывающие антитела).
- Д. Таких механизмов не существует.

Всего – 10 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 6. Вакцина

Подвопрос	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ответ	В	С	С	В	С	В	С или D	А	любой вариант
Обоснование ответа на 9 подвопрос	см.ниже								

1. В (согласно определению ВОЗ: «процесс, благодаря которому человек приобретает иммунитет, или становится невосприимчивым к инфекционной болезни, обычно, путём введения вакцины», иммунизация может достигаться не только вакцинированием).
2. С (в данном случае это – наиболее полный ответ).
3. С (Название вакцина происходит от латинского выражения «la variola vaccine» – «коровья оспа», это название препарата для лечения оспы, впоследствии название сократили, а затем его использовали для названия всех аналогичных препаратов). А тоже может быть засчитано.
4. В (поскольку в условии указано, что это микробы различных заболеваний, а не одного заболевания).
5. С (действительно, даже у лицензированных вакцин, прошедших все стадии тестирования и дальнейших исследований, при соблюдении всех требований к применению, в редких случаях возможны серьезные побочные эффекты, согласно данным ВОЗ – это около одного выявленного осложнения на миллион введенных доз).
6. В (да, в случае живых вакцин, очень редко, возможно развитие такого побочного эффекта, тем не менее высокая эффективность живых вакцин позволяет их использовать с учетом тщательного тестирования и контроля).
7. С или D (это длительный и трудоемкий процесс).
8. А.
9. Будут засчитаны любые пункты, если участник предоставит не противоречащее современному научному мировоззрению объяснение. Однако, наиболее логично выглядит пункт А, поскольку действительно такие механизмы существуют, пункт В маловероятен, поскольку возраст даже самых старых разработанных вакцин ненамного превышает тысячу лет, это не кажется таким уж большим временем для эволюции микроорганизмов, механизмы из пункта С все-таки в большей степени направлены на борьбу с врожденным иммунитетом.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 7. Мыши с «тепловизором»

Молодой сотрудник Технического университета г. Хэфэй Юцянь Ма вышел из лаборатории около 6 вечера. Сегодня ему удалось синтезировать наночастицы, поглощающие свет в инфракрасном диапазоне, а светящиеся в зеленом... Короткие сумерки почти мгновенно сменились глубокой субтропической ночью — как же все-таки рано темнеет здесь в ноябре! «Интересно, почему люди и другие млекопитающие не видят в инфракрасной области спектра? Можно ли как-то расширить диапазон видимого спектра? Может быть, можно покрыть фоторецепторы в сетчатке моими наночастицами? Надо бы обсудить это завтра с профессором Дзинь Бао, ей будет интересно» — подумал Юцянь.

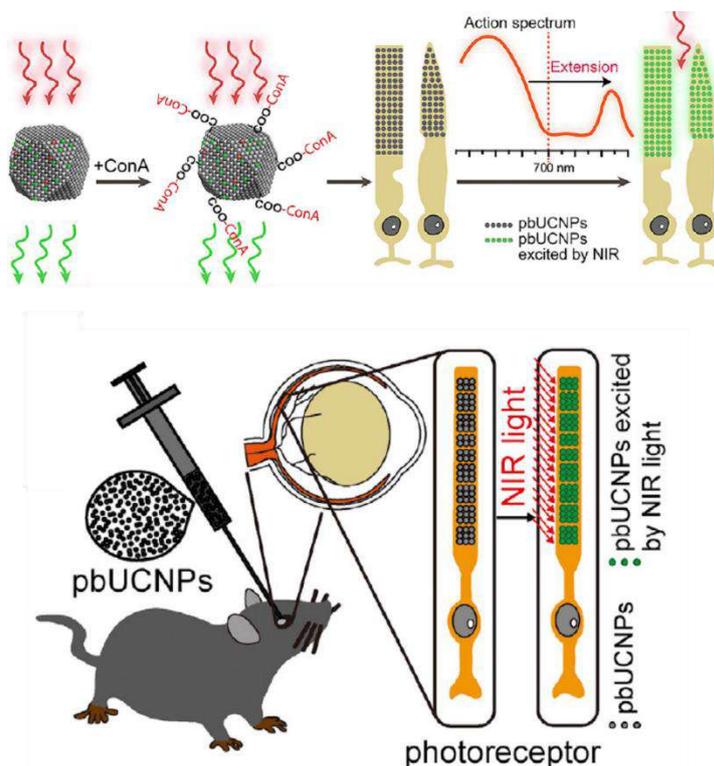


Рис. 1. Схема эксперимента Ма и Бао; сверху — биоадаптация наночастиц и предполагаемый механизм действия, внизу — инъекция раствора наночастиц под сетчатку глаза.

Через несколько недель дело пошло на лад. Покрытые конканавалином А, наночастицы при инъекции под сетчатку хорошо связывались с колбочками, цитотоксического эффекта, похоже, не было. На электроретинограммах отчетливо был виден ответ зрительного нерва на освещение глаза как зеленым, так и инфракрасным (только у животных с инъекцией) светом. Оставалось сделать несколько записей активности мозга, измерить изменения диаметра зрачка и провести несколько поведенческих тестов — и можно отправлять черновик статьи в ведущий научный журнал.

1. Как Вы считаете, в чем причина того, что клетки сетчатки не чувствительны к инфракрасному свету? **(2 балла)**
2. Зачем потребовалось покрывать наночастицы конканавалином? **(1 балл)**

3. При помощи каких экспериментов можно показать, что наночастицы не обладали цитотоксичностью? **(1 балл)**
4. При измерении электрической активности в зрительной коре животного, эксперименты следовало проводить в том же полушарии, что и глаз, в который делалась инъекция, в противоположном, или можно было делать в любом полушарии? Почему? **(2 балла)**
5. Зачем ученые планировали измерять диаметр зрачка животного? **(1 балл)**
6. Какие поведенческие тесты Вы бы предложили провести, чтобы убедиться в том, что (а) мыши после инъекции различают наличие и отсутствие общей освещенности в инфракрасном свете; (б) мыши воспринимают инфракрасный свет как зеленый свет; (в) животные не только способны воспринимать общую освещенность, но и различать формы и объекты, видимые в инфракрасной области спектра; (г) при этом объекты тоже воспринимаются как зеленые. При планировании экспериментов можно учесть, что мыши избегают освещенных мест, не любят плавать, и их можно научить распознавать простые геометрические формы. **(6 баллов)**

Всего – 13 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 7. Мыши с «тепловизором»

Задача составлена по материалам статьи Ma et al., 2019, Cell 177, 243–255, April 4, 2019; <https://doi.org/10.1016/j.cell.2019.01.038>. Тесты и эксперименты, описанные в этой статье можно считать за эталон. Тем не менее, будут положительно оценены и другие достаточно аргументированные ответы школьников и предложенные ими эксперименты.

1. Энергия фотонов в инфракрасном диапазоне слишком низкая. Для детекции таких фотонов энергетический барьер конформационных изменений опсина должен быть очень низким, что привело бы к значительному тепловому шуму и фоновой активации рецепторов.
2. Конканавалин – белок растительного происхождения (лектин) улучшает связывание наночастиц с клетками сетчатки за счет взаимодействия с рецептором родопсином.
3. Цитотоксичность можно оценить, окрашивая образцы ткани из глаз животных после инъекции и подсчитывая количество клеток. Возможно также проведение специфического окрашивания на маркеры апоптоза, наличие реактивных клеток глии и т.д.
4. Предпочтительно регистрировать электрическую активность в противоположном полушарии из-за перекреста оптических нервов. Часть зрительной коры, тем не менее, получает иннервацию и от глаза, расположенного с той же стороны (колонки глазодоминантности). Поэтому важно также попасть электродом в нужную колонку коры.
5. Для измерения зрачкового рефлекса при освещении видимым и инфракрасным светом – чтобы показать рабочий физиологический ответ на стимуляцию инфракрасным светом и только у животных с инъекцией наночастиц.
6.
 - (а) Мыши предпочитают находиться в слабо освещенных областях пространства. Можно сделать ящик разделенный на “темную” и “светлую” половину. В светлой половине разместить светодиоды зеленого цвета и инфракрасные светодиоды. Периодически включать подсветку – то одну, то другую и регистрировать время, которое животное проводит в той или иной половине ящика. Животные без инъекции не будут “замечать” инфракрасную подсветку, но будут прятаться в темной половине при включении видимой подсветки. Животные с инъекцией будут прятаться в обоих случаях.
 - (б) Для проверки того, что воспринимается именно зеленый свет, можно выработать у животного рефлекс избегания (после включения зеленой лампочки давать удар током), после чего сравнивать наличие замирания после включения лампочки другого видимого света и включения инфракрасного диода.

- (в) Можно использовать водный лабиринт, где рукав со скрытой под водой платформой помечен одним символом, а рукав без платформы – другим символом. Проверять процент угадываний нужного рукава, когда указывающие символы подсвечены видимым цветом и когда символы подсвечены инфракрасным светом.
- (г) Предъявлять символы красные, зеленые и инфракрасные символы для распознавания на темном, красном и зеленом фоне. Животные с инъекцией должны лучше распознавать инфракрасные символы, на темном, но не освещенном зеленым светом фоне.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 8. Включить/выключить

В современных экспериментах часто возникает задача избирательно выключить или включить тот или иной ген, причем в заданный момент времени и в заданном типе клеток. Для решения таких задач распространено использование Cre-рекомбиназы, которая “узнает” специфичные палиндромные повторы, разделенные короткой вариабельной вставкой (loxP-сайты). Такие последовательности крайне редки в геномах эукариот, поэтому добавленные в геном loxP-сайты высокоспецифично распознаются Cre-рекомбиназой, и их удобно использовать для управляемого редактирования генома. В зависимости от взаимного направления соседних loxP-сайтов будет происходить либо делеция, либо инверсия участка между loxP.

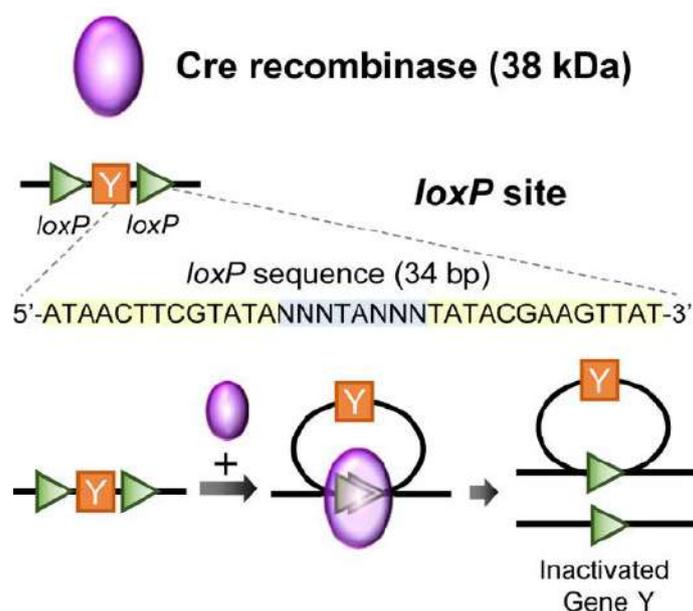


Рис. 1. Пример LoxP-сайта и схема работы Cre-рекомбиназы при однонаправленных LoxP-сайтах (делеция участка между сайтами). (с) <https://doi.org/10.5625/lar.2018.34.4.147>

В экспериментах часто используется рекомбинантная форма Cre, объединенная с эстрогеновым рецептором (CreERT). В таком виде инъекция лекарственного средства тамоксифена приводит к активации Cre рекомбиназы, вызывая включение и выключение гена в нужный момент времени. Коммерчески доступны линии мышей, в которых CreERT находится под управлением различных тканеспецифичных промоторов. В данной задаче будут использоваться мыши, у которых синтез CreERT управляется промотором hGFAP, специфичным для астроцитов – одного из типов глиальных клеток.

Для визуализации внутриклеточных структур иногда используют генетически кодируемые индикаторы на основе флуоресцентных белков. Существуют варианты белков, избирательно связывающихся, за счет дополнительных вставок, с мембранами митохондрий, эндоплазматического ретикулума и других клеточных органелл. Доступны линии мышей, в которых различные флуоресцентные белки вставлены в геном под управлением неспецифичного промотора, т.е. потенциально способны синтезироваться в любой клетке организма. Однако, перед кодирующей последовательностью белка вставлен участок со стоп-кодоном, окруженный двумя однонаправленными loxP-сайтами. Такие линии мышей обозначают суффиксом -lsl- (lox-stop-lox).

Для Вашего эксперимента Вам нужно добиться одновременной визуализации эндоплазматического ретикулума (ЭПР) и митохондрий в астроцитах мозга. В вашем распоряжении есть линии мышей: (1) R26-lsl-ER-tdTomato, у которых последовательность, кодирующая красный флуоресцентный белок, находится под тканеспецифичным промотором, но перед ней вставлен -lsl- элемент, связывающийся с ЭПР, линия (2): R26-lsl-mitYFP, аналогичная линии 1, но последовательность кодирует желтый флуоресцентный белок, связывающийся с митохондриями и линия (3): hGFAP-CreERT, у которых синтез CreERT регулируется астроцит-специфичным промотором hGFAP.

1. Опишите генотип и фенотип потомства (F1) после скрещивания линий hGFAP-CreERT x R26-lsl-ER-tdTomato. Какие изменения фенотипа повлечет инъекция тамоксифена потомству? Свои ответы обоснуйте. **(3 балла)**
2. Опишите генотип и фенотип потомства (F2) после скрещивания F1 x R26-lsl-mitYFP. Какие изменения фенотипа повлечет инъекция тамоксифена этим животным? **(3 балла)**
3. Предложите способы визуализировать все клетки, в которых началась экспрессия CreERT, вне зависимости от включения -lsl-генов. **(4 балла)**

Всего – 10 баллов

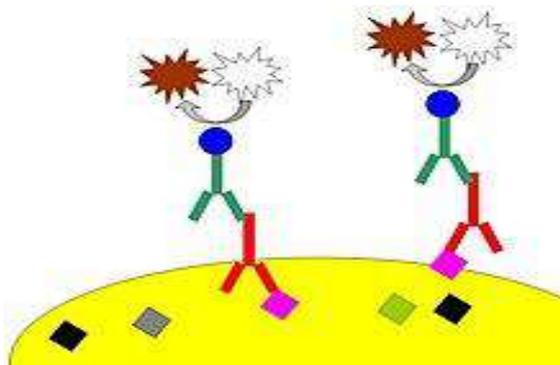


Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 8. Включить/выключить

Обозначим аллель, несущий Cre-рекомбиназу как С, а аллель без рекомбиназы как с; обозначим также w – аллель области Rosa26 дикого типа, E – аллель области Rosa26, содержащий последовательность -Isl-ER-tdTomato и M – аллель области Rosa26, содержащий Isl-mitYFP.

1. F1: CcEw (все потомство гетерозиготы). После введения тамоксифена в астроцитах будет активирована CreERT, которая удалит стоп-кодон из последовательности, кодирующей ER-tdTomato, что приведет к окрашиванию ЭПР астроцитов красным флуоресцентным белком (у всех животных).
2. F2: **CcEM**, ccEM, CcMw, ccMw; только у животных с генотипом CcEM инъекция тамоксифена приведет к одновременному окрашиванию митохондрий и ЭПР. У животных CcMw инъекция тамоксифена приведет к окрашиванию только митохондрий. У остальных животных инъекция тамоксифена не будет приводить к экспрессии флуоресцентных белков.
3. Либо вместе с CreERT под тот же промотор рядом вставить последовательность, кодирующую еще один флуоресцентный белок, либо использовать иммуногистохимическое окрашивание при помощи флуоресцентно-меченых антител к CreERT.

**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 9. Как покрасить клетки антителами?**



Для исследования морфологии клеток, внутриклеточной локализации белков и белковых комплексов используются различные методы специфического флуоресцентного окрашивания, из которых самым селективным и высокочувствительным является метод иммунохимического (или иммуногистохимического) окрашивания. В основе данного метода лежит инкубация предварительно фиксированных клеток или срезов тканей с раствором антитела к белку или белковому комплексу, который необходимо визуализировать. В простом случае это – антитело (так называемое первичное антитело, ПА), конъюгированное с выбранным флуоресцентным зондом (низкомолекулярным красителем, который светится в определенном спектральном диапазоне при воздействии светом нужных длин волн). В более сложном случае первичное антитело не несет флуоресцентный зонд, а исследуемый препарат после обработки первичным антителом тщательно отмывается и дополнительно инкубируется с раствором другого антитела (так называемым вторичным антителом, ВА), которое уже связано с флуоресцентным зондом. После отмывки препарата от растворов антител флуоресценция будет наблюдаться только от тех белков, с которыми связалось первичное антитело, а на нем – флуоресцентно-меченое вторичное антитело.

В настоящее время существует множество фирм, которые производят самые разные первичные и вторичные антитела, при этом, по запросу, они могут конъюгировать вторичные или первичные антитела с любыми флуоресцентными зондами. Самое главное – это правильно выбрать антитела и правильно провести окрашивание, чтобы избежать неизбирательного связывания первичных антител с “ненужными” белками или липидами. Получение первичных антител – более трудоемкая и дорогостоящая процедура, чем получение вторичных. Белок, к которому надо получить ПА, добавляют к В-лимфоцитам одного клона, полученному из крови так называемого животного-хозяина. Животным-хозяином могут быть мышь, кролик, альпака, морская свинка, осел, коза и др. В-лимфоциты в ответ на добавленный чужеродный белок синтезируют антитела, которые потом выделяются и очищаются. Это и есть первичные антитела. Следующая стадия – получить вторичные антитела на ПА. Для оптимизации их производства фирмы получают вторичные антитела не на конкретный белок-первичное антитело (слишком много разных ВА нужно было бы получить, учитывая самые разнообразные исследования), а на любые иммуноглобулины (антитела) того животного-хозяина, В-лимфоциты которого производили первичные антитела. Очень важно, чтобы вторичные антитела были получены от лимфоцитов животного не того вида, клетки или ткани которого исследуются при помощи иммунохимического окрашивания!

Представьте, что Вы работаете в лаборатории клеточной нейробиологии и исследуете особенности распределения белков в астроцитах – клетках глии, окружающих нейроны, обеспечивающих их питательными веществами и способствующих синаптической передаче между нейронами. Ваш объект – культура дифференцированных астроцитов мыши. Вам надо изучить распределение в плазматической мембране астроцитов двух ион-транспортных белков – глутаматного транспортера Glt-1 и Na/Ca-обменника NCX – и сопоставить их распределения друг с другом и с распределением цитоплазматического белка GFAP – глиального фибриллярного кислого белка. Таким образом, Вам надо окрасить культуру астроцитов первичными и вторичными антителами ко всем трем типам исследуемых белков. В каталоге биотехнологической фирмы Вы нашли следующие первичные и вторичные антитела:

Первичные антитела:

ПА-GFAP (первичные антитела к белку GFAP), полученные из лимфоцитов козы;

ПА-GFAP, полученные из лимфоцитов альпаки;

ПА-GFAP, полученные из лимфоцитов осла;

ПА-GFAP, полученные из лимфоцитов кролика.

ПА-GLT-1 (первичные антитела к глутаматному транспортеру), полученные из лимфоцитов козы;

ПА-GLT-1, полученные из лимфоцитов альпаки;

ПА-GLT-1, полученные из лимфоцитов морской свинки;

ПА-GLT-1, полученные из лимфоцитов кролика.

ПА-NCX (первичные антитела к Na/Ca-обменнику), полученные из лимфоцитов козы;

ПА-NCX (первичные антитела к Na/Ca-обменнику), полученные из лимфоцитов альпаки;

ПА-NCX (первичные антитела к Na/Ca-обменнику), полученные из лимфоцитов быка;

ПА-NCX (первичные антитела к Na/Ca-обменнику), полученные из лимфоцитов кролика.

Фирма продает следующие вторичные антитела:

ВА, полученные из лимфоцитов осла на иммуноглобулины козы,

ВА, полученные из лимфоцитов козы на иммуноглобулины мыши,

ВА, полученные из лимфоцитов альпаки на иммуноглобулины человека,

ВА, полученные из лимфоцитов альпаки на иммуноглобулины морской свинки,

ВА, полученные из лимфоцитов осла на иммуноглобулины альпаки,

ВА, полученные из лимфоцитов морской свинки на иммуноглобулины кролика,

ВА, полученные из лимфоцитов осла на иммуноглобулины кролика.

После того, как заказчик выбирает нужные ему первичные и вторичные антитела, фирма-производитель советует подходящие флуоресцентные зонды, чтобы конъюгировать их со вторичными антителами и сделать окрашивание исследуемого препарата всеми тремя парами антител и исследовать распределение в астроцитах белков GFAP, GLT-1, NCX.

1. Напишите пары первичных и вторичных антител, которые Вы выберете для того, чтобы обеспечить селективное связывание первичных антител с исследуемыми белками GFAP, GLT-1, NCX, а затем – селективное связывание вторичного антитела с первичным антителом. Помните, что каждое первичное антитело должно реагировать с белками одного типа: GFAP, GLT-1 или NCX, а вторичное антитело должно связываться только с одним из трех используемых антител. Обоснуйте Ваш выбор. **(6 баллов, по 2 балла за правильную пару).**
2. Как Вы считаете, как нужно подбирать флуоресцентные зонды, которые будут конъюгированы со вторичными антителами, чтобы на одной культуре астроцитов исследовать распределение белков GFAP, GLT-1, NCX в астроцитах? **(2 балла)**
3. В некоторых случаях антитела связывают с наночастицами. Как Вы думаете, для чего? **(1 балл)**
4. Какие еще применения антител в биомедицинских исследованиях Вы знаете? **(1 балл)**

Всего – 10 баллов

**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 9. Как покрасить клетки антителами?**

1. Правильных вариантов может быть несколько. Самое главное, что все первичные антитела должны быть получены из разных организмов, в противном случае вторичное антитело будет взаимодействовать с первичными антителами, связанными на разных белках-мишенях, в результате чего не будет селективного окрашивания. Вторичные антитела на разные первичные антитела могут быть получены и из лимфоцитов животного одного и того же вида.

Пары антител:

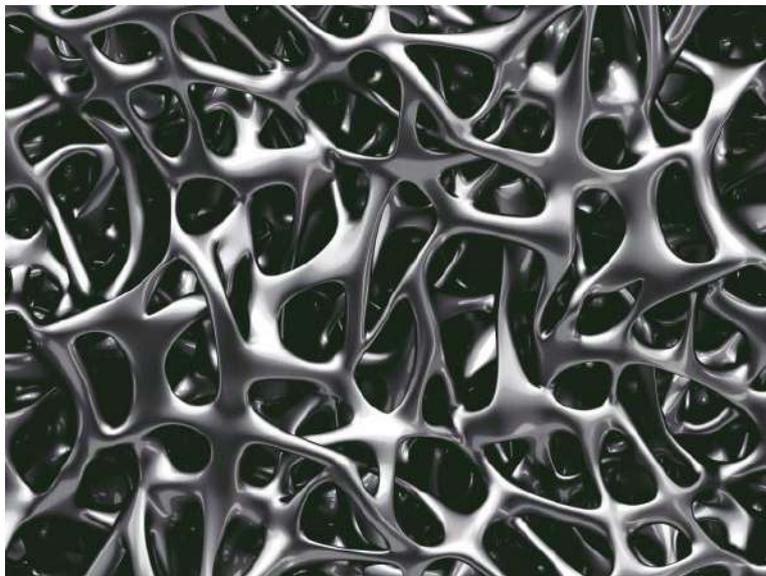
Для окрашивания белка GFAP: ПА-GFAP, полученные из лимфоцитов козы + вторичные антитела, полученные из лимфоцитов осла на иммуноглобулины козы.

Для окрашивания белка GLT-1: ПА-GLT-1, полученные из лимфоцитов альпаки + вторичные антитела, полученные из лимфоцитов осла на иммуноглобулины альпаки.

Для окрашивания белка NCX: ПА-NCX, полученные из лимфоцитов кролика + вторичные антитела, полученные из лимфоцитов осла на иммуноглобулины кролика ИЛИ ПА-NCX, полученные из лимфоцитов кролика + вторичные антитела, полученные из лимфоцитов морской свинки на иммуноглобулины кролика

2. Самое главное – то, что спектры флуоресценции флуоресцентных зондов не должны пересекаться. В идеале флуоресценция каждого из трех зондов должна возбуждаться своим лазером.
3. Иногда вторичные антитела конъюгируют с золотыми наночастицами, используя их в качестве “маркера” для визуализации распределения исследуемого белка, к которому подбираются первичные и вторичные антитела. Разрабатывают новые виды лекарственных противоопухолевых препаратов, основанных на гетерокомпонентных металлических наночастицах, связанных с антителами на рецепторы, количество которых увеличено на поверхности раковых клеток. Связывание рецепторов с антителами приводит к их интернализации совместно с наночастицами, которые нагреваются в переменном магнитном поле и разрушают опухолевые клетки.
4. Возможное применение – синтез “двойных антител”, связывающихся с белками на поверхности двух разных типов клеток и сближающих их. Например, с поверхностью Т-киллера и раковой клетки, ускоряя их взаимодействие и приводя к разрушению раковой клетки.

**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 10. НАНО-3 — материал будущего**



Нанотехнологи будущего разработали материал НАНО-3, благодаря которому стало возможно сращивание сломанных костей. Для этого, необходимо ввести наноматериал, содержащий микротрубочки, прямо в кость.

1. Какие есть структуры у костей и в чем их отличие друг от друга? В какие структуры кости может закачиваться НАНО-3? Каковы размеры этих костных структур (порядок величин, желательно указать точный диапазон)? Наноструктуры каких размеров могут поместиться в кости? **(4 балла)**
2. Что будет, если НАНО-3 полностью заполнит внутреннюю структуру костей? Пострадают ли при этом сосуды, а также ещё одна структура костей, отвечающая за кроветворение? Если эта структура будет повреждена, то какие кости нельзя заполнять НАНО-3? **(2 балла)**
3. Возможно ли использовать материал НАНО-3 для покрытия костей с внешней стороны? Будет ли это возможно при закачивании НАНО-3 внутрь кости? Если предположить, что такое покрытие возможно, то что будет с сосудами и системой кроветворения? **(2 балла)**

Всего – 8 баллов

**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 10. НАНО-3 — материал будущего**

1. Кости состоят из двух структур – компактного вещества, расположенное поверхностно, и **губчатое вещество**, лежащее внутри кости.

Компактное (другое название - плотное) вещество составляет наружный слой кости, отличается однородностью, твёрдостью, костные пластинки расположены плотно и упорядоченно. Наиболее развито в средней части трубчатых костей.

Губчатое вещество состоит из пластинок, пересекающихся в различных направлениях, образуя систему полостей и отверстий, которые в середине длинных костей сливаются в большую полость.

Можно предположить, что НАНО-3 закачивался в губчатое вещество костей. Размер пор в губчатом веществе костей составляет около 100 мкм. Нанотрубки имеют диаметр от десятых до нескольких десятков нанометров и длину от одного микрометра до нескольких сантиметров. Нанотрубки могли разместиться в порах таких размеров.

2. Красный костный мозг — это один из важных кроветворных органов человеческого организма, от состояния которого во многом зависит и иммунитет, сопротивляемость различным заболеваниям. В костном мозге вырабатываются клетки крови, которые затем будут циркулировать по всему организму. Любое нарушение работы костного мозга грозит отсутствием обновления крови, ведь выработка новых клеток и замена ими отмирающих, старых, может быть замедлена или существенно сокращена. Из-за этого кровь обедняется, и организм начинает страдать.

Костный мозг находится внутри тазовых костей, рёбер, грудины, костей черепа, внутри эпифизов и губчатого вещества эпифизов длинных трубчатых костей и внутри тел позвонков.

3. НАНО-3 закачивали внутрь костей, единственный способ его миграции на поверхность кости – через надкостницу, на поверхности которой находятся так называемые «питательные отверстия», через них внутрь кости входят питающие и кровеносные сосуды. Поэтому расположение НАНО-3 сверху кости, если его закачивали внутрь, невозможно.

При расположении НАНО-3 на поверхности кости будут закупорены питательные отверстия кости. Сосуды будут находиться в постоянном сжатом состоянии, это может препятствовать движению кровотока. Система кроветворения не пострадает, однако, выход новых клеток крови будет затруднен.

Примечание. Для получения максимального балла, требуется ответить на каждый вопрос с обоснованием. Ответы на п.2 и п.3 без объяснения будут оценены в 0.5 балла (например, ответ «да, пострадают» в п.2).



Математика для школьников

Комплекс предметов

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 заключительный тур желательно решить задачи не только по математике, но и по физике, биологии, химии, чтобы набрать больше баллов. Дополнительные баллы будут начислены за прохождение двух тестов: ["Нанотест - приглашение на Олимпиаду"](#) и ["Тест ЗНТШ"](#).

Задания

1. 2021 и фуллерены

Молекулы фуллеренов представляют собой выпуклые многогранники, имеющие только пяти- и шестиугольные грани, в каждой вершине которых сходится по 3 ребра. Воспользовавшись теоремой Эйлера для выпуклых многогранников, рассчитайте...

2. Спираль коронавируса

Вся наследственная информация вируса SARS-CoV-2 представляет собой единичную цепочку РНК. Внутри сферической оболочки вирусной частицы эта цепочка намотана (в двух направлениях – туда и обратно) на белковое веретено и «инкрустирована» белками в спиральный нуклеокапсид...

3. Полипептид как цепочка букв

Некоторый полипептид можно представить как последовательность, в которую в определенном порядке «конец-к-началу» связаны «буквы» аминокислотных остатков. Одна из распространенных задач при изучении полипептидов – установление их первичной структуры...

4. Каркасные молекулы нитрида бора

Нитрид бора B_xN_x способен образовывать двух- и трехмерные структуры, во всех

вершинах которых сходится по три ребра. При этом ребро всегда соединяет только разнородные атомы. «Выкройка» некоторых каркасных молекул B_xN_x может быть построена на сетке BN...

5. Нанопористое углеволокно

Композитное волокно, внутри которого в матрице полиакрилонитрила (PAN) расположены нити полистирола (PS), получается путем формования массы PAN с PS. При отжиге композитного волокна из матрицы удаляется полистирол, а сама она превращается в углерод...

6. Ошибка тест-системы

Один из способов выявить, болеет ли человек COVID-19 – это проведение ПЦР-теста, когда мазок, взятый у потенциального больного, анализируют на присутствие вирусного генома. Однако тесты могут ошибаться, давая как ложноположительные, так и ложно отрицательные результаты...

7. Поиск CRISPR в геноме E. Coli

Нобелевская премия по химии 2020 года была присуждена за развитие метода редактирования генома, базирующегося на использовании системы адаптивного иммунитета бактерий, направленной на борьбу с вирусами...

8. Супертетраэдр и Супертетраэдр Серпинского

Некоторые бинарные соединения M_aY_b , в структуре которых атом металла **M** имеет тетраэдрическое окружение из атомов **Y**, могут образовывать нанокластеры в форме супертетраэдров **T_n**. Число тетраэдров $MY_4(n)$, приходящееся на ребро **T_n**, называется поколением супертетраэдра...

9. Поиск простейших ПМК с шестиугольными и треугольными гранями

Рассмотрим полый металлический кластер (ПМК) в форме выпуклого многогранника **X**, грани которого являются равносторонними треугольниками и шестиугольниками, а в каждой вершине сходится по **y** ребер. Какие значения может принимать **y**?

10. Биметаллический кубоктаэдр

Для повышения каталитической активности часть атомов в структуре металлических нанокластеров **A** заменяется на атомы второго металла **B** таким образом, что между

любыми соседними атомами **В** расположен один атом **А**...



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 1. 2021 и фуллерены

Молекулы фуллеренов представляют собой выпуклые многогранники, имеющие только пяти- и шестиугольные грани, в каждой вершине которых сходится по 3 ребра.

Воспользовавшись теоремой Эйлера для выпуклых многогранников, рассчитайте, сколько вершин, ребер, пяти- и шестиугольных граней имеет фуллерен, у которого:

- а) число вершин V равно 2021,
- б) число ребер E равно 2021,
- в) число граней F равно 2021.

Всего – 6 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 1. 2021 и фуллерены

Обозначим V число вершин, тогда число ребер равно

$$E = 1,5V$$

(в каждой вершине сходится по 3 ребра, но каждое ребро принадлежит двум вершинам).

Общее число граней можно записать как

$$F = F_5 + F_6.$$

Выразим число вершин через число граней:

$$V = 5/3F_5 + 6/3F_6$$

(каждая пяти- (шестиугольная) грань дает 5 (6) вершин, но каждая вершина принадлежит трем граням).

Тогда число ребер

$$E = 1,5(5/3F_5 + 2F_6) = 2,5F_5 + 3F_6.$$

Запишем теорему Эйлера для выпуклых многогранников:

$$V + F - E = 2.$$

Таким образом,

$$5/3F_5 + 2F_6 + F_5 + F_6 - 2,5F_5 - 3F_6 = 2$$

$$\text{или } F_5 = 12.$$

То есть, любой многогранник, составленный из пяти- и шестиугольников, сходящихся в вершинах по три, всегда содержит строго 12 пятиугольников.

Тогда:

- число вершин фуллерена $V = 5/3 \cdot 12 + 2F_6 = 20 + 2F_6$,
- число ребер фуллерена $E = 2,5 \cdot 12 + 3F_6 = 30 + 3F_6$,
- число граней фуллерена $F = 12 + F_6$.

То есть, $V \geq 20$ и $V:2$, $E \geq 30$ и $E:3$, $F \geq 12$.

Рассмотрим число **2021**:

- оно нечетное (не делится на 2),
- сумма его чисел $2 + 0 + 2 + 1 = 5$ не делится на 3, то есть, 2021 не делится без остатка на 3,

Следовательно, фуллеренов, имеющих 2021 вершину либо 2021 ребро не существует.

Если число граней фуллерена составляет $F = 2021$, то

$$F_5 = 12,$$

$$F_6 = 2021 - 12 = 2009,$$

$$V = 20 + 2 \cdot 2009 = 4038,$$

$$E = 30 + 3 \cdot 2009 = 6057.$$



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 2. Спираль коронавируса

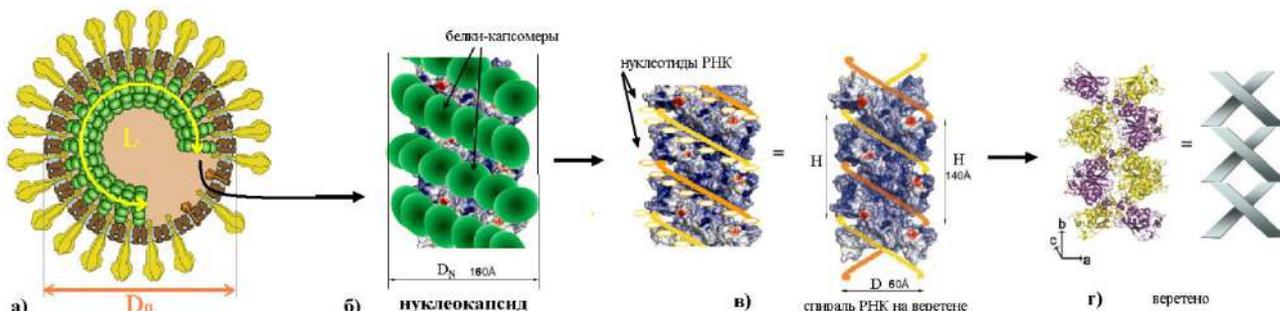


Рис. 1.

Вся наследственная информация вируса SARS-CoV-2 представляет собой единичную цепочку РНК. Внутри сферической оболочки вирусной частицы (рис. 1а) эта цепочка намотана (в двух направлениях – туда и обратно) на белковое веретено (рис. 1в, 1г) и «инкрустирована» белками в спиральный нуклеокапсид (рис. 1б).

Оцените число витков спирали РНК, длину нуклеокапсида SARS-CoV-2 **L (4 балла)**, а также диаметр вирусной частицы **D₀. (3 балла)**

Известно, что:

- нуклеокапсид занимает 60 % от объема вирусной частицы,
- цепочка РНК SARS-CoV-2, состоит примерно из 30000 букв-нуклеотидов,
- длина одного нуклеотида в цепочке РНК составляет 0,5 нм,
- диаметр РНК спирали на белковом веретене составляет **D = 6 нм**, шаг одной спирали составляет **H = 14 нм** (рис. 1в),
- диаметр нуклеокапсида составляет **D_N = 16 нм**.

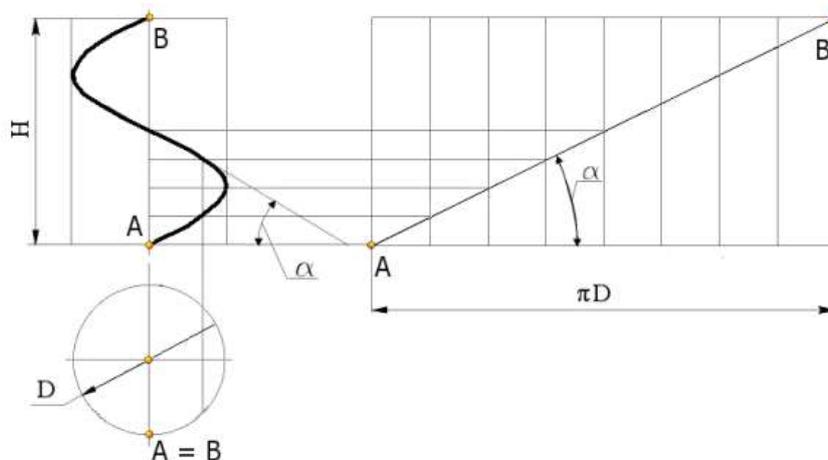


Рис. 2. Схематическое изображение спирали: **D** – диаметр, **H** – шаг, **α** – угол подъема спирали. При разворачивании цилиндра, на который «намотана» спираль, она изобразится в виде прямой. Длина отрезка **AB** называется длиной витка спирали.

Всего – 7 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 2. Спираль коронавируса

Согласно рис. 2 условия, длина одного витка спирали РНК составляет

$$AB = \sqrt{H^2 + (D \cdot \pi)^2} = \sqrt{14^2 + (6 \cdot 3,14)^2} = 23,5 \text{ нм.}$$

На один такой виток приходится

$$n = AB/l = 23,5/0,5 = 47 \text{ нуклеотидов.}$$

Тогда весь геном укладывается в

$$N/n = 30000/47 = 638,3 \text{ витков,}$$

то есть, неполных 639 витков,

но, поскольку спираль намотана на одно веретено «туда и назад», то длина нуклеокапсида составляет

$$L = 639/2 \cdot 14 = 4473 \text{ нм.}$$

Объем нуклеокапсида можно оценить как объем цилиндра длиной L и диаметром D_N :

$$V_N = \pi \frac{D_N^2}{4} L$$

Тогда, зная долю, которую нуклеокапсид занимает в объеме сферической частицы вируса, найдем диаметр этой частицы:

$$V_N = \omega V_0 = \omega \frac{4}{3} \pi \frac{D_0^3}{8}$$

Преобразуя полученное выражение, получаем

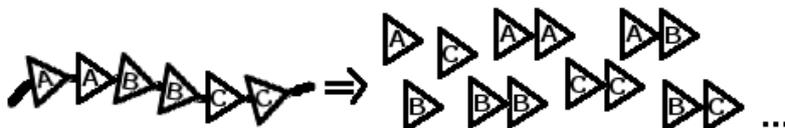
$$D_0^3 = 1,5 D_N^2 L / \omega$$

$$D_0 = \sqrt[3]{\frac{1,5 D_N^2 L}{\omega}} = \sqrt[3]{\frac{1,5 \cdot 16^2 \cdot 4473}{0,6}} = 142 \text{ нм.}$$



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 3. Полипептид как цепочка букв



Некоторый полипептид можно представить как последовательность, в которую в определенном порядке «конец-к-началу» связаны «буквы» аминокислотных остатков.

Одна из распространенных задач при изучении полипептидов – установление их первичной структуры, то есть, восстановление порядка «букв» исходной последовательности, по структуре фрагментов, образующихся при разрыве одной или нескольких связей между аминокислотными остатками.

1. Установите исходную последовательность «букв» в полипептиде **X** (**4 балла**), если известно, что:
 - а) при любом разрыве ровно половины связей между «буквами» так, чтобы разорванные связи чередовались с целыми, получается лишь пять двухбуквенных структур: FP, LF, OL, PV и VO. О какой структурной особенности полипептида это свидетельствует?
 - б) существуют некоторые варианты одновременного разрыва двух связей в пептиде, при каждом из которых получается по одному полипептиду длиной 5 букв.
2. Рассмотрим все возможные способы разрыва двух случайных связей в **X**.
 - а) Сколько таких способов существует? (**0,5 балла**)
 - б) Фрагменты какой длины можно получить таким образом? (**0,5 балла**)
 - в) Сколько вариантов структуры имеет каждый из фрагментов фиксированной длины? (**1 балл**)
 - г) Какова вероятность того, что в результате случайного разрыва двух связей получится фрагмент, описанный в пункте 1б? (**1 балл**)
3. Сколько разных структур фрагментов можно получить, разрезая исходный полипептид **X** всеми возможными способами? (**1 балл**)

Всего – 8 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 3. Полипептид как цепочка букв

1. Полипептид представляет собой кольцо из 10-ти «букв», в котором дважды повторяется последовательность [FPVOL]:
 - только кольцевой пептид с четным числом букв при разрывах связей через одну не дает однобуквенных фрагментов;
 - пары букв FP, LF, OL, PV, VO задают однозначную последовательность (L)[FPVOL](F);
 - при разрезании кольцевой последовательности в двух местах получить один единственный фрагмент можно только при условии, что кольцо разбивается на две одинаковых части. Поскольку такие половинки содержат по 5 букв, то кольцо состоит из 10 букв.
2.
 - а) Внести два разрыва в кольцо из десяти одинаковых «букв» можно пятью способами: 1+9, 2+8, 3+7, 4+6 и 5+5. В случае [FPVOL]₂ каждый из фрагментов заданной длины может стартовать с пяти разных «букв», то есть, общее число способов внести два разреза в полипептид **X** равно $5 \cdot 5 = 25$.
 - б) Разорвав две связи в кольцевом пептиде длиной десять «букв» случайным образом, можно получить фрагменты длиной: 1 и 9 «букв», 2 и 8 «букв», 3 и 7 «букв», 4 и 6 «букв», 5 и 5 «букв». То есть, применив к молекулам такого пептида все возможные способы разрыва двух связей, мы получим фрагменты длиной 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9 «букв».
 - в) Поскольку для полипептида [FPVOL]₂ каждый из фрагментов разной длины может стартовать с пяти разных «букв», то каждой длине отвечает по пять вариантов структуры.
 - г) Вероятность того, что в результате случайного разрыва двух связей получится фрагмент, описанный в пункте 1б, равна
$$P = 5/25 = 0,2.$$

(5 – число вариантов разрыва полипептида **X** на два фрагмента одинаковой длины, 25 – общее число вариантов разрыва двух связей, см. п. 2а)
3. Разрезая исходный пептид всеми возможными способами, мы можем получить фрагменты длиной 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 и 10 (один разрез в кольце) «букв», каждый из которых может стартовать с пяти разных «букв», то есть, общее число возможных структур фрагментов полипептида **X** равно $10 \cdot 5 = 50$.



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 4. Каркасные молекулы нитрида бора

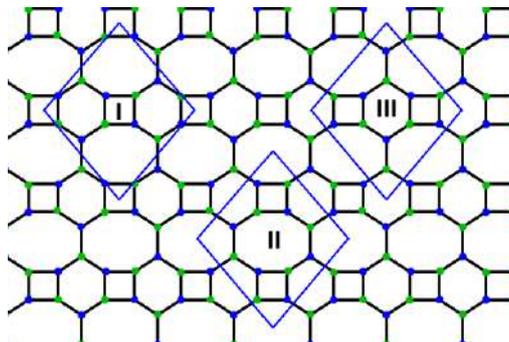


Рис. 1. Выбор базового ромба на двумерной сетке BN.

Нитрид бора B_xN_x способен образовывать двух- и трехмерные структуры, во всех вершинах которых сходится по три ребра. При этом ребро всегда соединяет только разнородные атомы. «Выкройка» некоторых каркасных молекул B_xN_x может быть построена на сетке BN, представленной на рис. 1. Базовым элементом такой «выкройки» выступает ромб, стороны которого являются единичными отрезками косоугольной системы координат.

1. Рассчитайте длину единичного отрезка **L**, если длина всех ребер двумерной сетки равна **a**, а четырех- и шестиугольники являются правильными. Чему равны углы между единичными отрезками? **(3 балла)**
2. Какой выпуклый многогранник **A** можно составить из базовых элементов? **(1 балл)** Какие из вариантов (I – III) расположения базового элемента позволяют получить «выкройку» B_xN_x ? Свой ответ обоснуйте. **(1,5 балла)**
3. На сетке, приведенной на рис.2, постройте «выкройку», отвечающую самой маленькой каркасной молекуле B_xN_x . Рассчитайте для нее величину **x**, число ребер, четырех-, шести- и восьмиугольников. **(2 балла)**
4. Увеличивая число (**n**) единичных отрезков, приходящихся на ребро многогранника **A**, можно получать каркасные молекулы B_xN_x разного размера. Выведите зависимость **x(n)**. **(0,5 балла)**

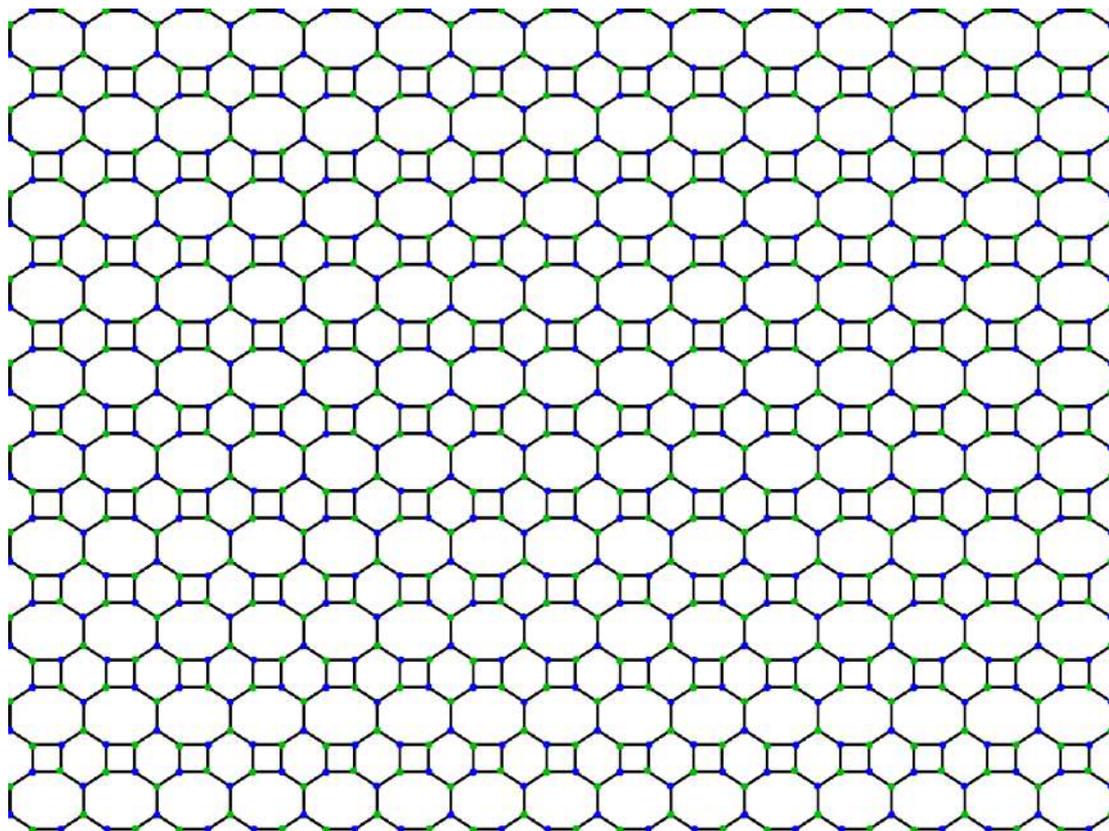


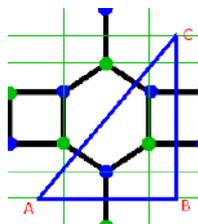
Рис. 2. Двухмерная сетка BN.

Всего – 8 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 4. Каркасные молекулы нитрида бора

1.



Для вычисления длины единичного отрезка, равной длине стороны базового ромба, рассмотрим $\triangle ABC$, отвечающий одной четверти этого ромба (на примере варианта II). Вершины этого треугольника лежат в центрах восьмиугольников.

Здесь $\angle ABC = 90^\circ$, поскольку стороны **AB** и **BC** параллельны взаимно перпендикулярным сторонам квадрата сетки B_xN_x .

При этом

$$AB = 0,5a + \sqrt{3}a + 0,5a$$

(две половинки ребра BN и малая диагональ правильного шестиугольника),

$$BC = 0,5a + 2a + 0,5a$$

(две половинки ребра BN и большая диагональ правильного шестиугольника).

Длину стороны **AC**, равную **L**, можно найти, используя теорему Пифагора для $\triangle ABC$:

$$L = AC = \sqrt{AB^2 + BC^2} = \sqrt{(0,5a + \sqrt{3} \cdot a + 0,5a)^2 + (0,5a + 2a + 0,5a)^2}$$

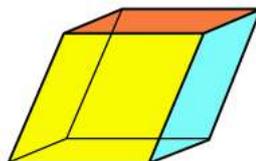
$$L = \sqrt{((1 + \sqrt{3}) \cdot a)^2 + 3a^2} = a\sqrt{13 + 2\sqrt{3}}$$

Углы между сторонами ромба равны удвоенным $\angle BAC$ и $\angle ACB$:

$$\alpha = 2\arcsin\left(\frac{BC}{AC}\right) = 2\arcsin\left(\frac{3a}{a\sqrt{13 + 2\sqrt{3}}}\right) = 95,35^\circ,$$

$$\beta = 2(90^\circ - \alpha/2) = 180^\circ - \alpha = 180^\circ - 95,35^\circ = 84,65^\circ.$$

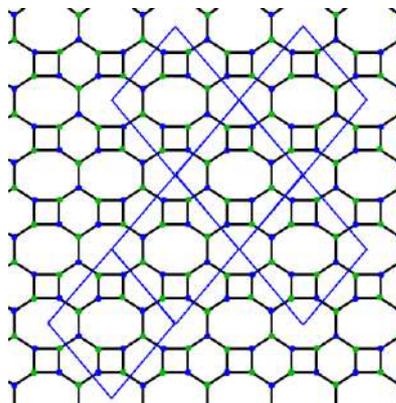
2. Многогранником, составленным из ромбов, является ромбоэдр (фигура из шести ромбов, сходящихся в каждой вершине по 3).



В двумерной сетке, формирующей лист B_xN_x , базовые ромбы сходятся в узлах по 4. Следовательно, чтобы сформировать двумерную «выкройку» трехмерного ромбоэдра, нам надо «убрать» из каждого узла один ромб. При этом только базовый ромб II при склейке «выкройки» может образовывать в ее «вершинах» многоугольники, составленные из ребер, соединяющих разнородные атомы.

«Выкройка», построенная на основе базового ромба I, подразумевает «склежку» фрагментов разнородных атомов, а базовый ромб III формирует каркас с пятиугольниками, в которых неизбежно будут соседствовать однородные атомы.

3.



Общее число:

- квадратов B_2N_2 (на один базовый ромб приходится два квадрата)

$$F_4 = 2 \cdot 6 = 12,$$

- восьмиугольников B_4N_4 (на один базовый ромб приходится один восьмиугольник)

$$F_8 = 1 \cdot 6 = 6,$$

- шестиугольников B_3N_3 (по одному шестиугольнику приходится как на каждое ребро ромбоэдра, так и на каждую вершину, образовавшуюся при «склежке» трех базовых ромбов)

$$F_6 = 1 \cdot 12 \text{ (число ребер ромбоэдра)} + 1 \cdot 8 \text{ (число вершин ромбоэдра)} = 20,$$

- вершин (суммарное число атомов В и N в каркасе)(на один базовый ромб приходится 6 атомов В и 6 атомов N)

$$V = (6 + 6) \cdot 6 = 72,$$

- ребер BN (на один базовый ромб приходится 14 целых ребер BN и 8 половинок ребер BN)

$$E = (14 + 8 \cdot 0,5) \cdot 6 = 108$$

$$\text{или } E = 3/2 \cdot 72 = 108$$

*(в каждой вершине сходится по три ребра,
каждое ребро принадлежит двум вершинам).*

Следовательно,

$$x = V/2 = 36.$$

4. Увеличение длины ребра ромбоэдра в n раз ведет к увеличению числа базовых ромбов, приходящихся на одну грань ромбоэдра, (а, следовательно, и числа вершин) в n^2 раз. Тогда:

$$x = 36n^2.$$



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 5. Нанопористое углеродное волокно

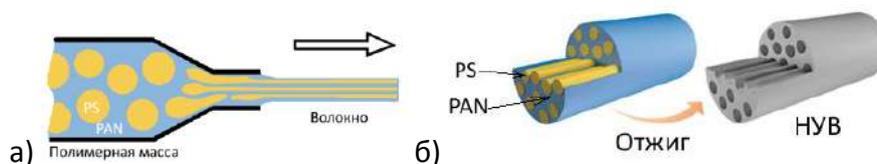


Рис. 1. а) Композитное волокно, внутри которого в матрице полиакрилонитрила (PAN) расположены нити полистирола (PS), получается путем формования массы PAN с PS. б) При отжиге композитного волокна из матрицы удаляется полистирол, а сама она превращается в углерод: получается нанопористое углеродное волокно (НУВ).

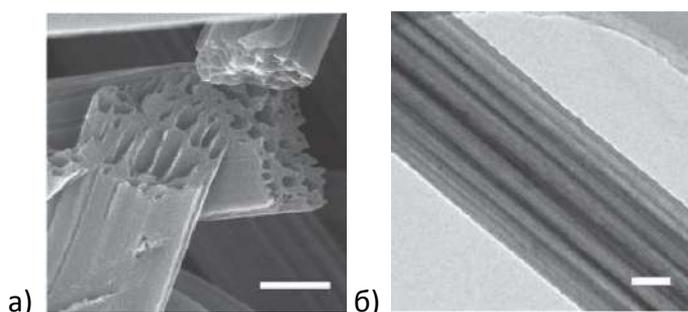


Рис. 2. Микрофотографии НУВ: а) скол волокна и б) вид «на просвет»; длина масштабного отрезка а) 300 нм, б) 150 нм.

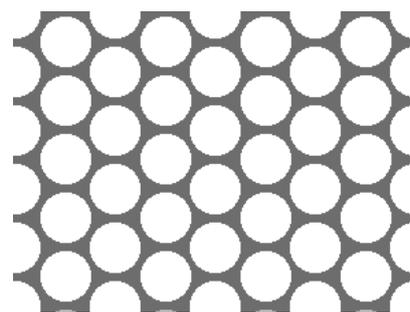


Рис. 3. Модель взаимного расположения пор в плоскости, перпендикулярной оси волокна.

Рассмотрим реально полученное НУВ (рис. 2), которое имеет следующие параметры:

- диаметр, равный $D = 600$ нм;
- расстояние между порами, равное $h = 7$ нм;
- плотность углерода, из которого состоит матрица НУВ, равную $\rho = 1,45$ г/см³;
- удельную площадь поверхности НУВ, равную $S_{уд} = 145$ м²/г.

Будем считать, что:

- волокно имеет форму цилиндра;
- все поры являются цилиндрами диаметром d , расположенными параллельно оси волокна;
- расположение пор друг относительно друга соответствует рис. 3.

1. Выведите формулы зависимости

- а) $S_{уд}$ от d, D, ρ (1,5 балла),
- б) доли пор в поперечном сечении волокна δ от h, d . (1,5 балла)

2. Рассчитайте возможные значения d для рассматриваемого НУВ. (3 балла)

3. Какое из полученных значений d отвечает микрофотографии реального НУВ (рис. 2)? (1 балл) Рассчитайте для него объемную долю пор в волокне ω . (1 балл)

Всего – 8 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 5. Нанопористое углеволокно

1.

а) Пусть длина отдельного волокна равна L , тогда его объем равен

$$V_1 = \pi D^2 L / 4, \quad (1)$$

а объем одной поры, длина которой L' в рамках упрощенной модели структуры НУВ равна длине всего волокна L , –

$$V_2 = \pi d^2 L / 4. \quad (2)$$

В то же время, площадь поверхности волокна составляет

$$S_1 = \pi D L \quad (3)$$

(при $L \gg D$ вклад площади торцов цилиндра можно не учитывать), а площадь поверхности поры, соответственно,

$$S_2 = \pi d L. \quad (4)$$

По определению, величина удельной площади поверхности равна отношению суммарной площади поверхности материала S к его массе m , которую, в свою очередь, можно записать через ρ и объем материала V :

$$S_{уд} = \frac{S}{m} = \frac{S}{\rho V} \quad (5)$$

Обозначим число пор в отдельном волокне как N .

Тогда, выразив S через N , (3) и (4) как сумму S_1 и площадей всех пор, а V – через N , (1) и (2) как разность V_1 и объема всех пор, $S_{уд}$ можно записать как

$$S_{уд} = \frac{S_1 + N S_2}{\rho(V_1 - N V_2)} = \frac{\pi D L + N \pi d L}{\rho(\pi D^2 L / 4 - N \pi d^2 L / 4)} = 4 \frac{D + N d}{\rho(D^2 - N d^2)}. \quad (6)$$

б) Считаем, что δ для НУВ диаметром D примерно совпадает с долей пор, отвечающей модели, приведенной на рис. 3 условия. Эта доля равна отношению площади пор, приходящейся на треугольник с центрами в трех ближайших порах, к площади такого треугольника:

$$\delta = \frac{3 \cdot (1/6) \cdot \pi d^2 / 4}{0,5 \cdot \sqrt{3} / 2 \cdot (d+h)^2} = \frac{\pi d^2}{2\sqrt{3}(d+h)^2}. \quad (7)$$

2. Из формулы (6) можно выразить N как

$$N = \frac{S_{уд} \rho D^2 - 4D}{S_{уд} \rho d^2 + 4d}. \quad (8)$$

В то же время, число пор в отдельном волокне можно оценить исходя из δ , а также площадей сечения отдельной поры и самого волокна:

$$N = \frac{\pi D^2 / 4}{\pi d^2 / 4} \cdot \delta = \frac{D^2}{d^2} \cdot \frac{\pi d^2}{2\sqrt{3}(d+h)^2} = \frac{\pi D^2}{2\sqrt{3}(d+h)^2}. \quad (9)$$

Приравнявая (8) к (9), и упрощая полученное выражение, получаем квадратное уравнение относительно d :

$$\frac{S_{уд}\rho D^2 - 4D}{S_{уд}\rho d^2 + 4d} = \frac{\pi D^2}{2\sqrt{3}(d+h)^2}, \quad (10.1)$$

$$(S_{уд}\rho D - 4) \cdot 2\sqrt{3}(d+h)^2 = \pi D \cdot (S_{уд}\rho d^2 + 4d), \quad (10.2)$$

$$2\sqrt{3}(S_{уд}\rho D - 4) \cdot (d^2 + 2dh + h^2) = \pi S_{уд}\rho D d^2 + 4\pi D d, \quad (10.3)$$

$$(2\sqrt{3}(S_{уд}\rho D - 4) - \pi S_{уд}\rho D) d^2 + (2\sqrt{3}(S_{уд}\rho D - 4)2h - 4\pi D) d + 2\sqrt{3}(S_{уд}\rho D - 4)h^2 = 0 \quad (10.4)$$

Для того, чтобы решить (10.4), запишем и вычислим его дискриминант:

$$\mathfrak{D} = [16(\sqrt{3}h(S_{уд}\rho D - 4) - \pi D)^2] - [8\sqrt{3}h^2(2\sqrt{3}(S_{уд}\rho D - 4) - \pi S_{уд}\rho D) \cdot (S_{уд}\rho D - 4)] \quad (11)$$

Дискриминант равен $\mathfrak{D} = 3,86 \cdot 10^{-13}$ (все линейные размеры выражены в метрах).

Тогда диаметр пор НУВ составляет

$$d = \frac{1,62 \cdot 10^{-6} \pm 2,62 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 26,83} \text{ м}, \quad (12)$$

$$d = 1,85 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 18,5 \text{ нм}$$

$$\text{или } d = 4,17 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 41,7 \text{ нм}.$$

3. Сопоставляя диаметр пор на рис. 2 условия с длиной бара на этих микрофотографиях, можно получить величины порядка 30 – 70 нм, следовательно, средний диаметр пор НУВ ближе к $d = 41,7$ нм, чем к $d = 18,5$ нм.

Поскольку $L' = L$, то объемная доля пор ω в волокне равна δ (см. (7)):

$$\omega = \delta = \frac{3,14 \cdot 41,7^2}{2\sqrt{3}(41,7 + 7)^2} = 0,665. \quad (13)$$



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 6. Ошибка тест-системы

Один из способов выявить, болеет ли человек COVID-19 – это проведение ПЦР-теста, когда мазок, взятый у потенциального больного, анализируют на присутствие вирусного генома.

Однако тесты могут ошибаться, давая как ложноположительные, так и ложно отрицательные результаты. Предварительные исследования некоторой тест-системы показали, что ее чувствительность¹ составляет 90 %, а специфичность² – 99 %.

1. Оцените, какова вероятность получить:

- а) ложноположительный (человек здоров, но тест показывает наличие вируса),
- б) ложноотрицательный (человек болен, но тест показывает отсутствие вируса)

результат при использовании тест-системы, если в данный момент болеет 5% жителей. **(6 баллов)**

2. Какова вероятность, что один и тот же здоровый человек получит два ложноположительных результата подряд? Исходы тестов считать независимыми. **(3 балла)**

¹ Чувствительность теста – процент больных людей, которые корректно определены тестом как больные.

² Специфичность теста – процент здоровых людей, которые корректно определены тестом как здоровые.

Всего – 9 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 6. Ошибка тест-системы

1. Предположим, что тестом **X** будут протестированы все жители.

Введем следующие обозначения:

- ω – доля больных среди жителей,
- N – общее число жителей,
- S – специфичность теста **X**,
- R – чувствительность теста **X**,
- D, D^+, D^- – общее число больных жителей и число больных жителей, которые могут получить положительный и отрицательный результат теста **X**, соответственно,
- H, H^+, H^- – общее число здоровых жителей и число здоровых жителей, которые могут получить положительный и отрицательный результат теста **X**, соответственно.

По определению,

$$S = H^-/H,$$

$$R = D^+/D.$$

Поскольку

$$D = N\omega$$

и $H = N - N\omega = N(1 - \omega),$

то

$$D^+ = RD = Rn\omega,$$

$$D^- = N\omega(1 - R),$$

$$H^- = SN(1 - \omega),$$

$$H^+ = N(1 - \omega)(1 - S).$$

а) Вероятность того, что при тестировании всех жителей тестом **X** здоровый житель получит ложноположительный результат равна отношению таких результатов к общему числу положительных результатов:

$$\delta_1 = H^+/(D^+ + H^+) = \frac{N(1 - \omega)(1 - S)}{RN\omega + N(1 - \omega)(1 - S)} = \frac{(1 - \omega)(1 - S)}{R\omega + (1 - \omega)(1 - S)}$$

$$\delta_1 = \frac{(1 - 0,05)(1 - 0,99)}{0,9 \cdot 0,05 + (1 - 0,05)(1 - 0,99)} = 0,174.$$

б) Вероятность того, что при тестировании всех жителей тестом **X** больной житель получит ложноотрицательный результат равна отношению таких результатов к общему числу отрицательных результатов:

$$\delta_2 = D^-/(D^- + H^-) = \frac{N\omega(1 - R)}{N\omega(1 - R) + SN(1 - \omega)} = \frac{\omega(1 - R)}{\omega(1 - R) + S(1 - \omega)}$$

$$\delta_2 = \frac{0,05(1 - 0,9)}{0,05(1 - 0,9) + 0,99(1 - 0,05)} = 0,005.$$

2. Среди людей, получивших положительный результат первого теста **X** (**N'** человек), доля больных составляет

$$\omega' = 1 - \delta_1 = 1 - 0,174 = 0,826.$$

Тогда вероятность того, что при двукратном тестировании всех жителей тестом **X** здоровый житель дважды получит ложноположительный результат равна:

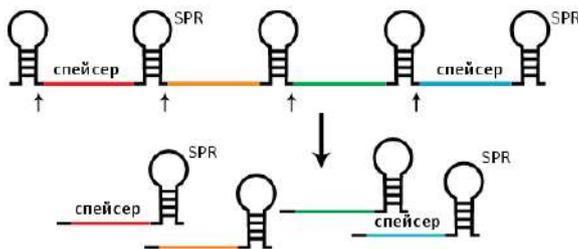
$$\delta_3 = H'^+ / (D'^+ + H'^+) = \frac{N'(1 - \omega')(1 - S)}{RN'\omega' + N'(1 - \omega')(1 - S)} = \frac{(1 - \omega')(1 - S)}{R\omega' + (1 - \omega')(1 - S)}$$

$$\delta_3 = \frac{(1 - 0,826)(1 - 0,99)}{0,9 \cdot 0,826 + (1 - 0,826)(1 - 0,99)} = 0,002.$$

Таким образом, получение повторного положительного ПЦР-теста с близкой к 100% вероятностью гарантирует, что человек болен COVID-19.



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 7. Поиск CRISPR в геноме *E. Coli*



Нобелевская премия по химии 2020 года была присуждена за развитие метода редактирования генома, базирующегося на использовании системы адаптивного иммунитета бактерий, направленной на борьбу с вирусами.

Основа этой системы – особые последовательности нуклеотидов¹ – короткие палиндромные² кластерные повторы или CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats), впервые обнаруженные в 1987 году в геноме бактерии кишечной палочки *Escherichia coli*. Короткие палиндромные повторы (SPR) в системе CRISPR отделены друг от друга так называемыми спейсерами – последовательностями нуклеотидов, являющихся фрагментами (до 80 нуклеотидов длиной) генома вирусов, с которыми бактерия сталкивалась ранее.

В тексте генома³ *E. Coli* найдите нуклеотидные последовательности, отвечающие

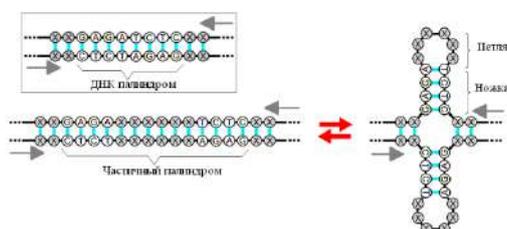
- а) SPR вида .GGTTTATCCCCGCT..CGCGGGGAAC.C (здесь точка обозначает, что на данной позиции может находиться любой символ) **(6 баллов)**
- б) и разделяющим их спейсерам **(5 баллов)**,

а также их длины и порядковые номера первых нуклеотидов этих последовательностей.

Для выполнения задания напишите программу (программы) (на любом языке программирования, к решению приложите исходный код), которая выполнит нужные действия и выведет на экран найденную информацию.

¹ Молекула ДНК состоит всего из четырех «букв»-нуклеотидов – **A, C, G, T**. «Буквы» ДНК из одной цепочки способны связываться попарно (**A ↔ T, G ↔ C**) с буквами из противоположной цепочки, называемой комплементарной.

² ДНК-палиндромом называется такая последовательность ДНК, прочтение которой совпадает с прочтением в обратном направлении по комплементарной цепочке. Например, последовательность **АТТА** – «обычный» палиндром, а последовательность **ААТТ** – ДНК-палиндром.



³ Бактерия *E. Coli* (кишечная палочка) является одним из удобных модельных организмов в биологии, а геном ее лабораторного штамма K-12 был расшифрован одним из первых. Для выполнения этого задания сохраните по ссылке <http://enanos.nanometer.ru/uploads/archive/ecoli.zip> со страницы задачи (~1,3 МВ) файл генома штамма K-12 *E.Coli*, который состоит из одной непрерывной строки, содержащей только буквы **A, G, T, C**.

Всего – 11 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 7. Поиск CRISPR в геноме *E. Coli*

Программа на языке Pascal

```
type
mas = array[1..100] of integer;

var
f: Text;
str, spr, subStr, spacer: String;
char: Char;
len, n, a, i: Longint;
sprList, spsList, spsLenList: mas;

begin
spr := '.GGTTTATCCCCGCT..CGCGGGGAAC.C';
len := length(spr);
writeln(spr, ' ', len);
writeln;

Assign(f, 'ecoli.txt');
Reset(f);
writeln('Position and SPR:');
{посимвольное чтение файла}
while (not Eof(f)) do {пока не достигнут конец файла}
begin
Read(f, char);
n := n + 1; {счетчик прочитанных нуклеотидов}
str := str + char; {добавляем прочитанный нуклеотид в строку}
if n >= len then
begin
if (length(str.MatchValue(spr, RegexOptions.None)) > 0) then
begin
a := a + 1;
sprList[a] := n - len + 1;
write(sprList[a]);
writeln(' ', str);
end;
str := copy(str, 2, length(str)); {отбрасываем первый символ str, чтобы
начало строки на следующем шаге приходилось на следующий нуклеотид}
end;
end;
Close(f);
writeln();
writeln('The total number of SPR: ', a);
writeln();

{рассчет номера позиций всех спейсеров, а также их длины}
for i := 2 to a do
begin
spsList[i] := sprList[i - 1] + len; {рассчет позиции спейсера}
spsLenList[i] := sprList[i] - sprList[i - 1] - len; {рассчет длины
спейсера}
end;

spsList[12] := 0;
spsLenList[12] := 0;

Reset(f);
n := 0;
```

```

{посимвольное считывание файла с целью формирования подстроки от первого
нуклеотида первого спейсера до последнего нуклеотида последнего}
while n < (sprList[a] - 1 + len) do {пока не достигнут конец последнего
SPR}
begin
Read(f, char);
n := n + 1;
subStr := subStr + char; {добавляем прочитанный нуклеотид в строку}
{ограничение длины считываемой подстроки}
if n > (sprList[a] - sprList[1] + len) then subStr := copy(subStr, 2,
length(subStr)); {удаление первого символа подстроки}
end;
Close(f);

writeln('Spacers:');

for i := 1 to a do
begin
if spsLenList[i] <> 0 then
begin
spacer := copy(subStr, (spsList[i] - sprList[1] + 1), spsLenList[i]);
{выделяем подстроку, отвечающую спейсеру}
writeln(i, ' ', spsList[i], ' ', spacer, ' ', length(spacer));
end
else writeln(i, ' - - 0');
end;
end.
    
```

Результат работы программы (вывод на экран):

.GGTTTATCCCCGCT..CGCGGGGAAC.C 29

Position and SPR:

```

2877823 CGGTTTATCCCCGCTAACGCGGGGAACTC
2877884 CGGTTTATCCCCGCTGGCGCGGGGAACTC
2877945 CGGTTTATCCCCGCTGGCGCGGGGAACTC
2878006 CGGTTTATCCCCGCTGGCGCGGGGAACTC
2878067 CGGTTTATCCCCGCTGGCGCGGGGAACTC
2878128 CGGTTTATCCCCGCTGGCGCGGGGAACTC
2878190 CGGTTTATCCCCGCTGGCGCGGGGAACTC
2878252 CGGTTTATCCCCGCTGGCGCGGGGAACTC
2878313 CGGTTTATCCCCGCTGGCGCGGGGAACTC
2878374 CGGTTTATCCCCGCTGGCGCGGGGAACTC
2878435 CGGTTTATCCCCGCTGGCGCGGGGAACTC
2904013 TGGTTTATCCCCGCTGGCGCGGGGAACTC
2904074 CGGTTTATCCCCGCTGGCGCGGGGAACAC
2904135 CGGTTTATCCCCGCTGGCGCGGGGAACAC
2904196 CGGTTTATCCCCGCTGGCGCGGGGAACAC
2904257 CGGTTTATCCCCGCTGGCGCGGGGAACAC
2904318 AGGTTTATCCCCGCTGGCGCGGGGAACAC
2904379 CGGTTTATCCCCGCTGGCGCGGGGAACAC
    
```

The total number of SPR: 18

Spacers:

```

1 - - 0
2 2877852 GTAGTCCATCATTCACSTATGTCTGAACTCC 32
3 2877913 CCGGGGGATAATGTTTACGGTCATGCCCCCC 32
4 2877974 TGGGCGGCTTGCCCTGCAGCCAGCTCCAGCAG 32
5 2878035 AAGCTGGCTGGCAATCTCTTTTCGGGTGAGTC 32
6 2878096 TAGTTTCCGTATCTCCGGATTTATAAAGCTGA 32
7 2878157 GCAGGCGGCGACGCGCAGGGTATGCGCGATTCG 33
8 2878219 GCGACCGCTCAGAAATTCAGACCCGATCCAAA 33
    
```

9 2878281 TCAACATTATCAATTACAACCGACAGGGAGCC 32
10 2878342 AGCGTGTTTCGGCATCACCTTTGGCTTCGGCTG 32
11 2878403 TGC GTGAGCGTATCGCCGCGCGTCTGCGAAAG 32
12 - - 0
13 2904042 GACAGAACGGCCTCAGTAGTCTCGTCAGGCTC 32
14 2904103 CTGTTTTTCGCAAATCTATGGACTATTGCTATT 32
15 2904164 GGGCGCACGGAATACAAAGCCGTGTATCTGCT 32
16 2904225 TGGCTCTGCAACAGCAGCACCCATGACCACGT 32
17 2904286 GAAATGCTGGTGAGCGTTAATGCCGCAAACAC 32
18 2904347 ATTACGCCTTTTTGCGATTGCCCGTTTTTGC 32



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 8. Супертетраэдр и Супертетраэдр Серпинского

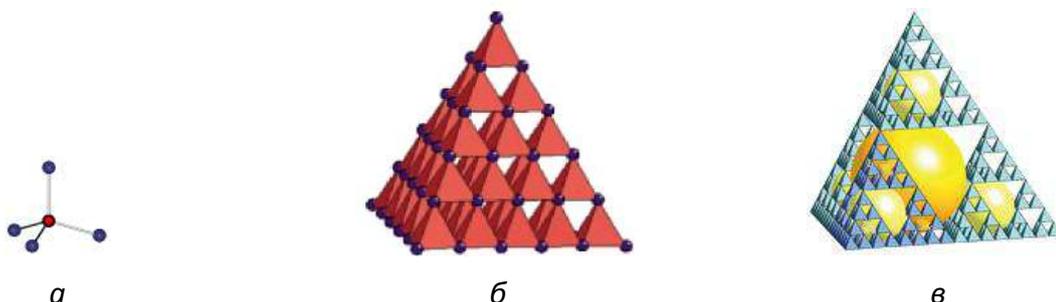


Рис. 1. а) Строение единичного тетраэдра MY_4 .

б) Пример сложенного из MY_4 супертетраэдра пятого поколения T_5 .

в) Пример сложенного из T_2 супертетраэдра Серпинского третьего поколения $S_3(T_2)$.

Некоторые бинарные соединения M_aY_b , в структуре которых атом металла M имеет тетраэдрическое окружение из атомов Y (рис. 1а), могут образовывать нанокластеры в форме супертетраэдров T_n (рис. 1б). Число тетраэдров MY_4 (n), приходящееся на ребро T_n , называется поколением супертетраэдра.

1. Найдите количество атомов M a_T и атомов Y b_T для

а) T_5 , (1,5 балла)

б) T_n . (3 балла)

Обратите внимание: в точках касания тетраэдры MY_4 имеют общие атомы Y .

Если взять четыре T_2 и из них, как из базовых фигур, сложить новый супертетраэдр второго поколения, а потом повторить операцию уже для этого супертетраэдра, и так несколько раз, то получится тетраэдрический кластер с фрактальной структурой (рис. 1в) – так называемый супертетраэдр Серпинского $S_m(T_2)$. Общее число этапов усложнения его структуры m называется поколением.

2. Найдите количество атомов M a_S и атомов Y b_S для

а) $S_3(T_2)$, (2 балла)

б) $S_m(T_2)$. (4 балла)

Полости в супертетраэдрах Серпинского можно использовать для хранения частиц-гостей.

3. Форму какого многогранника имеет центральная полость супертетраэдра Серпинского? (1,5 балла)

4. Рассчитайте размер нанокластера $S_2(T_2)$, а также максимальный диаметр сферической частицы, которая поместится в его полости, если расстояние между M и Y в MY_4 составляет $d = 0,24$ нм. Все атомы считать точечными. (3 балла)

Для решения задачи можно воспользоваться формулой n -го тетраэдрального числа

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

Всего – 15 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 8. Супертетраэдр и Супертетраэдр Серпинского

1. В супертетраэдре T_n атомы M расположены в форме тетраэдра, на ребро которого приходится n атомов, а атомы Y – в форме тетраэдра, на ребро которого приходится $(n + 1)$ атомов.

а) Для $n = 5$:

$$a_T(5) = Td_5 = 35,$$

$$b_T(5) = Td_6 = 56.$$

б) В n -ом поколении:

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

$$\text{и } b_T(n) = Td_{n+1} = ((n + 1)^3 + 3(n + 1)^2 + 2(n + 1))/6 = (n^3 + 6n^2 + 11n + 6)/6.$$

2. При переходе от поколения к поколению в $S_m(T_2)$ количество атомов M каждый раз увеличивается в 4 раза (исходя из принципов построения), следовательно,

$$a_S(m) = a_T(n) \cdot 4^m = a_T(2) \cdot 4^m = 4 \cdot 4^m = 4^{m+1}$$

$$\text{и } a_S(3) = 256.$$

В то же время, число атомов Y при переходе от поколения к поколению в S_m , с одной стороны, увеличивается в 4 раза, а с другой – необходимо учитывать, что в точках касания супертетраэдры имеют общие атомы Y , по одному на каждом из ребер S_m :

$$b_S(1) = b_T(2) \cdot 4 - 6 = b_T(2) \cdot 4 - 6 = 34.$$

Повторяя рассуждения, получаем

$$b_S(2) = b_S(1) \cdot 4 - 6 = (b_T(2) \cdot 4 - 6) \cdot 4 - 6 = 130$$

$$b_S(3) = 514$$

...

$$b_S(m) = b_T(2) \cdot 4^m - 6 \sum_{0}^m 4^{a-1} = b_T(2) \cdot 4^m - 6(4^m - 2)/3 = 4^m(10 - 2) + 2 = 8 \cdot 4^m + 2$$

или

$$b_S(m) = 2(a_S(m) + 1)$$

а) $a_S(3) = 256$ и $b_S(3) = 514$

б) $a_S(m) = 4^{m+1}$ и $b_S(m) = 8 \cdot 4^m + 2$

3. Центральная полость супертетраэдра Серпинского имеет форму октаэдра – многогранника, гранями которого являются 4 («окна» на гранях супертетраэдра Серпинского) + 4 (грани «базовых» супертетраэдров, «смотрящие» во внутрь супертетраэдра Серпинского) = 8 правильных треугольников.

4. Чтобы рассчитать размер нанокластера **S2(T2)**, необходимо найти расстояние между центрами атомов **Y(d₂)**, которое связано с **d** как ребро правильного тетраэдра с радиусом описанной вокруг него сферы:

$$d = \sqrt{6} d_2 / 4,$$

откуда

$$d_2 = 4 \cdot 0,24 / \sqrt{6} = 0,39 \text{ нм.}$$

Длина ребра нанокластера **S2(T2)**, исходя из принципа построения (число единичных тетраэдров, приходящееся на ребро супертетраэдра Серпинского, удваивается при переходе от поколения к поколению **Sm**), составляет

$$d_3 = 2 \cdot 2^2 d_2 = 3,12 \text{ нм.}$$

Тогда размер нанокластера как диаметр сферы, описанной вокруг тетраэдра **S2(T2)**, равен

$$D = \frac{\sqrt{6}}{2} d_3 = 4\sqrt{6} d_2 = 3,82 \text{ нм.}$$

Длина ребра октаэдра, являющегося внутренней полостью **S2(T2)**, равна (исходя из принципа построения) длине ребра нанокластера **S2(T1)**

$$d_4 = 2 \cdot 2^1 d_2 = 1,56 \text{ нм.}$$

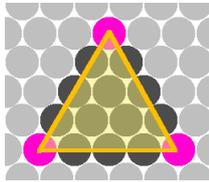
Тогда максимальный диаметр сферической частицы, которая поместится в полости нанокластера **S2(T2)**, равен диаметру сферы, вписанной в октаэдр с ребром **d₄**, и составляет

$$D_o = \frac{\sqrt{6}}{3} d_4 = 1,27 \text{ нм.}$$

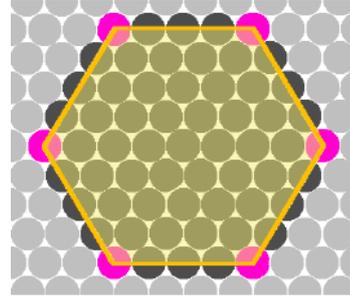


Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 9. Поиск простейших ПМК с шестиугольными и треугольными гранями



а



б

*Рис. 1. Примеры «выкройки» на листе металла отдельных граней кластера:
 а) треугольной, б) шестиугольной.*

На каждое ребро в данном примере приходится по $n = 5$ атомов металла.

Рассмотрим полый металлический кластер (ПМК) в форме выпуклого многогранника X , грани которого являются равносторонними треугольниками (рис. 1а) и шестиугольниками (рис. 1б), а в каждой вершине сходится по y ребер.

1. Какие значения может принимать y ? **(1 балл)**
2. Воспользовавшись теоремой Эйлера для выпуклых многогранников, для каждого y найдите многогранник Xy с минимальным числом вершин. Опишите, сколько вершин, ребер, треугольных и шестиугольных граней имеет каждый из найденных Xy . **(4 балла)** На схеме листа из атомов металла (рис. 2) постройте «выкройки» ПМК, отвечающие этим Xy , и назовите каждый из них. **(3 балла)**
3. Для каждого многогранника Xy выведите зависимость общего числа атомов металла $N(n)$. **(4 балла)** Рассчитайте $N(2)$ для каждого из них. **(1 балл)**

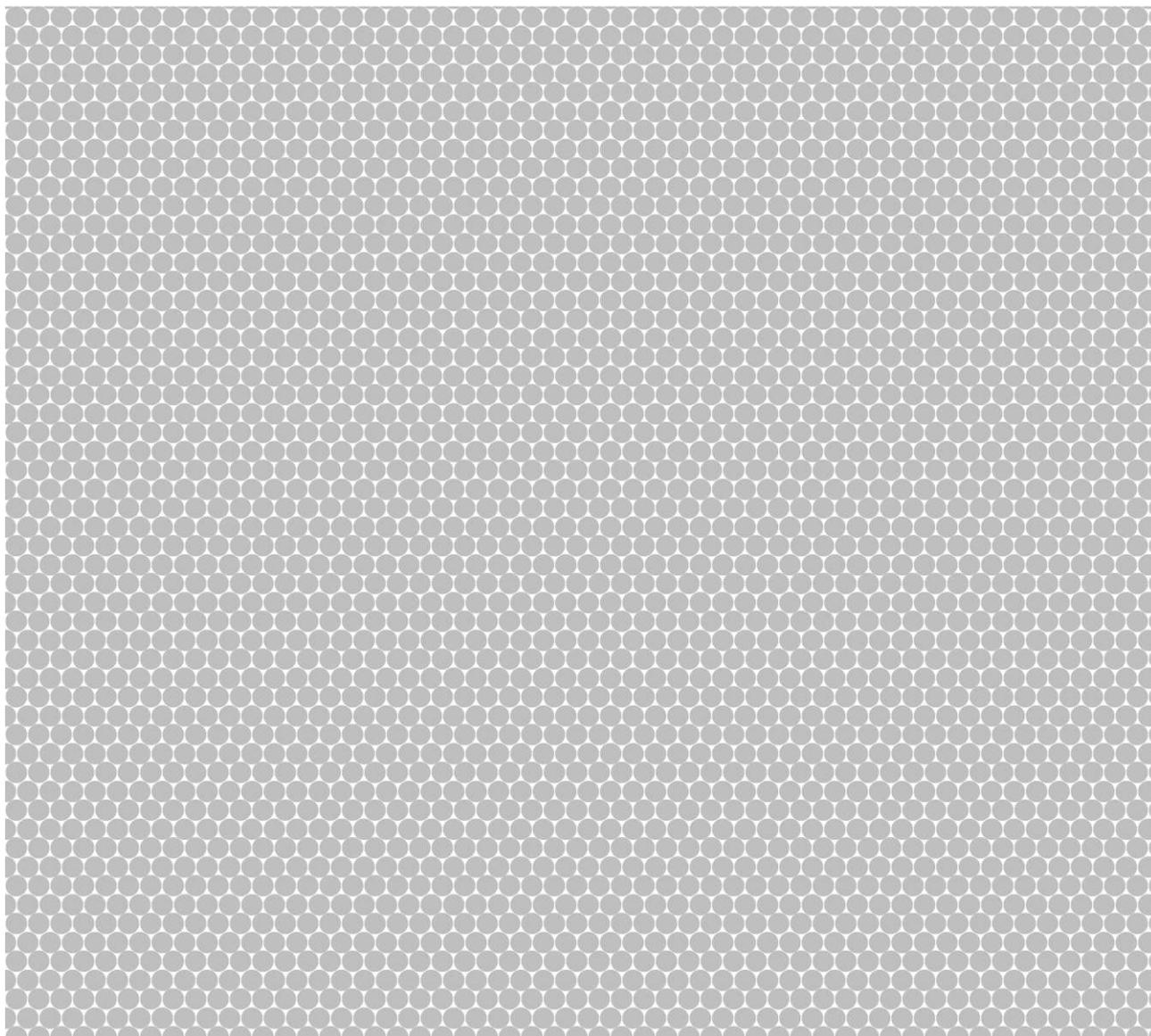


Рис. 2. Схема листа из атомов металла.

Всего – 13 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 9. Поиск простейших ПМК с шестиугольными и треугольными гранями

1. Исходя из двух условий: в каждой вершине многогранника сходятся не менее трех ребер и каждая вершина имеет не более пяти соседей (шесть соседей дают плоское окружение), следует, что возможны два типа вершин:

- в вершине сходятся 3 ребра: 3 соседа (три треугольника), 4 соседа (два треугольника и шестиугольник), 5 соседей (треугольник и два шестиугольника);
- в вершине сходятся 4 ребра: 4 соседа (четыре треугольника), 5 соседей (три треугольника и шестиугольник).

2.

а) Для $y = 3$:

Выразим число вершин через число граней (каждая треугольная (шестиугольная) грань дает 3 (6) вершин, но каждая вершина принадлежит трем граням):

$$V = 3/3F_3 + 6/3F_6 = F_3 + 2F_6$$

Выразим число ребер через число граней (каждая треугольная (шестиугольная) грань дает 3 (6) ребер, но каждое ребро принадлежит двум граням):

$$E = 3/2F_3 + 6/2F_6 = 1,5F_3 + 3F_6$$

Запишем теорему Эйлера:

$$F_3 + 2F_6 - 1,5F_3 - 3F_6 + F_3 + F_6 = 2$$

Преобразуя, получаем:

$$0,5F_3 = 2$$

То есть, число треугольников $F_3 = 4$ - фиксировано, F_6 может быть любым.

б) Аналогично, для $y = 4$ (в каждой вершине сходится по 4 ребра):

$$V = 3/4F_3 + 6/4F_6 = 0,75F_3 + 1,5F_6$$

$$E = 3/2F_3 + 6/2F_6 = 1,5F_3 + 3F_6$$

Запишем теорему Эйлера:

$$0,75F_3 + 1,5F_6 - 1,5F_3 - 3F_6 + F_3 + F_6 = 2$$

Преобразуя, получаем:

$$0,25F_3 - 0,5F_6 = 2$$

Следовательно, количества треугольников шестиугольников связаны как

$$F_3 = 2F_6 + 8.$$

Поскольку теорема Эйлера ничего не говорит о существовании многогранника, то, чтобы найти многогранник Xy с минимальным числом вершин, для каждого y

проварируем число шестиугольников и проверим возможность построения каждого из получаемых многогранников в виде ПМК без искажения треугольных и шестиугольных граней.

а) Для $y = 3$:

$$F_3 = 4$$

$F_6 = 1, V = 6, E = 9$ – многогранник не существует, поскольку все 6 вершин и 6 из 9 ребер уже принадлежат шестиугольнику, а еще где-то необходимо разместить 4 треугольных грани и 3 не принадлежащих шестиугольнику ребра.

$F_6 = 2, V = 8, E = 12$ – из развертки, отвечающей данному набору (F_3, F_6, V, E) и представленной на рис. 1, можно «склеить» только выпуклый многогранник, грани которого представляют собой правильные треугольники и трапеции (половинки правильных шестиугольников). То есть, удовлетворяющий условию многогранник не существует.

$F_6 = 3, V = 10, E = 15$ – из развертки, отвечающей данному набору (F_3, F_6, V, E) и представленной на рис. 2, можно «склеить» только выпуклый многогранник, грани которого представляют собой не только правильные, но и равнобедренные треугольники, а также прямоугольники, сформированные при отрезании от правильных шестиугольников равнобедренных треугольников по малым диагоналям. То есть, удовлетворяющий условию многогранник не существует.

$F_6 = 4, V = 12, E = 18$. X_3 – усеченный тетраэдр. См. рис. 3.

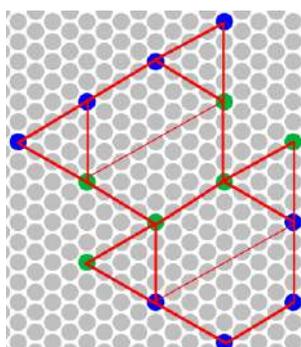


Рис. 1.

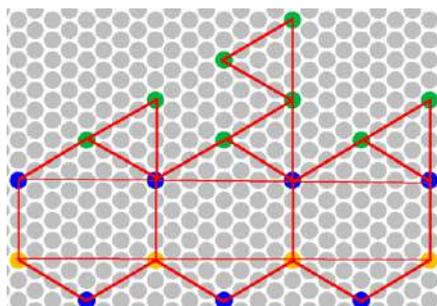


Рис. 2.

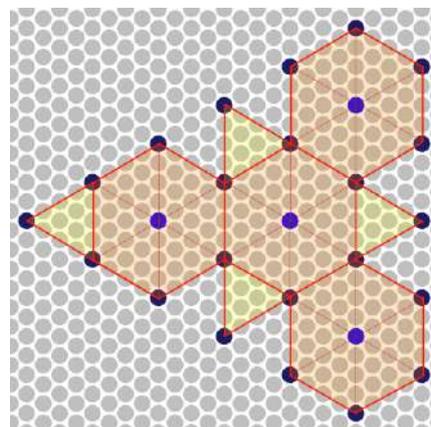


Рис. 3.

б) Для $y = 4$:

$F_6 = 1, F_3 = 10, V = 9, E = 18$ – из развертки, отвечающей данному набору (F_3, F_6, V, E) и представленной на рис. 4, невозможно «склеить» многогранник с 9-ю вершинами, в каждой из которых по сходятся по 4 ребра (только сочетание из 3, 4 и 5 ребер в вершинах). Кроме того, данную развертку невозможно «склеить» без искажения либо формы треугольников, либо планарности шестиугольника. То есть, удовлетворяющий условию многогранник не существует.

$F_6 = 2, F_3 = 12, V = 12, E = 24$. X_4 – шестиугольная антипризма. См. рис. 5.

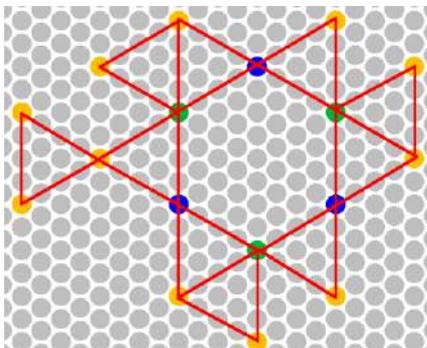


Рис. 4.

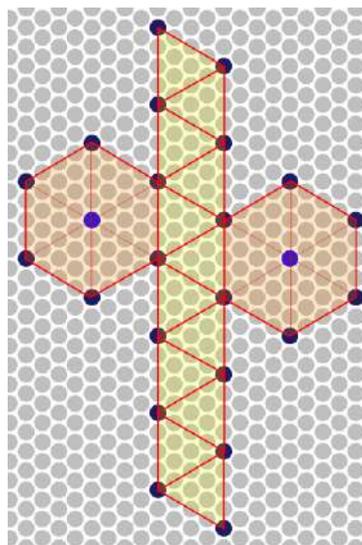


Рис. 5.

3. Представим всю поверхность ПМК как совокупность равносторонних треугольников, то есть каждую шестиугольную грань условно разобьем на 6 треугольников, сходящихся в одной «псевдовершине». Тогда суммарное число треугольных и таких «псевдотреугольных» граней будет равно

$$F' = F_3 + 6F_6,$$

суммарное число ребер и «псевдоребер» равно

$$E' = E + 6F_6 = 1,5F_3 + 3F_6 + 6F_6 = 1,5(F_3 + 6F_6) = 1,5F',$$

а суммарное число вершин и «псевдовершин» (из теоремы Эйлера для выпуклых многогранников) составляет

$$V' = 2 - F' + E' = 0,5F' + 2.$$

Если на одно ребро треугольной грани ПМК приходится n атомов металла, то на одну треугольную грань приходится

$$0,5n(n + 1) \text{ атомов.}$$

Тогда общее число атомов в ПМК можно будет записать как число атомов в F' гранях минус число атомов в E' ребрах плюс число атомов в V' вершинах

$$N(n) = 0,5F'n(n + 1) - 1,5F'n + 0,5F' + 2,$$

$$N(n) = 0,5F'n^2 - F'n + 0,5F' + 2.$$

- а) Тогда для X_3 – усеченного тетраэдра

$$F' = F_3 + 6F_6 = 4 + 6 \cdot 4 = 28,$$

$$N(n) = 14n^2 - 28n + 16,$$

$$N(2) = 16.$$

- б) Для X_4 – шестиугольной антипризмы

$$F' = F_3 + 6F_6 = 12 + 2 \cdot 6 = 24,$$

$$N(n) = 12n^2 - 24n + 14,$$

$$N(2) = 14.$$



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 10. Биметаллический кубookтаэдр

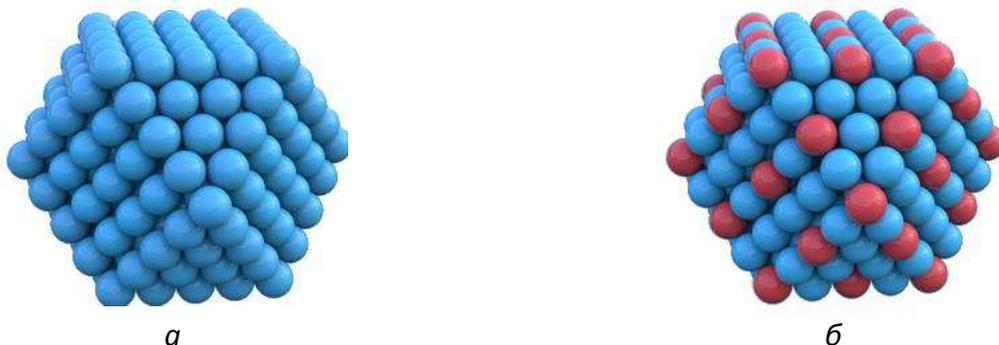


Рис. 1. Трехмерная модель нанокластера в форме кубookтаэдра¹, на ребро которого приходится 5 атомов металла:

а) нанокластер **A**; б) биметаллический нанокластер **A_xB_y** (голубой – **A**, красный – **B**).

Для повышения каталитической активности часть атомов в структуре металлических нанокластеров **A** (рис. 1а) заменяется на атомы второго металла **B** таким образом, что между любыми соседними атомами **B** расположен один атом **A** (рис. 1б).

Одним из параметров, определяющих каталитическую активность **A_xB_y**, является **δ** – отношение числа атомов **B**, расположенных на поверхности нанокластера, к общему числу атомов поверхностного слоя.

1. Какой атом находится в центре **A_xB_y**? **(0,5 балла)** Сколько атомов **B** находится в поверхностном слое **A_xB_y**, на ребро которого приходится:
 - а) 5 атомов? **(0,5 балла)**
 - б) **n = 2k** атомов? **(0,5 балла)**
 - в) **n = 2k + 1** атомов? **(1,5 балла)**

Здесь **k** – натуральное число.

2. Рассчитайте **δ** для **A_xB_y**, на ребро которого приходится:
 - а) 5 атомов; **(1 балл)**
 - б) **n** атомов; **(2 балла)**
 - в) бесконечно большое число атомов. **(2 балла)**
3. Чему равно соотношение **y:x** в нанокластере **A_xB_y**, на ребро которого приходится:
 - а) 5 атомов? **(1 балл)**
 - б) **n** атомов? **(3 балла)**
 - в) бесконечно большое число атомов? **(3 балла)**

¹Общее число атомов в нанокластере в форме кубookтаэдра составляет

$$N = (10n^3 - 15n^2 + 11n - 3)/3,$$

где **n** – число атомов, приходящееся на ребро кубookтаэдра.

Всего – 15 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 10. Биметаллический кубоктаэдр

1. В центре $A_x B_y$ находится атом **B**.

а) В слое с $n = 5$ атомы **B** расположены:

- в каждой из 12-ти вершин кубоктаэдра с ребром 5,
- по 1 на каждом из 24-х ребер (атомы в вершинах не считаем, они уже посчитаны),
- по 1 на каждой из 6-ти квадратных граней.

Всего $12 + 24 + 6 = 42$ атома **B**.

б) Поскольку пример, представленный на рисунке 1б, отвечает слою, в котором на ребро приходится $5 = 2 \cdot 2 + 1 = 2k + 1 (k \in \mathbb{N})$ – нечетное число атомов, то в слоях, на ребро которых приходится $2k$ атомов, **B** нет, поскольку любой из атомов этого слоя будет касаться хотя бы одного из атомов **B** соседнего слоя (выше или ниже лежащего).

Следовательно, в поверхностном слое, на ребро которого приходится $2k$ атомов, атомов **B** также нет, а в центре любого нанокластера $A_x B_y$ находится атом **B**.

в) На любую квадратную грань слоя, на ребро которого приходится $2k + 1$ атомов, приходится $n^2 = (2k + 1)^2$ атомов, из них $(k + 1)^2$ атомов – это атомы **B**, на любую треугольную его грань – $n(n + 1)/2$, из которых $(k + 1)(k + 2)/2$ являются **B**, соответственно.

Найдем зависимость числа атомов в поверхностном слое кубоктаэдра от числа атомов, приходящихся на его ребро:

$$M(n) = N(n) - N(n - 1)$$

$$M(n) = (10n^3 - 15n^2 + 11n - 3)/3 - (10(n - 1)^3 - 15(n - 1)^2 + 11(n - 1) - 3)/3$$

$$M(n) = (10n^3 - 15n^2 + 11n - 3)/3 - (10(n^3 - 3n^2 + 3n - 1) - 15(n^2 - 2n + 1) + 11(n - 1) - 3)/3$$

$$M(n) = (30n^2 - 60n + 36)/3$$

$$M(n) = 10n^2 - 20n + 12.$$

Необходимо отметить, что полученная формула справедлива только для $n \geq 2$.

То есть, если весь слой, на ребро которого приходится $2k + 1$ атомов, состоит из

$$M_{\text{all}}(2k + 1) = 10(2k + 1)^2 - 20(2k + 1) + 12 = 40k^2 + 2 \text{ атомов,}$$

то из них

$$M_{\text{B}}(k + 1) = 10(k + 1)^2 - 20(k + 1) + 12 = 10k^2 + 2$$

будут атомами **B**.

2.

- а) В слое с $n = 5$ общее число атомов в поверхностном слое равно

$$M_{\text{all}}(5) = N_{\text{all}}(5) - N_{\text{all}}(4) = 309 - 147 = 162,$$

число атомов **B**

$$M_{\text{B}}(3) = N_{\text{B}}(3) - N_{\text{B}}(2) = 55 - 13 = 42,$$

то есть, доля атомов **B** составляет

$$\delta(5) = 42/162 = 0,259.$$

- б) В слое с $n = 2k$ доля атомов **B** составляет $\delta = 0$.

В слое с $n = 2k + 1$

$$\delta = M_{\text{B}}(k + 1)/M_{\text{all}}(2k + 1)$$

$$\delta = (10k^2 + 2)/(40k^2 + 2) = (5k^2 + 1)/(20k^2 + 1)$$

Или, выражая через n ,

$$\delta = M_{\text{B}}(0,5n + 0,5)/M_{\text{all}}(n)$$

$$\delta = (10(0,5n + 0,5)^2 - 20(0,5n + 0,5) + 12)/(10n^2 - 20n + 12)$$

$$\delta = (2,5n^2 - 5n + 4,5)/(10n^2 - 20n + 12).$$

- в) В слое с $n = 2k$ при $n \rightarrow \infty \lim_{n \rightarrow \infty} \delta = 0$.

В слое с $n = 2k + 1$

$$\delta = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{5k^2 + 1}{20k^2 + 1} = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{5 + 1/k^2}{20 + 1/k^2} = 0,25.$$

или

$$\delta = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2,5n^2 - 5n + 4,5}{10n^2 - 20n + 12} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2,5 - 5/n + 4,5/n^2}{10 - 20/n + 12/n^2} = 0,25.$$

3.

- а) В кластере с $n = 5$

$$y = 1 \text{ (центральный атом)} + 12 \text{ (слой с } n = 3) + 42 \text{ (слой с } n = 5) = 55,$$

$$x = N_{\text{all}}(5) - y = 309 - 55 = 254,$$

тогда

$$y:x = 55:254 \approx 0,216.$$

- б) В кластере, на ребро которого приходится n атомов, рассмотрим два возможных случая.

В кластере с $n = 2k + 1$ атомы **B** формируют кубооктаэдр с ребром, на которое приходится $0,5n + 0,5$ атомов:

$$y = 1 + \sum_{m=2}^{(n+1)/2} M(m) = N_B(0,5n + 0,5),$$

$$y = (10(0,5n + 0,5)^3 - 15(0,5n + 0,5)^2 + 11(0,5n + 0,5) - 3)/3,$$

$$y = (1,25n^3 + 1,75n)/3.$$

Тогда атомов **A** в таком кластере

$$x = N_{\text{all}}(n) - N_B(0,5n + 0,5),$$

$$x = (10n^3 - 15n^2 + 11n - 3)/3 - (1,25n^3 + 1,75n)/3,$$

$$x = (8,75n^3 - 15n^2 + 9,25n - 3)/3,$$

и соотношение равно

$$y:x = \{(1,25n^3 + 1,75n)/3\}:\{(8,75n^3 - 15n^2 + 9,25n - 3)/3\}$$

$$y:x = (1,25n^3 + 1,75n)/(8,75n^3 - 15n^2 + 9,25n - 3)$$

$$y:x = (5n^3 + 7n)/(35n^3 - 60n^2 + 37n - 12)$$

В кластере с $n = 2k$ атомы **B** формируют кубооктаэдр с ребром, на которое приходится $0,5n$ атомов

$$y = 1 + \sum_{m=2}^{n/2} M(m) = N_B(0,5n),$$

$$y = (10(0,5n)^3 - 15(0,5n)^2 + 11 \cdot 0,5n - 3)/3,$$

$$y = (1,25n^3 - 3,75n^2 + 5,5n - 3)/3.$$

Тогда атомов **A** в таком кластере

$$x = N_{\text{all}}(n) - N_B(0,5n),$$

$$x = (10n^3 - 15n^2 + 11n - 3)/3 - (1,25n^3 - 3,75n^2 + 5,5n - 3)/3,$$

$$x = (8,75n^3 - 11,25n^2 + 5,5n)/3,$$

и соотношение равно

$$y:x = \{(1,25n^3 - 3,75n^2 + 5,5n - 3)/3\}:\{(8,75n^3 - 11,25n^2 + 5,5n)/3\}$$

$$y:x = (1,25n^3 - 3,75n^2 + 5,5n - 3)/(8,75n^3 - 11,25n^2 + 5,5n)$$

$$y:x = (5n^3 - 15n^2 + 22n - 12)/(35n^3 - 45n^2 + 22n)$$

в) В случае $n = 2k$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{y}{x} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{5n^3 - 15n^2 + 22n - 12}{35n^3 - 45n^2 + 22n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{5 - 15/n + 22/n^2 - 12/n^3}{35 - 45/n + 22/n^2} = 1/7 \approx 0,143.$$

В случае $n = 2k + 1$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{y}{x} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{5n^3 + 7n}{35n^3 - 60n^2 + 37n - 12} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{5 + 7/n^2}{35 - 60/n + 37/n^2 - 12/n^3} = 1/7 \approx 0,143.$$



Физика для школьников

Комплекс предметов

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 заключительный тур желательно решить задачи не только по физике, но и по математике, биологии, химии, чтобы набрать больше баллов. Дополнительные баллы будут начислены за прохождение двух тестов: ["Нанотест - приглашение на Олимпиаду"](#) и ["Тест ЗНТШ"](#).

Задания

1. Наночастицы для спинтроники

Спинтроника — одно из направлений квантовой электроники. Для целей изучения новых явлений спинтроники были получены полупроводниковые наностержни с магнитными наночастицами на основаниях. Каков будет характер движения наностержня...

2. Диэлектрики на службе у нанoeлектроники

Уменьшение размеров электрических схем достигло столь малых масштабов, что расстояние между пластинами конденсаторов составляет единицы нанометров. Это приводит к большим токам утечки. Решить эту проблему можно, заполнив пространство между пластинами диэлектриками...

3. Серебряные наночастицы

Через стеклянную кювету с водной дисперсией Ag наночастиц падает луч белого света. Прошедшее излучение регистрируется приемником излучения, в результате чего получают спектр поглощения. Оцените размер сферических наночастиц Ag в монодисперсии...

4. Золотые наночастицы

Две группы ученых получили две разные наноструктуры золота на кремниевых

подложках. Первая группа осадила слой золота средней толщиной $d = 10$ нм. Вторая получила наночастицы диаметром $D = 100$ нм на аналогичной подложке...

5. Нанопузырек

Для проведения ультразвуковых исследований и терапии используются различные усилители (сенсibilизаторы), такие как микропузырьки или наночастицы. При воздействии ультразвуковой волны в полупериоды разряжения жидкости (когда давление ниже стационарного)...

6. Канаты из нанотрубок

Механические характеристики углеродных нанотрубок настолько уникальны, что даже побудили исследователей вспомнить утопическую идею создания космического лифта, впервые предложенную К.Э. Циолковским в 1895 г...

7. Платиновый резистор

Одним из направлений развития современных технологий является миниатюризация конструируемых устройств. Довольно часто этому способствуют последние достижения в области нанотехнологий, поскольку наноразмерные объекты могут иметь уникальные физические свойства...

8. Флуоресцентная наноскопия

Одним из важных методов изучения биологических объектов является флуоресцентная микроскопия. В классическом исполнении она предполагает облучение образца светом и получение изображения в видимом диапазоне, которое формируется за счёт флуоресценции молекул...

9. QLED телевизор

Технология QLED TV подразумевает использование квантовых точек для улучшения цветопередачи телевизионного изображения, увеличения углов обзора и снижения общего энергопотребления телевизора. В стандартных ЖК-дисплеях каждый пиксель состоит...

10. Квантовый размерный эффект в кремниевых нанокристаллах

В основе явлений, наблюдаемых при переходе от объемных полупроводников к их наноструктурированным модификациям, лежит квантовый размерный эффект, который

закljučается в качественном изменении (квантовании) энергетического спектра носителей заряда...



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 1. Наночастицы для спинтроники

Спинтроника — одно из направлений квантовой электроники. Для целей изучения новых явлений спинтроники были получены полупроводниковые наностержни с магнитными наночастицами на основаниях (рис. 1).

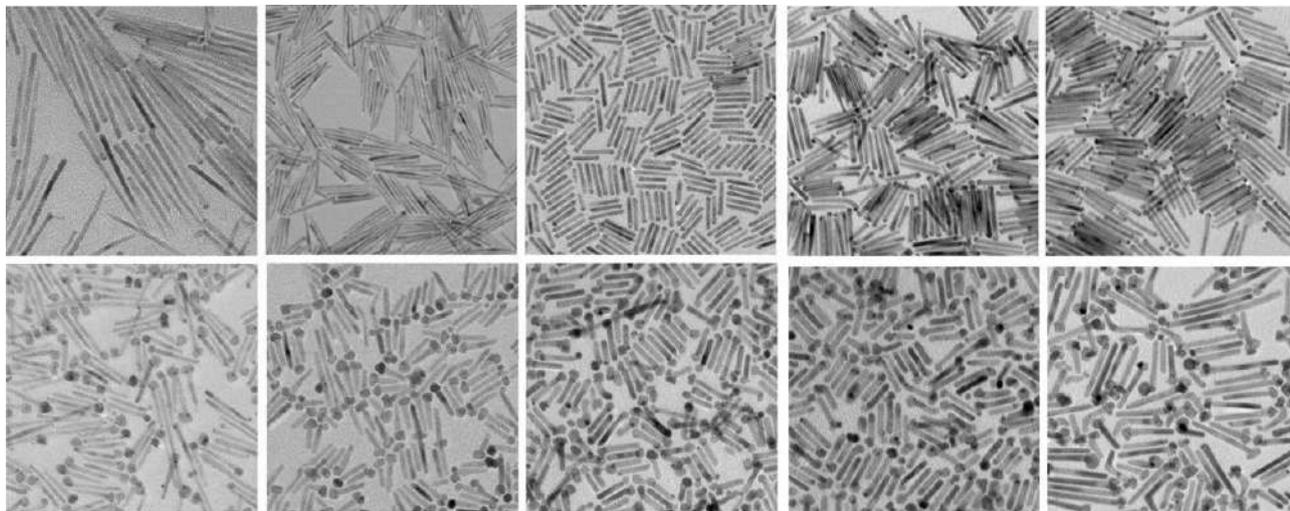


Рисунок 1. ПЭМ изображение магнитных наностержней.

<https://doi.org/10.1038/s41565-019-0606-8>

1. Каков будет характер движения наностержня, если он окажется в постоянном магнитном поле с индукцией \mathbf{B} , направленной перпендикулярно оси стержня? Магнитный момент частиц направлен вдоль оси стержня (см. рис. 2). (3 балла)
2. Оцените угловое ускорение стержня с наночастицами в начальный момент времени (вектор магнитной индукции $\mathbf{B} = 10^{-4}$ Тл перпендикулярен оси стержня). Магнитный момент наночастиц $\mu = 10^{-17}$ Дж/Тл. Высота цилиндрического стержня $h = 100$ нм, радиус основания $R = 4$ нм. Радиус сферических наночастиц $r = 3$ нм. Плотность полупроводника $\rho_1 = 7$ г/см³, плотность наночастиц $\rho_2 = 10$ г/см³. (5 баллов)
3. Как добиться вращения наностержня с наночастицами относительно оси, проходящей через середину и перпендикулярной оси стержня? (2 балла)

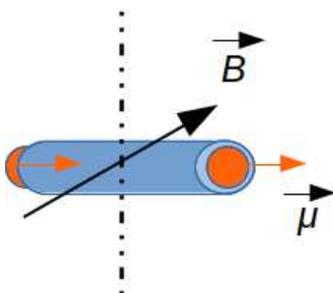


Рисунок 2. Схематическое изображение наностержня в магнитном поле.

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 1. Наночастицы для спинтроники

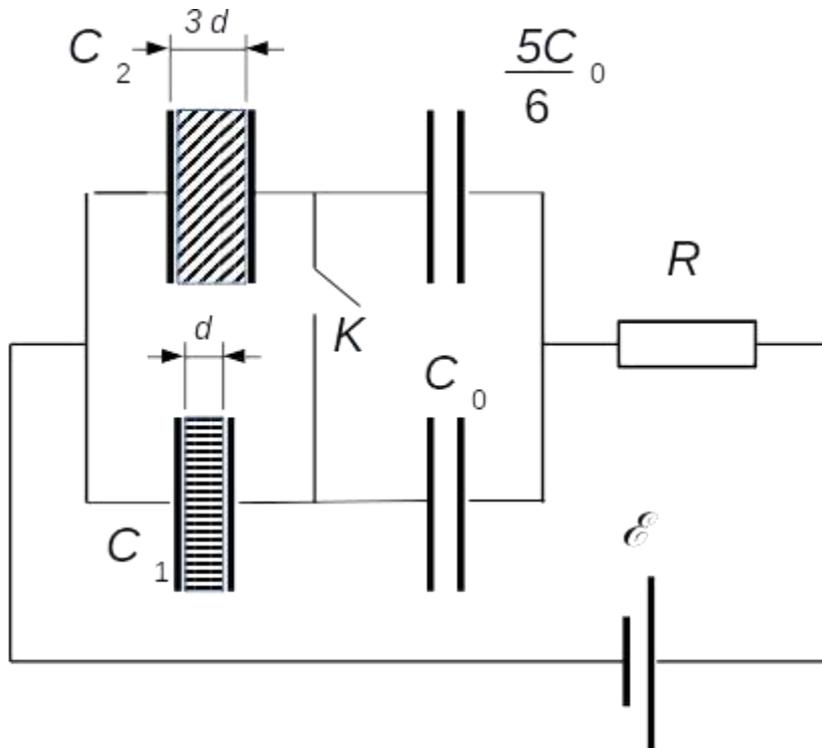
1. На магнитный диполь в постоянном магнитном поле действует момент сил, ориентирующий магнитный момент диполя по направлению приложенного поля \mathbf{B} . Если диполь прошел положение равновесия по инерции, то возникающий момент сил будет возвращать диполь обратно к положению равновесия. Поведение будет аналогично поведению стрелки компаса в магнитном поле или витку с током в магнитном поле.
2. Угловое ускорение можно найти из уравнения моментов: $I\beta = N$, где I — момент инерции, β — угловое ускорение, N — момент сил. В начальный момент сил $N = \mu B$, а момент инерции можно рассчитать, полагая стержень тонким, т. к. $h \gg R$, а наночастицы точечными массами, т. к. $h \gg r$. Момент инерции $I = \left(\frac{Ml^2}{12} + 2m\left(\frac{l}{2}\right)^2\right)$, где M — масса стержня, а m — масса наночастицы. Найдем массы: $M = \rho h \pi R^2 = 7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9} \text{ м} \cdot 3.14 \cdot (4 \cdot 10^{-9} \text{ м})^2 \approx 3.52 \cdot 10^{-20} \text{ кг} = \rho \frac{4}{3} \pi R^3 = 10 \cdot 10^3 \frac{\text{кг/м}^3 \cdot 4 \cdot 3.14}{3} \cdot (3 \cdot 10^{-9} \text{ м})^3 \approx 1.1 \cdot 10^{-21} \text{ кг}$. Таким образом, вклад в момент инерции стержня больше почти в 6 раз. В дальнейшем ограничимся вкладом стержня. Угловое ускорение: $\beta = \frac{\mu B}{I} = \frac{10^{-17} \text{ Дж/Тл} \cdot 10^{-4} \text{ Тл}}{\frac{3.5}{12} \cdot 10^{-20} \text{ кг} \cdot 10^{-14} \text{ м}} \approx 3 \cdot 10^{13} \text{ рад/с}^2$.
3. Для того чтобы магнитный диполь вращался вокруг оси, необходимо приложить переменное магнитное поле. Частота изменения магнитного поля не должна быть больше частоты собственных колебаний магнитного диполя, т. е. действие момента сил за время движения к положению равновесия должно иметь один знак, иначе магнитный диполь будет колебаться возле одного положения. Из пункта 2 следует, что стержень повернется за $T/4$ на угол $\pi/2$ за время не менее чем $t = \sqrt{\frac{\pi}{\beta}} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ с}$ (оценка следует из предположения о равноускоренном движении). Таким образом частота не должна превышать $\nu = \frac{1}{T} \approx 10^6 \text{ Гц}$.



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 2. Диэлектрики на службе у нанoeлектроники

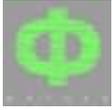
Уменьшение размеров электрических схем достигло столь малых масштабов, что расстояние между пластинами конденсаторов составляет единицы нанометров. Это приводит к большим токам утечки. Решить эту проблему можно, заполнив пространство между пластинами диэлектриками с большим значением диэлектрической проницаемости.

В схеме, изображенной на рисунке ниже, ключ K изначально разомкнут и все конденсаторы заряжены. Ёмкость конденсатора $C_2 = C_0/6$, расстояние между обкладками C_1 $d = 2$ нм, а расстояние между обкладками C_2 $d = 6$ нм. Площади пластин всех конденсаторов одинаковы. В конденсаторе C_1 пространство между обкладками заполнено SiO_2 ($\epsilon_1 = 4$), а в конденсаторе C_2 использован материал с высокой диэлектрической проницаемостью – HfO_2 ($\epsilon_2 = 24$). Ёмкость $C_0 = 90$ нФ. В некоторый момент времени ключ K замыкают.



1. Найдите ёмкость C_1 (3 балла)
2. Найти количество теплоты, выделившееся на резисторе после замыкания ключа. $\mathcal{E} = 2$ В. (7 баллов)

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 2. Диэлектрики на службе у нанозлектроники

1. Найдем ёмкость C_1

$$C_1 = C_2 \frac{\varepsilon_1 d_2}{\varepsilon_2 d_1} = \frac{4 \cdot 6 \text{ нм} \cdot C_0}{24 \cdot 2 \text{ нм} \cdot 6} = \frac{C_0}{12} = 7,5 \text{ нФ.}$$

2. До замыкания ключа общую ёмкость найдем следующим образом: сперва посчитаем приведенную емкость последовательно включенных $C_0/6$ и $5C_0/6$:

$$C_{23} = \frac{C_0 \cdot 5C_0}{36C_0}.$$

Далее аналогично найдем приведенные емкости последовательно включенных $C_0/12$ и C_0

$$C_{14} = \frac{C_0}{13}.$$

Их сумма даст

$$C_{\text{до}} = \frac{101C_0}{468},$$

т. к. они включены параллельно.

После замыкания: сначала находим суммы параллельно включенных $C_0/6$ и $C_0/12$, что даст

$$\frac{C_0}{6} + \frac{C_0}{12} = \frac{C_0}{4}.$$

Аналогично, для второго параллельного участка:

$$\frac{5C_0}{6} + \frac{C_0}{1} = \frac{11C_0}{6}.$$

Далее найдем приведенную емкость:

$$C_{\text{после}} = \frac{11C_0}{50}.$$

Выделившуюся теплоту Q найдем из закона изменения энергии:

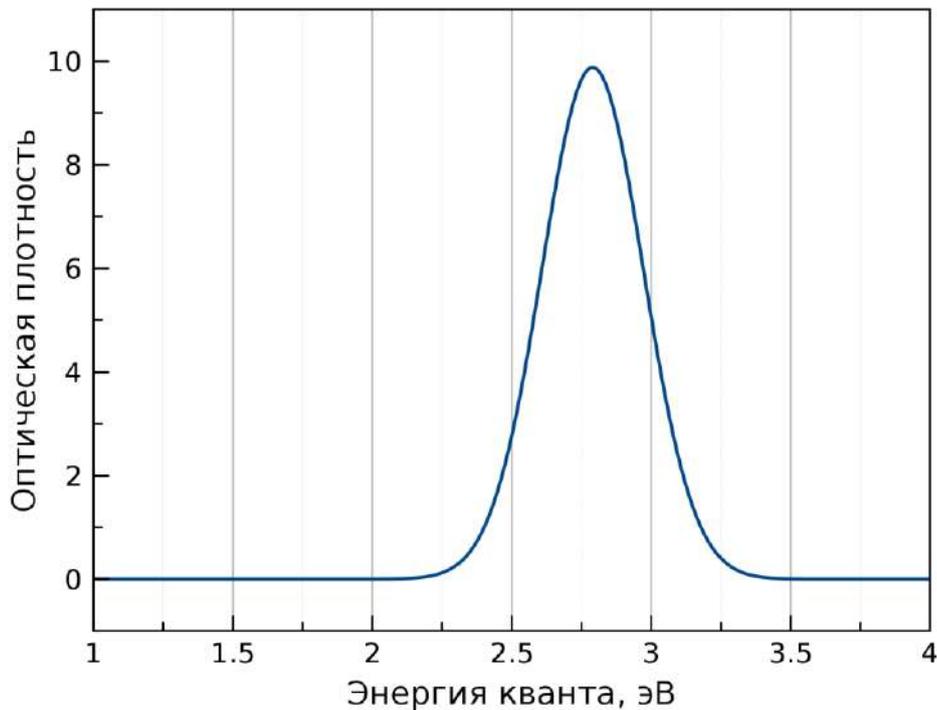
$$\Delta q\mathcal{E} = \Delta W + Q$$

$$Q = \frac{\Delta q\mathcal{E}}{2} = \frac{\Delta C\mathcal{E}^2}{2} = \frac{49C_0\mathcal{E}^2}{11700 \cdot 2} = \frac{49}{65} \text{ нДж} \approx 7,5 \cdot 10^{-10} \text{ Дж.}$$



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 3. Серебряные наночастицы

Через стеклянную кювету с водной дисперсией Ag наночастиц падает луч белого света. Прошедшее излучение регистрируется приемником излучения, в результате чего получают спектр поглощения (см. рисунок).



1. Оцените размер сферических наночастиц Ag в монодисперсии, если известно, что концентрация наночастиц $C = 0,02$ мг/мл, а удельное количество частиц $N = 3,6 \cdot 10^{12}$ мл⁻¹. **(2 балла)**
2. Пользуясь спектром поглощения, определите, какого цвета будет водная дисперсия? Каким явлением может быть объяснен пик в приведенном спектре? **(4 балла)**
3. Каким будет цвет Ag пластинки площадью $S = 100$ мм², которая получается сплавлением всех выделенных из дисперсии наночастиц? Объем дисперсии $V = 10$ мл. Как будет выглядеть спектр поглощения? **(4 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 3. Серебряные наночастицы

1. Масса одной наночастицы

$$m_0 = \frac{C}{N} = \frac{0.02 \text{ мг/мл}}{3.6 \cdot 10^{12} \text{ 1/мл}} \approx 5.6 \cdot 10^{-15} \text{ мг} = 5.6 \cdot 10^{-21} \text{ кг.}$$

Полагая частицу шарообразной:

$$m_0 = \rho \frac{4\pi r^3}{3},$$

находим радиус

$$r = \sqrt[3]{\frac{3m_0}{4\pi\rho}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 5.6 \cdot 10^{-21} \text{ кг}}{4 \cdot 3.14 \cdot 10.5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3}} \approx 0.5 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 5 \text{ нм.}$$

2. Максимум находится приблизительно при значении энергии $E = 2.8$ эВ, что соответствует длине волны

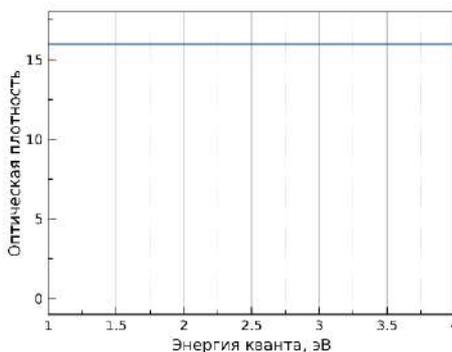
$$\lambda = \frac{h \cdot c}{e \cdot E} = \frac{6.6 \cdot 10^{-34} \text{ Джс} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 2.8 \text{ эВ}} \approx 442 \text{ нм}$$

(где h — постоянная Планка, c — скорость света, e — элементарный заряд). Максимум приходится на фиолетовую часть спектра, т. е. при прохождении света через кювету поглощается фиолетовый и часть синего диапазона видимого света. Поэтому проходящий свет имеет оранжево-желтый оттенок. Такая зависимость поглощения света (с наличием узкого пика) объясняется проявлением локализованного поверхностного плазмонного резонанса.

3. Если выделить все наночастицы и сплавить их, то получится кусочек серебра массой: $M = CV = 0.02 \text{ мг/мл} \cdot 10 \text{ мл} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ г}$. Если известна площадь, то толщину пластинки можно найти:

$$d = \frac{V}{S} = \frac{m}{\rho S} = \frac{2 \cdot 10^{-4} \text{ г}}{10.5 \text{ г/см}^3 \cdot 1 \text{ см}^2} \approx 1.9 \cdot 10^{-5} \text{ см} = 190 \text{ нм.}$$

Взяв из справочников коэффициент поглощения для объемного серебра $\alpha = 8.3 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$, можно оценить оптическую плотность $\alpha d \approx 16$. Это означает, что свет всего видимого диапазона уже не будет проходить через такую серебряную пластинку, и она уже будет иметь характерный серебристый оттенок. Спектр можно изобразить следующим образом:





Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 4. Золотые наночастицы

Две группы ученых получили две разные наноструктуры золота на кремниевых подложках. Первая группа осадила слой золота средней толщиной $d = 10$ нм (рис. 1). Вторая получила наночастицы диаметром $D = 100$ нм на аналогичной подложке (рис. 2).

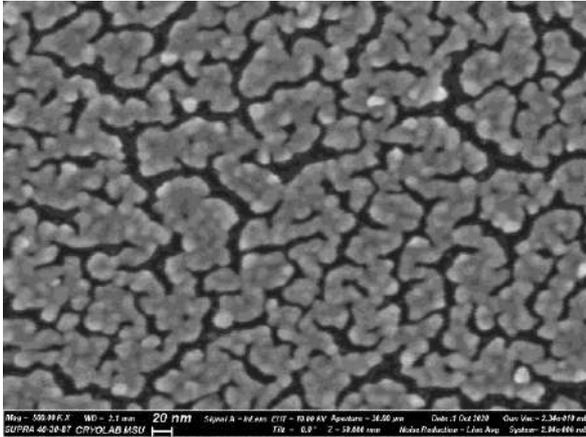


Рис. 1. Снимок первой группы

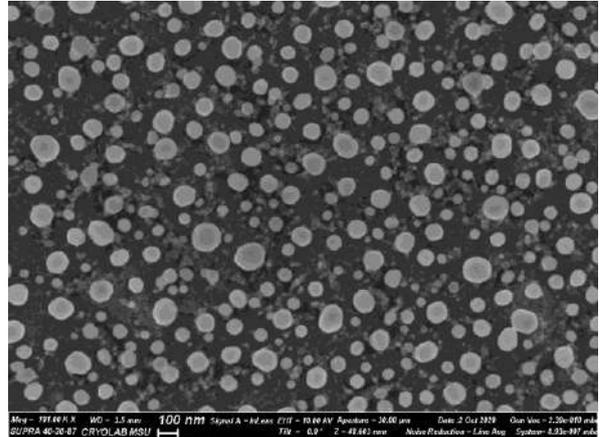


Рис. 2. Снимок второй группы

1. Для чего могут использоваться такие структуры? (2 балла)
2. Будем считать для простоты, что все наночастицы имеют одинаковый диаметр, и обе группы потратили одинаковое количества золота на 1 см^2 . Найдите поверхностную концентрацию наночастиц на правом рисунке. (8 баллов)

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 4. Золотые наночастицы

1. Структуры могут использоваться для многих целей, например, в качестве сенсоров на какие-либо молекулы, которые используют плазмонные эффекты.
2. Примем исходную концентрацию за C (очевидно, она измеряется в см^{-2}). Тогда масса золотых наночастиц M на площади S будет равна массе золотого слоя толщины d :

$$M = \frac{4}{3}\pi r^3 CS = dS \quad (1)$$

Отсюда

$$C = \frac{3d}{4\pi r^3} = \frac{30 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 3.14 \cdot 50^3 \cdot 10^{-27}} = 2 \cdot 10^{13} \text{м}^{-2} = 2 \cdot 10^9 \text{см}^{-2} \quad (2)$$



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

Для проведения ультразвуковых исследований и терапии используются различные усилители (сенсibilизаторы), такие как микропузырьки или наночастицы. При воздействии ультразвуковой волны в полупериоды разрежения жидкости (когда давление ниже стационарного) они играют роль зародышей кавитации, что обеспечивает и уничтожение раковых клеток, и контраст на УЗИ изображениях. Рассмотрим наночастицу с порами радиусом $r = 15$ нм, которые заполнены воздухом.



1. В чем заключается явление ультразвуковой кавитации? **(1 балл)**
2. Какие бывают виды ультразвуковой кавитации? **(2 балла)**
3. Достаточно ли давления в ультразвуковой волне, $\Delta P = 2$ атм, чтобы пузырек воздуха вылез из нанопоры, образуя выступающую полусферу? **(7 баллов)**

Коэффициент поверхностного натяжения вода-воздух считайте равным $\sigma = 72$ мН/м, угол смачивания = 90° .

Всего – 10 баллов



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

1. Кавитация — возникновение пузырьков газа в жидкости при ультразвуковом воздействии в областях пониженного давления.
2. Различают инерционную и неинерционную кавитацию, первая существует в рамках одного периода колебаний, вторая соответствует образованию пузырьков, которые осциллируют, но не схлопываются в течение многих периодов колебаний.
3. Считаем, что? поскольку угол смачивания равен 90° , без внешнего воздействия поверхность раздела жидкость-газ является плоской, т. е. нет менисков, связанных со свойствами поверхности кремния.

Чтобы найти искомое давление, применим формулу для давления Лапласа для полусферы с радиусом r :

$$\Delta P = \sigma \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r} \right) = 2 \frac{\sigma}{r}$$

Отсюда $\Delta P = 100$ атм, что на два порядка больше, чем давление ультразвуковой волны. Значит, последнего будет заведомо недостаточно для образования такой полусферы.



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 6. Канаты из нанотрубок

Механические характеристики углеродных нанотрубок настолько уникальны, что даже побудили исследователей вспомнить утопическую идею создания космического лифта, впервые предложенную К.Э. Циолковским в 1895 г. В то же время, волокна из нанотрубок выглядят вполне подходящими и в конструкции обычного грузового лифта.

1. Груз какой наибольшей массы m_1 может поднять обычный грузовой лифт, закреплённый на четырёх стальных канатах, если из соображений безопасности возникающее механическое напряжение в верхней точке вертикально расположенных канатов σ_{\max} не должно превышать 2% от предела прочности на разрыв σ_0 , равного 0,7 ГПа? Площадь поперечного сечения одного каната $S_1 = 3 \text{ см}^2$, длина каждого из них $L = 30 \text{ м}$, масса пустой кабины $m_2 = 500 \text{ кг}$. Плотность стали $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$. **(4 балла)**
2. Во сколько раз минимальная площадь поперечного сечения канатов из углеродных нанотрубок, которые позволяют безопасно поднять груз такой же массы, отличается от площади поперечного сечения стальных канатов? В конструкции заменяются только канаты, остальные параметры (в том числе длина каната) остаются неизменными. Плотность волокна из нанотрубок $\rho_{\text{нт}} = 1300 \text{ кг/м}^3$, его прочность на разрыв $\sigma_{0,\text{нт}} = 30 \text{ ГПа}$. **(4 балла)**
3. Насколько изменится масса конструкции при такой замене? **(2 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 6. Канаты из нанотрубок

1. Максимальная масса, которую могут выдержать канаты, складывается из массы поднимаемого груза m_1 , кабины лифта m_2 и массы самих канатов m_3 :

$$m = m_1 + m_2 + m_3.$$

По условию максимально допустимое механическое напряжение ограничивается 2% от предела прочности на разрыв:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\text{тяж}}}{S} = \frac{2}{100} \sigma_0,$$

где σ_{\max} – максимально допустимое механическое напряжение (Н/м^2), σ_0 – предел прочности на разрыв (Н/м^2), $F_{\text{тяж}} = (m_1 + m_2 + m_3)g$ – сила тяжести, действующая на лифт с грузом (Н), $S = 4S_1$ – суммарная площадь поперечного сечения всех четырёх канатов (м^2), S_1 – площадь поперечного сечения одного каната (м^2).

Следовательно,

$$\sigma_0 = \frac{50(m_1 + m_2 + m_3)g}{4S_1}$$

$$m_1 = \frac{4S_1\sigma_0}{50g} - m_2 - m_3$$

Поскольку

$$m_3 = \rho V = 4S_1 L \rho,$$

где V – объём четырёх канатов (м^3), L – длина каната (м), ρ – его плотность (кг/м^3), то

$$m_1 = \frac{4S_1\sigma_0}{50g} - m_2 - 4S_1 L \rho$$

$$m_1 = \frac{4 \cdot 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 0,7 \cdot 10^9 \text{ Па}}{50 \cdot 9,8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}} - 500 \text{ кг} - 4 \cdot 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 30 \text{ м} \cdot 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 933 \text{ кг}.$$

2. При замене материала каната со стали на волокна из нанотрубок необходимо учесть два фактора: увеличение предела прочности и уменьшение массы (плотности) канатов. Для этого из полученного ранее выражения для m_1 выразим S_1 :

$$m_1 = \frac{4S_1\sigma_0}{50g} - m_2 - 4S_1 L \rho$$

$$S_1 = \frac{25g(m_1 + m_2)}{2\sigma_0 - 100gL\rho}$$

$$S_1 = \frac{25 \cdot 9,8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \cdot (933 \text{ кг} + 500 \text{ кг})}{2 \cdot 30 \cdot 10^9 \text{ Па} - 100 \cdot 9,8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \cdot 30 \text{ м} \cdot 1300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} \approx 6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 6 \text{ мм}^2$$

Таким образом, площадь поперечного сечения каната из углеродных нанотрубок меньше площади поперечного сечения стального каната в

$$\frac{S_{\text{сталь}}}{S_{\text{нанотрубки}}} = \frac{3 \text{ см}^2}{6 \text{ мм}^2} = \frac{3 \cdot 100 \text{ мм}^2}{6 \text{ мм}^2} = 50 \text{ раз.}$$

3. Масса конструкции изменится на разность масс стальных канатов и канатов из углеродных нанотрубок, то есть уменьшится на

$$\begin{aligned} \Delta m &= m_{\text{сталь}} - m_{\text{нанотрубки}} \\ \Delta m &= 4S_{1, \text{ сталь}} L \rho_{\text{сталь}} - 4S_{1, \text{ нанотрубки}} L \rho_{\text{нанотрубки}} \\ \Delta m &= 4 \cdot 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 30 \text{ м} \cdot 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - 4 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot 30 \text{ м} \cdot 1300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \approx 281 \text{ кг} - 1 \text{ кг} = 280 \text{ кг.} \end{aligned}$$



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 7. Платиновый резистор

Одним из направлений развития современных технологий является миниатюризация конструируемых устройств. Довольно часто этому способствуют последние достижения в области нанотехнологий, поскольку наноразмерные объекты могут иметь уникальные физические свойства.

1. Определите сопротивление платиновой нанонити длиной $L_{Pt} = 100$ мкм и диаметром $d_{Pt} = 50$ нм. Удельное сопротивление платины $\rho_{e,Pt} = 1,07 \cdot 10^{-7}$ Ом·м. **(3 балла)**
2. Во сколько раз длина германиевого фоторезистора диаметром $d_{Ge} = 1$ мм должна превышать длину этой нанонити, чтобы он имел такое же сопротивление? Удельное сопротивление германия $\rho_{e,Ge} = 0,5$ Ом·м. **(2 балла)**
3. Какой максимальный ток I может протекать в цепи, содержащей такую платиновую нанонить в качестве резистора, если скорость нагрева резистора не должна превышать 9 К/с? Теплоёмкость платины $c_{Pt} = 132,6$ Дж/(кг·К), её плотность $\rho_{Pt} = 21500$ кг/м³. **(5 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 7. Платиновый резистор

1. Сопротивление нанонити можно рассчитать по формуле

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

где ρ_e – удельное сопротивление (Ом·м), L – длина нити (м), S – площадь её поперечного сечения (м²). Следовательно,

$$R = \frac{1,07 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{ м} \cdot 100 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{\pi \cdot \left(\frac{50}{2} \cdot 10^{-9} \text{ м}\right)^2} \approx 5450 \text{ Ом} \approx 5,5 \text{ кОм}$$

2. Отношение длин германиевого резистора и платиновой нанонити равно

$$L = \frac{RS}{\rho_e}$$

$$\frac{L_{\text{Ge}}}{L_{\text{Pt}}} = \frac{R_{\text{Ge}} S_{\text{Ge}} \rho_{e,\text{Pt}}}{\rho_{e,\text{Ge}} R_{\text{Pt}} S_{\text{Pt}}}$$

Так как их сопротивления должны быть равны ($R_{\text{Ge}} = R_{\text{Pt}}$), отношение можно рассчитать по формуле

$$\frac{L_{\text{Ge}}}{L_{\text{Pt}}} = \frac{S_{\text{Ge}} \rho_{e,\text{Pt}}}{\rho_{e,\text{Ge}} S_{\text{Pt}}}$$

$$\frac{L_{\text{Ge}}}{L_{\text{Pt}}} = \frac{\pi \cdot \left(\frac{1 \cdot 10^{-3}}{2} \text{ м}\right)^2 \cdot 1,07 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{ м}}{\pi \cdot \left(\frac{50 \cdot 10^{-9}}{2} \text{ м}\right)^2 \cdot 0,5 \text{ Ом} \cdot \text{ м}} = 85,6$$

3. Согласно закону Джоуля-Ленца, при прохождении тока через резистор в течение времени t на нём выделяется тепло:

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

где I – сила тока (А), R – сопротивление резистора (Ом), t – время (с).

Если считать, что всё выделяемое тепло идёт на нагрев нанонити, то через время t её температура изменится в соответствии с выражением

$$Q = cm \cdot \Delta T,$$

где c – теплоёмкость платины (Дж/(кг·К)), m – масса нанонити (кг), ΔT – изменение температуры (К).

Следовательно,

$$I^2 R t = c m \cdot \Delta T$$

$$I = \sqrt{\frac{c m}{R} \cdot \frac{\Delta T}{t}}$$

$$I = \sqrt{\frac{c V \rho}{R} \cdot \frac{\Delta T}{t}}$$

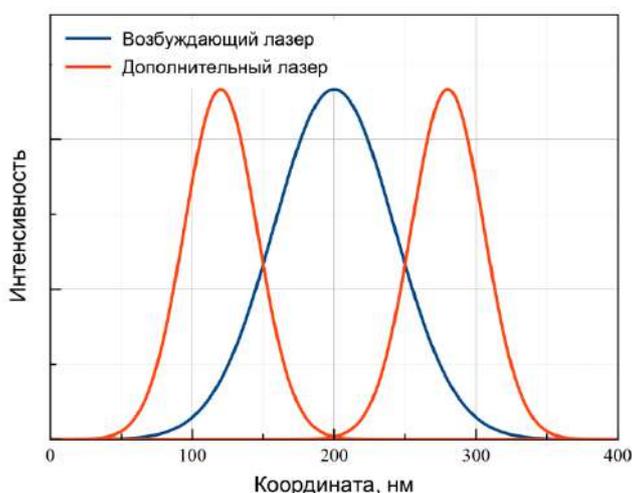
$$I = \sqrt{\frac{c L \cdot \pi r^2 \cdot \rho}{R} \cdot \frac{\Delta T}{t}}$$

$$I = \sqrt{\frac{132,6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot \pi \cdot \left(\frac{50 \cdot 10^{-9} \text{м}}{2}\right)^2 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \text{м} \cdot 21500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{5450 \text{ Ом}}} \cdot 9 \frac{\text{К}}{\text{с}} \approx 3 \cdot 10^{-8} \text{А} = 30 \text{ нА.}$$



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 8. Флуоресцентная наноскопия

Одним из важных методов изучения биологических объектов является флуоресцентная микроскопия. В классическом исполнении она предполагает облучение образца светом и получение изображения в видимом диапазоне, которое формируется за счёт флуоресценции молекул, входящих в состав исследуемого образца. Однако более предпочтительной является её разновидность, называемая флуоресцентной наноскопией. Её особенность состоит в облучении исследуемого объекта двумя лазерами: возбуждающим, который обеспечивает флуоресценцию, и вспомогательным, служащим для локального подавления флуоресценции за счёт вынужденных безызлучательных электронных переходов. Пятно дополнительного лазера имеет форму кольца, которое расположено непосредственно вокруг пятна возбуждающего излучения. Профиль интенсивности излучений от этих двух лазеров представлен на рисунке.



1. Какой из двух лазеров – аргоновый ($\lambda = 514,5$ нм) или гелий-неоновый ($\lambda = 632,8$ нм) – можно использовать в качестве возбуждающего излучения, если энергия электронного перехода с возбуждённого на основное состояние во флуоресцирующей молекуле равна 2,35 эВ? Какого цвета получится изображение? **(4 балла)**
2. Используя рисунок, оцените минимальный размер объекта, просканировав который можно получить чёткое изображение с помощью такого флуоресцентного наноскопа. **(3 балла)**
3. Можно ли получить чёткое изображение нанобъекта (например, вируса) размером 110 нм с помощью классического флуоресцентного микроскопа и с помощью флуоресцентного наноскопа? Ответ поясните. **(3 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 8. Флуоресцентная наноскопия

1. Флуоресценция – процесс излучения кванта света при спонтанном переходе электрона с возбуждённого уровня на основной. Поскольку при этом энергия фотона равна энергии электронного перехода, то

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

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

$$\lambda = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}}}{2,35 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}} \approx 5,3 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 530 \text{ нм}$$

Следовательно, изображение будет зелёного цвета.

Для осуществления электронного перехода с основного на возбуждённый уровень необходимо поглощение фотона с энергией, не меньшей 2,35 эВ. Энергия фотона с длиной волны 514,5 нм равна

$$E = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}}}{514,5 \cdot 10^{-9} \text{ м}} \approx 3,86 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \approx 2,41 \text{ эВ.}$$

Поскольку энергия такого фотона превышает энергию электронного перехода, аргоновый лазер в качестве источника возбуждающего излучения использовать можно.

Энергия фотона с длиной волны 632,8 нм равна

$$E = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}}}{632,8 \cdot 10^{-9} \text{ м}} \approx 3,14 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \approx 1,96 \text{ эВ.}$$

Поскольку энергия такого фотона меньше энергии электронного перехода, гелий-неоновый лазер в качестве источника возбуждающего излучения использовать нельзя.

2. Метод флуоресцентной наноскопии позволяет визуализировать только ту область исследуемого объекта, где интенсивность возбуждающего лазера (синяя линия на рисунке) превышает интенсивность дополнительного лазера (красная линия на рисунке). В противном случае происходит подавление спонтанной флуоресценции, и изображение не формируется. Согласно приведённому рисунку, интенсивность возбуждающего лазера превышает интенсивность дополнительного лазера с координаты 150 нм до координаты 250 нм. Таким образом, минимальный размер объекта, который можно просканировать и получить чёткое изображение в таком наноскопе, равен 250 нм – 150 нм = 100 нм. Меньшие объекты рассмотреть невозможно вследствие дифракционного предела.

3. Поскольку классический флуоресцентный микроскоп является оптическим, то минимальный размер объекта, который можно в него рассмотреть, ограничивается дифракционным пределом, то есть примерно половиной от длины волны видимого света. Таким образом, минимальный размер объекта равен примерно 200 нм (половина длины волны фиолетового света), поэтому нанобъект размером 110 нм с его помощью рассмотреть невозможно. Однако флуоресцентная наноскопия позволяет увеличить разрешение вследствие локального подавления флуоресценции вспомогательным излучением. Согласно результату, полученному в предыдущем пункте, минимальный размер объекта, который можно просканировать и получить чёткое изображение в таком наноскопе, составляет примерно 100 нм, поэтому предложенный нанобъект размером 110 нм исследовать можно.



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 9. QLED телевизор

Технология QLED TV подразумевает использование квантовых точек для улучшения цветопередачи телевизионного изображения, увеличения углов обзора и снижения общего энергопотребления телевизора. В стандартных ЖК-дисплеях каждый пиксель состоит из красного, синего и зеленого субпикселей, представляющих собой цветные фильтры, пропускающие соответствующую компоненту белого света подсветки. В перспективных QLED дисплеях предлагается заменить цветные фильтры квантовыми точками (КТ), которые в зависимости от их размера будут испускать свет нужной длины волны в узком спектральном диапазоне (красный, $\lambda = 638$ нм и зеленый, $\lambda = 527$ нм) при возбуждении светом синих светодиодов ($\lambda = 450$ нм). При этом синее излучение светодиодов подсветки проходит практически без изменений через соответствующие прозрачные окна, выступающие синими субпикселями, как показано на рисунке.



В каких пропорциях будет распределен световой поток между красным, зеленым и синим субпикселями QLED дисплея, если внешний квантовый выход фотолюминесценции «красных» и «зеленых» квантовых точек составляет 80 % и 90 %, соответственно? Поглощение синего света квантовыми точками считайте полным, потерями на вывод излучения в прозрачных окнах можно пренебречь. **(10 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 9. QLED телевизор

Световой поток Φ определяется количеством энергии E , испускаемой источником света в единицу времени t . В свою очередь энергия E равна произведению числа испускаемых фотонов $N_{исп}$ на энергию каждого фотона E_{ph} :

$$E = N_{исп} \cdot E_{ph} = N_{исп} \frac{hc}{\lambda}.$$

Внешний квантовый выход фотолюминесценции η квантовых точек равен отношению числа испускаемых фотонов $N_{исп}$ к числу поглощенных $N_{погл}$, откуда: $N_{исп} = N_{погл} \cdot \eta$. Полагая, что до каждого субпикселя свет от синих светодиодов подсветки доходит равномерно ($N_{погл}$ везде одинаковое), и учитывая, что поглощение света квантовыми точками полное, а потери в прозрачных окнах отсутствуют (все дошедшие фотоны $N_{погл}$ выходят из прозрачного окна, т.е. $\eta_{син} = 1$), получаем для полного светового потока $\Phi_{полн}$ одиночного пикселя выражение:

$$\Phi_{полн} = \frac{E_{кр} + E_{зел} + E_{син}}{t} = \frac{N_{погл} (E_{ph}^{кр} \eta_{кр} + E_{ph}^{зел} \eta_{зел} + E_{ph}^{син})}{t}.$$

Тогда части светового потока n_i , соответствующие красному, зеленому и синему субпикселям, будут равны:

$$n_i = \frac{\Phi_i}{\Phi_{полн}} = \frac{E_i}{E_{кр} + E_{зел} + E_{син}} = \frac{\frac{\eta_i}{\lambda_i}}{\frac{\eta_{кр}}{\lambda_{кр}} + \frac{\eta_{зел}}{\lambda_{зел}} + \frac{1}{\lambda_{син}}}.$$

Подставляя соответствующие значения длины волны и квантового выхода, имеем:

$$n_{кр} \approx 24\%$$

$$n_{зел} \approx 33\%$$

$$n_{син} \approx 43\%$$

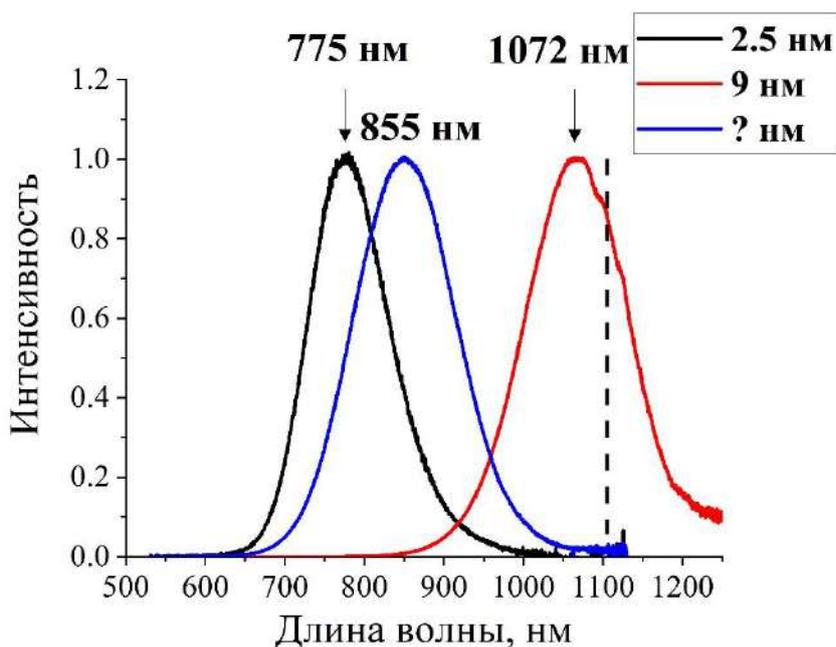
Или в виде пропорции: $E_{кр} : E_{зел} : E_{син} \approx 0.56 : 0.77 : 1$, что отличается от пропорции по квантовому выходу фотолюминесценции (0.8 : 0.9 : 1) вследствие зависимости светового потока от энергии фотонов (длины волны излучения).



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 10. Квантовый размерный эффект в кремниевых нанокристаллах

В основе явлений, наблюдаемых при переходе от объемных полупроводников к их наноструктурированным модификациям, лежит квантовый размерный эффект, который заключается в качественном изменении (квантовании) энергетического спектра носителей заряда. В качестве примера на рисунке изображены спектры фотолюминесценции кремниевых нанокристаллов в зависимости от их среднего размера, отмеченного в легенде. Значения длин волн над спектрами фотолюминесценции соответствуют их максимумам, а вертикальная штриховая линия – оптическим переходам в объемном кремнии ($E = 1.12$ эВ).



1. Какие эффекты называют красным и синим смещением, и какое из этих смещений демонстрируют спектры люминесценции кремниевых нанокристаллов? **(3 балла)**
2. Исходя из общих закономерностей квантования энергетического спектра носителей заряда в полупроводниковых нанообъектах, определите средний размер кремниевых квантовых точек, спектр фотолюминесценции которых отмечен знаком “?”. **(7 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 10. Квантовый размерный эффект в кремниевых нанокристаллах

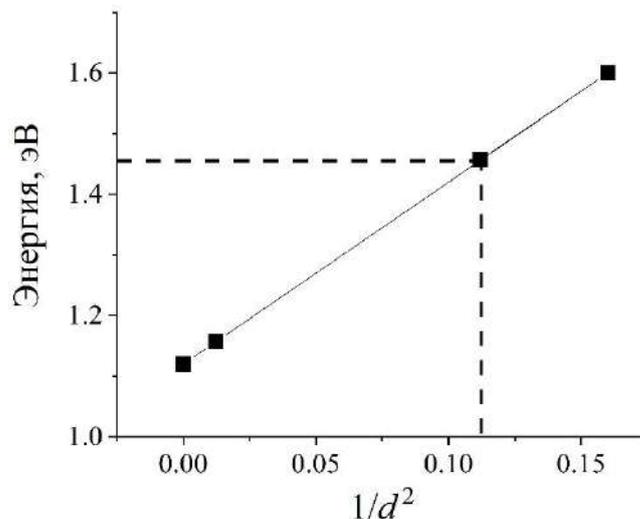
1. Красным (синим) смещением называют эффекты, связанные с увеличением (уменьшением) длины волны света, характерной для рассматриваемого процесса. В случае фотолюминесценции кремниевых нанокристаллов можно использовать термин синее смещение подразумевая, что с уменьшением размера нанокристаллов наблюдается сдвиг максимума спектра в сторону уменьшения длины волны, т.е. в сторону коротковолнового («синего») края спектра.
2. Общая закономерность квантования энергетического спектра носителей заряда в полупроводниковых нанообъектах состоит в возникновении добавки к энергии носителей заряда, пропорциональной величине $\frac{1}{d^2}$, где d – средний размер квантовых точек. Запишем энергию в виде суммы энергии оптических переходов E_0 в объемном кремнии ($d \rightarrow \infty$) и добавки $\frac{k}{d^2}$, где k – коэффициент пропорциональности:

$$E = E_0 + \frac{k}{d^2}.$$

Т.о. энергия, соответствующая максимумам фотолюминесценции, линейно зависит от $\frac{1}{d^2}$. Длина волны (в нм) связана с энергией (в эВ) соотношением:

$$E \approx \frac{1240}{\lambda}.$$

Искомый размер можно определить по графику зависимости энергии оптических переходов от $\frac{1}{d^2}$. Т.к. максимуму фотолюминесценции 855 нм соответствует энергия 1.45 эВ, средний размер нанокристаллов при этом равен ~ 3 нм ($\frac{1}{d^2} \approx 0.11$).





История Олимпиады

Комплекс предметов

Категория участников: школьники

Вопрос №1



Сколько полных лет XV Олимпиаде по нанотехнологиям?

30, как и любой Всероссийской олимпиаде

15 лет, по номеру (чего глупости спрашиваете?)

14 лет по арифметическим данным

чертова дюжина по астральным данным

62 года, счет стоит вести с момента лекции Р.Феймана "Там внизу много места..." (29 декабря 1959 года)

Вопрос №2



Кто был изображен на эмблеме первой Олимпиады?

наноробот

добрый гномик Вася из мультика

злой бородатый гном

расплющенное сечение углеродной нанотрубки

профиль главного здания МГУ

Вопрос №3



Кто был идеологом и организатором наноолимпиады?
академик В.А.Легасов, организатор 112 группы химфака МГУ
академик В.А.Садовничий, Ректор МГУ, Председатель РСОШ
академик В.В.Лунин, декан химфака МГУ
академик Ю.Д.Третьяков, декан-основатель ФНМ МГУ
академик А.М.Сергеев, Президент РАН
академик К.А.Солнцев, декан ФНМ МГУ

Вопрос №4



Какого уровня была первая наноолимпиада по классификации Российского Совета Олимпиад Школьников (сейчас она 1 уровня)?

- первого
- второго
- третьего
- высшего
- никакого

Вопрос №5



Кто был спонсором первой Олимпиады?

- Самсунг
- LG
- Ростех
- Росатом
- Роснано
- РСОШ
- Сбербанк

Вопрос №6



Олимпийский чемпион (депутат государственной Думы) в каком виде спорта поддерживал наноолимпиаду?

сумо
конькобежный спорт
лыжи
художественная гимнастика
синхронное плавание
греко-римская борьба

Вопрос №7



В какой номинации победил участник на фотографии (3 класс), которого награждает Сопредседатель Центрального штаба ОНФ, руководитель образовательного центра «Сириус», член президиума Совета при президенте РФ по науке и образованию Е.В.Шмелева?

математика
химия
физика
биология
школьный проект
конкурс тьюторов
конкурс "Просто о сложном"

Вопрос №8



Какому событию была посвящена олимпиада на фотографии?

Всемирному дню детей и детства
году Германии в России

60 - летию нанотехнологий в мире (лекции Р.Феймана 29 декабря 1959)
10 - летию Фонда Инфраструктурных и Образовательных программ (группа РОСНАНО)
150 - летию Периодической Таблицы Элементов Д.И.Менделеева
году культуры и кинематографии

Вопрос №9



Какой из партнеров Олимпиады помогает победителям и призерам конкурса "Просто о сложном" разработать и внедрить авторские курсы для дистанционной подготовки школьников?

Российская Академия Наук
Университет без границ (МГУ)
Стемфорд (АНО "еНано")
Бином. Лаборатория знаний
Российское Химическое Общество имени Д.И.Менделеева
Мобильное Электронное Образование

Вопрос №10



На родине какого известного композитора проходил молодежный форум по нанотоксикологии с участием призеров и победителей конкурса National Student Team Contest?

Вивальди
Моцарта
Листа
Бородина
Бетховена
Баха

Вопрос №11



В заключении напишите ниже в окне ответа на последний вопрос НЕБОЛЬШОЕ ЭССЕ про наноолимпиаду, в котором выразите свое мнение о ее роли в поиске талантливых школьников и будущих известных ученых, о роли нанотехнологий в нашей жизни и о ваших ожиданиях о своей будущей карьере... Спасибо! И удачи! Оригинальные призы и грамоты ждут лучших :)

Не буду писать :)

Написал ниже!



Тест История Олимпиады (заочный тур) Решение

Тест "История Олимпиады" (<https://enanos.nanometer.ru/test/14>) был не очень сложным, все можно было легко узнать из открытых источников, и в этом и заключался тайный смысл – найти и вспомнить. В то же время, как показала практика, все те, кто давал самые, казалось бы, очевидные ответы, оказался не совсем прав, потому что история Олимпиады достаточно интересная и не вполне тривиальная, она прошла долгий и яркий путь – и только для того, чтобы служить новым поколениям молодых талантов и помогать им найти свой путь в этой жизни, которая тоже не бывает ни прямой, ни простой, ни очевидной. И об этом тоже нужно всегда помнить.

ВОПРОС 1. Правильный ответ: 14 лет по арифметическим данным.

Наноолимпиада не относится к официальной серии Всероссийских олимпиад по отдельным предметам, которые имеют свою историю. Регистрация на Первую Всероссийскую Интернет-олимпиаду "Нанотехнологии – прорыв в будущее!" завершилась в мае 2007 года, а церемония закрытия состоялась 27 июня 2007 года в Зале Заседаний Ученого Совета МГУ (http://www.nanometer.ru/2007/06/22/nternet_olimpiada_3636.html). Таким образом, возраст Олимпиады – 14 лет. «Потерянный год», если сравнивать с номером олимпиады, возник из-за того, что 5 и 6 олимпиады прошли в один календарный год.

ВОПРОС 2. Правильный ответ: злобный бородатый гном.



Эмблема первой наноолимпиады

<http://www.nanometer.ru/2007/05/31/nanomateriali.html>

На первой наноолимпиаде эмблемой служил весьма злобный и весьма бородатый гном (карлик), имеющий непосредственное отношение к приставке "нано", которая по-гречески означает "крошечный", а в Италии так гномов и называли, папо. Добрый гномик Вася, нанороботы и многие другие идеи появились позже, в результате "народного" конкурса эмблем наноолимпиады (работы и предложения – тут <http://www.nanometer.ru/contestresources-5963.html>). В 2016 году, после 10-летнего юбилея, официальный логотип Олимпиады кардинально изменил свой дизайн. Вместо холодных

голубых цветов и стилизованной под иконку Internet Explorer – голубой округлой буквы "e" – эмблема приобрела новые черты – теплый оранжевый цвет с четкими, строгими линиями контуров, строгим шрифтом и стилизованным названием ENANOS. "E" традиционно символизирует наличие "электронного" дистанционного тура олимпиады, самого массового и с самыми сложными задачами, именно такой творческий и доступный всем стиль исповедовала олимпиада с самого первого момента своего рождения. В эмблеме олимпиады буква "E" изображена тремя линиями - одной, средней, короткой, а также двумя длинными – сверху и снизу, которые заключают в рамку приставку "NANO", обозначающую принадлежность олимпиады к нанотехнологиям. "S" дана в греческой транскрипции (сигма, сумма) и действительно означает сумму знаний и междисциплинарность духа наноолимпиады, это сумма лучших достижений химии, физики, математики, биологии, других современных областей науки и приемов исследований. Сигма изображена тремя фрагментами – фрагментом, который вместе с короткой линией буквы "E" и словом НАНО формирует стрелу, символизирующую прогресс и развитие, устремленность к новым достижениям будущего. Остальные две планки греческой буквы сигма – вверху и внизу – заключают в свой контур номер олимпиады, который дается римскими цифрами.

ВОПРОС 3. Правильный ответ: академик Ю.Д.Третьяков, декан-основатель ФНМ МГУ.



Академик Юрий Дмитриевич Третьяков

Идеологом и организатором Наноолимпиады был академик, декан-основатель факультета наук о материалах МГУ имени М.В.Ломоносова Юрий Дмитриевич Третьяков (<http://www.nanometer.ru/2012/10/11/13499536171613.html>). Ректор МГУ, академик В.А. Садовничий – Председатель Оргкомитета Олимпиады на протяжении очень многих лет. Идею и техническую реализацию первых Олимпиад прорабатывали И.В. Гольдт (выпускник ФНМ МГУ) и Е.А. Гудилин (химический факультет и ФНМ МГУ). Академик В.В.Лунин (декан, затем президент химического факультета, организатор Менделеевской олимпиады, выдающийся деятель науки и образования, активно развивавший олимпиадное движение школьников), академик К.А. Солнцев (декан факультета наук о материалах) входили в состав Оргкомитета в качестве сопредседателей.

ВОПРОС 4. Правильный ответ: никакого.

Первая олимпиада никак не могла еще войти в систему (официальный реестр) Российского совета олимпиад школьников, однако, начиная с 3-й, Олимпиада стала для школьников официальной олимпиадой из списка олимпиад школьников РСОШ, с тех пор Олимпиада входит в перечень как олимпиада первого уровня. (<https://rsr-olymp.ru/>)

ВОПРОС 5. Правильный ответ: Самсунг.

Спонсором самой первой Олимпиады была компания Самсунг, потом Министерство образования и науки РФ, потом спонсором, партнером и, наконец, официальным организатором стал Фонд Инфраструктурных и Образовательных программ (группа РОСНАНО) (<https://fiop.site/>).



**ФОНД ИНФРАСТРУКТУРНЫХ
И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ПРОГРАММ**
Группа РОСНАНО

Логотип ФИОП (группа Роснано)

ВОПРОС 6. Правильный ответ: конькобежный спорт.

Несколько лет, начиная с Третьей Олимпиады, ее поддерживала Светлана Сергеевна Журова (<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D1%83%D0%BE%D0%B2%D0%B0,%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%A1%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D0%B5%D0%B2%D0%BD%D0%B0>) – выдающаяся спортсменка, победы которой на Олимпиадах и чемпионатах мира связаны со спринтерским многоборьем (конькобежный спорт). Позже – депутат Государственной Думы 6 и 7 созывов, член Совета Федерации.



Светлана Сергеевна Журова

ВОПРОС 7. Правильный ответ: школьный проект.

На Шестой Олимпиаде по конкурсу проектных работ был награжден Матвей Никельшпарг (перешел из 2 класса в третий в год проведения Олимпиады)
<http://www.nanometer.ru/2012/03/29/13330016814856.html>.



Елена Владимировна Шмелева награждает Матвея Никельшпарга.

ВОПРОС 8. Правильный ответ: 150-летию Периодической Таблицы Элементов Д.И.Менделеева

Тринадцатая Олимпиада была, почти очевидно, посвящена 150-летию юбилею Периодической Таблицы Элементов Д.И.Менделеева
<https://enanos.nanometer.ru/news/153>).



Участники XIII Олимпиады.

ВОПРОС 9. Правильный ответ: Стемфорд (АНО "еНано").

В качестве такого партнера выступал и выступает Стемфорд, точнее, АНО еНАНО (<https://edunano.ru/>), которое занимается разработкой различных видов онлайн обучения для специалистов в области наноиндустрии.



ОНЛАЙН-ОБУЧЕНИЕ

ДЛЯ НИ-ТЕСН СПЕЦИАЛИСТОВ

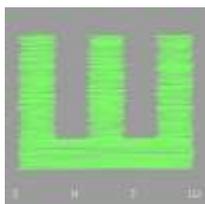
Логотип АНО "еНАНО"

ВОПРОС 10. Правильный ответ: Моцарта.

На фотографии показана команда РФ возле памятника архиепископу Парису Лодрону, по инициативе которого был основан Зальцбургский университет и именем которого университет впоследствии был назван (<https://enanos.nanometer.ru/news/170>), так что указанный форум проходил на Родине Вольфганга Амадеуса Моцарта.



Команда РФ на форуме по нанотоксикологии.



Тест ЗНТШ

Комплекс предметов

Категория участников: школьники 5-11 классов

В тесте собраны **очень простые** (для 5-7 класса), **простые** (8-9 класс) и **обычные** (10-11 класс) вопросы в области нанотехнологий и наноматериалов, в том числе основанные на материалах занятий в [Заочной НаноТехнологической Школе \(ЗНТШ\)](#). Некоторые из вопросов требуют простых рассуждений и несложных расчетов.

В каждом вопросе только **один ответ** правильный, он оценивается **1 баллом** для *простых и очень простых* вопросов и **2 баллами** для «*обычных* вопросов».

Половина балла(ов) дается за **правильный номер** ответа в каждом вопросе, а половина – за правильные краткие **обоснования** выбранного ответа, которые будет оценивать жюри во время ручной проверки.

Тест ЗНТШ могут пройти все участники Олимпиады и получить **дополнительные баллы** (25% от набранных, максимум 10 баллов) за отборочный тур вплоть до окончания сроков приема работ на конкурс по комплексу предметов «химия, физика, математика, биология» (до 25 января 2021 г.). Даже те участники, которые не занимались в ЗНТШ в дистанционном режиме или не смотрели записи занятий, могут пройти тест для получения дополнительных баллов и повышения шансов попасть на заключительный тур Олимпиады, но без получения сертификатов ЗНТШ. В то же время, **сертификаты слушателей (выпускников) ЗНТШ** будут выданы только тем участникам, кто успешно прослушает лекции ЗНТШ, а также до 30 ноября 2020 г. пройдет данный контрольный тест, по итогам которого наберет не менее 60% баллов.

Материалы (видеозаписи) ЗНТШ собраны [в этой новости](#).

Вопрос №1



СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 1.

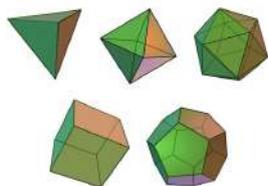
Бакибол представляет собой:

1) выпуклый многогранник, состоящий из правильных пяти- и шестиугольников, в вершинах которого сходятся по три ребра;

- 2) усеченный икосаэдр;
- 3) Архимедово тело.

верно только первое утверждение
верно только второе утверждение
верно только третье утверждение
верны только первое и второе утверждения
верны только первое и третье утверждения
верны только второе и третье утверждения
все три утверждения верны
ни одно утверждение не верно

Вопрос №2



СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 2.

Какой из многогранников НЕ является Платоновым телом?

- правильная треугольная пирамида
- правильная треугольная бипирамида
- правильная треугольная антипризма
- правильная четырехугольная бипирамида
- скручено удлиненная правильная пятиугольная бипирамида

Вопрос №3



СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 3.

К углеродным наноматериалам НЕ относится:

- графан
- графен
- грифон
- все относятся
- все не относятся

Вопрос №4

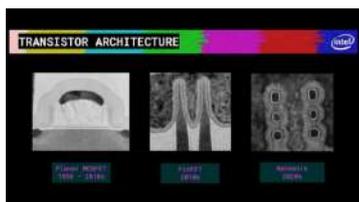


СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 4.

Во сколько раз увеличится удельная площадь поверхности (то есть, приходящаяся на один грамм) материала, если размер составляющих его кубических частиц уменьшить в 1000 раз?

- в 10
- в 100
- в 1000
- в 10000
- в 100000
- в 1000000
- не изменится

Вопрос №5



СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 5.

На конец 2020 самая высокая из достигнутых плотность размещения транзисторов в микропроцессоре – 250 миллионов на 1 мм². Закон Мура гласит, что количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые 2 года, следовательно, при постоянстве размера микросхемы, в 2030 году на один транзистор будет приходиться площадь, равная:

- 3,9 нм²
- 10 нм²
- 12,5 нм²
- 62,5 нм²
- 125 нм²
- 150 нм²
- 250 нм²
- 500 нм²
- 1000 нм²
- 2000 нм²

Вопрос №6



СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 6.

Приобретенный иммунитет связан с одним из указанных типов клеток:

- эритроциты
- тромбоциты
- нейтрофилы
- базофилы
- макрофаги
- лимфоциты
- астроциты
- адипоциты
- миоциты
- остеокласты

Вопрос №7



СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 7.

К сумчатым не относится (ВНИМАНИЕ! Слово «сумчатый» в названии животного может быть пропущено!!!):

- опоссум
- мышь
- вомбат
- валлаби
- опоссум
- куница
- бандикут
- ехидна
- коала
- крот

Вопрос №8



СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 8.

Определите по диаграмме, к какому семейству относится данный цветок?

- злаковые (Poaceae)
- астровые (Asteraceae)
- крестоцветные (Brassicaceae)
- зонтичные (Apiaceae)
- пасленовые (Solanaceae)
- вьюнковые (Convolvulaceae)
- бобовые (Fabaceae)
- розовые (Rosaceae)
- лилейные (Liliaceae)

Вопрос №9



СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 9.

У каких животных отсутствуют специализированные органы дыхания и кровеносная система?

- плоские черви
- кольчатые черви
- моллюски
- ракообразные
- паукообразные
- насекомые
- рыбы

Вопрос №10



СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 10.

Присутствуют жабры, незамкнутая кровеносная и отсутствуют почки у:

кишечнополостных и губок
плоских червей
круглых червей
кольчатых червей
моллюсков
ракообразных
паукообразных
насекомых
рыб

Вопрос №11



ПРОСТОЙ ВОПРОС 11.

Митохондрии – это клеточные «электростанции». Исходя из их основной функции, ответьте на вопрос, в каком из этих типов клеток в норме наименьшее количество митохондрий?

кардиомиоциты
астроциты
гепатоциты
белые адипоциты
тромбоциты
бурые адипоциты
нейроны
макрофаги
фибробласты
миоциты

Вопрос №12



ПРОСТОЙ ВОПРОС 12.

Согласно системе Вёзе, введенной в 1990 году, древо жизни состоит из трех доменов (надцарств): археи, бактерии и эукариоты. Какие из этих структур отсутствуют у эукариот?

плазмолемма
рибосомы
митохондрии
ядро
пили
клеточная стенка
ядрышки
лизосомы
комплекс Гольджи
вакуоли

Вопрос №13



ПРОСТОЙ ВОПРОС 13.

Каково наиболее полное определение гликолиза?

Катаболический путь в клетке, в результате которого образуется 4 молекулы АТФ.

Процесс расщепления глюкозы на две молекулы пировиноградной кислоты.

Процесс расщепления глюкозы на две молекулы лактата.

Катаболический путь обмена веществ в цитоплазме.

Процесс клеточного дыхания, в котором глюкоза расщепляется с образованием 2 молекул НАДН.

Процесс в результате которого потребляется две молекулы АТФ.

Вопрос №14



ПРОСТОЙ ВОПРОС 14.

В прошлом веке шахтеры использовали в качестве светильников сушеную рыбу. Как называется явление, благодаря которому рыба светилась (выберите наиболее точный ответ)?

фосфоресценция

флуоресценция

хемилюминесценция

радиолюминесценция

термолюминесценция

электролюминесценция

сонолюминесценция
триболюминесценция
абсорбция
рассеяние

Вопрос №15

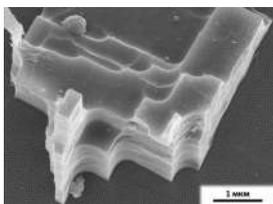


ПРОСТОЙ ВОПРОС 15.

Активные формы кислорода (АФК) – соединения кислорода с высокой реакционной способностью, окисляющие практически все классы биомолекул – белки, липиды, нуклеиновые кислоты и углеводы. В организме они в небольшом количестве образуются в норме и выполняют различные функции, выступая в роли сигнальных молекул или участвуя в иммунном ответе. Какая из АФК является продуктом одноэлектронного восстановления молекулярного кислорода?

синглетный кислород
перекись водорода
гидроксил радикал
супероксид-анион радикал
гидроперекиси липидов
пероксинитрит-анион
оксид азота NO
хлорноватистая кислота HClO
алкоксил радикал RO
ион нитрозония NO⁺

Вопрос №16



ПРОСТОЙ ВОПРОС 16.

Электронная микроскопия позволяет изучать нанообъекты, которые невозможно рассмотреть в оптический микроскоп. Связано это с принципиальным отличием этих методов исследования: в электронном микроскопе изображение формируется вследствие взаимодействия ускоренных электронов с изучаемым объектом, а в оптическом – в результате облучения светом в видимом диапазоне. Почему при изучении наноразмерных объектов из оксида алюминия методом электронной микроскопии их рёбра и вершины оказываются более яркими, чем грани?

Это связано с особенностями освещения исследуемого объекта в камере электронного микроскопа.

Это связано с люминесценцией оксида алюминия.

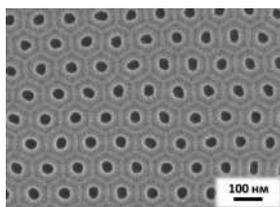
Это связано с более интенсивным накоплением электрического заряда на рёбрах и вершинах по сравнению с плоской поверхностью граней.

Это связано с более интенсивным поглощением электронов плоской поверхностью граней по сравнению с рёбрами и вершинами.

Это связано с испарением оксида алюминия и свечением молекул в газовой фазе.

Это всего лишь дефект микрофотографии, который не связан с какими-либо физическими явлениями.

Вопрос №17



ПРОСТОЙ ВОПРОС 17.

Одним из наиболее перспективных мембранных материалов является анодный оксид алюминия, в котором все поры, имеющие практически одинаковый диаметр (бывает в диапазоне от 10 до 200 нм), образуют высокоупорядоченную структуру. На рисунке представлена микрофотография такой мембраны с увеличением 200000 раз. Чем являются чёрные кружки на микрофотографии?

мембранами, каждая из которых закреплена в своей шестиугольной ячейке

атомами алюминия

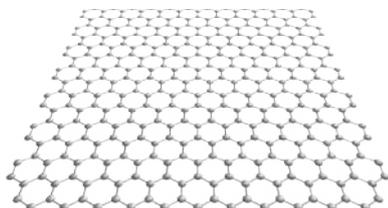
атомами кислорода

интерференционными рефлексами

порами одной мембраны

контактами, обеспечивающими закрепление мембраны на предметном столике

Вопрос №18



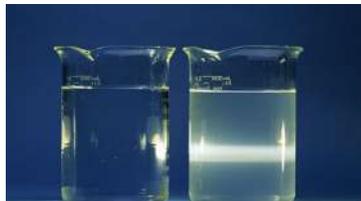
ПРОСТОЙ ВОПРОС 18.

Одним из наиболее известных двумерных материалов является графен, который представляет собой углеродный слой толщиной в один атом. В идеальном бездефектном графеновом листе атомы углерода расположены так, что занимают вершины правильных шестиугольников. Какой из перечисленных ниже нанобъектов невозможно получить при сворачивании графенового листа или его части?

одностенная углеродная нанотрубка

многостенная углеродная нанотрубка
наноалмаз
фуллерен

Вопрос №19



ПРОСТОЙ ВОПРОС 19.

Известно, что истинный и коллоидный растворы можно легко отличить, если посветить на них лазером: в одном из растворов луч будет хорошо различим, а через другой пройдет, не оставляя никакого следа. Описанное явление носит название «эффект Тиндаля». С чем связано различное поведение луча в истинном и коллоидном растворе?

В отличие от истинного раствора, любой коллоидный раствор флуоресцирует под действием лазера.

В отличие от истинного раствора, коллоидный раствор сильно рассеивает свет.

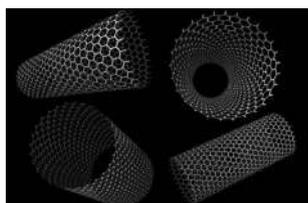
В отличие от коллоидного раствора, любой истинный раствор сильно поглощает свет, поэтому луч в нём не виден.

В отличие от коллоидного раствора, любой истинный раствор не пропускает через себя свет в видимом диапазоне.

Под действием света в любом коллоидном растворе взвешенные наночастицы слипаются в более крупные структуры, которые видны невооружённым глазом.

Истинный раствор сильно рассеивает свет, а коллоидный раствор, напротив, фокусирует его в яркий луч.

Вопрос №20



ПРОСТОЙ ВОПРОС 20.

Потенциальной областью применения углеродных нанотрубок является изготовление волокон и канатов для подъёма различных грузов, что связано с их уникальными свойствами. Какое из перечисленных ниже свойств углеродных нанотрубок НЕ имеет значения при создании таких волокон?

высокая прочность на разрыв

высокий модуль Юнга

высокая электропроводность

низкая плотность

малая концентрация структурных дефектов

Вопрос №21



ВОПРОС 21.

По медному проводнику протекает ток, сила которого равна $I_1 = 1$ А, а по алюминиевому – ток силой $I_2 = 2$ А. Проводники имеют одинаковую площадь сечения. Чему равно отношение мощности, выделяющейся в алюминии, к мощности, выделяющейся в меди, если длины проводников одинаковы?

- 0,5
- 2
- 4
- 1
- 6,5

Вопрос №22



ВОПРОС 22.

В масс-спектрометр попадают два сорта ионов. Оба сорта имеют элементарный заряд. Масса ионов второго сорта в 6 раз больше, чем первого. Но скорость ионов второго сорта в 2 раз меньше, чем первого. Как отличаются радиусы траекторий частиц первого и второго сорта?

- у частиц второго сорта в 12 раз больше радиус
- у частиц второго сорта в 3 раза больше радиус
- у частиц первого сорта в 12 раз больше радиус
- у частиц первого сорта в 24 раза больше радиус
- у частиц второго сорта в 3 раза меньше радиус

Вопрос №23



ВОПРОС 23.

Для исследования нанообъектов используется электронный микроскоп. Какова скорость электрона, если ускоряющее напряжение $U = 120 \text{ В}$.

- 6,5•10³ м/с
- 6,5•10³ км/с
- 2,9•10⁵ км/с
- 1,9•10⁻¹⁷ м/с
- 4,4•10⁻⁹ м/с

Вопрос №24



ВОПРОС 24.

Для опытов по фотоэффекту металлическую пластину с работой выхода 1,9 эВ облучают светом с длиной волны $\lambda = 3 \cdot 10^{-7} \text{ м}$. Затем длину волны увеличивают в 2 раза, а число фотонов в 3 раза. Как изменится число электронов, покидающих пластину?

- увеличится в 6 раз
- увеличится в 2 раза
- увеличится в 3 раза
- станет равным нулю
- уменьшится в 6 раз

Вопрос №25



ВОПРОС 25.

Мнимое прямое увеличенное изображение формируется:

- рассеивающей линзой, если предмет находится между фокусом и линзой
- рассеивающей линзой, если предмет находится за фокусом
- собирающей линзой, если предмет находится между фокусом и линзой
- собирающей линзой, если предмет находится за фокусом
- собирающей линзой, если предмет находится за двойным фокусным расстоянием

Вопрос №26



ВОПРОС 26.

Конструкция в виде полусферы, состоящей из треугольников, – геодезический купол – была изобретена в середине XX века архитектором Ричардом Бакминстером Фуллером. Если каркас беседки, приведенный на рисунке, уменьшить до наноразмеров и мысленно полностью «достроить» до соответствующего ему многогранника (обладающего симметрией икосаэдра), а в центре каждой из треугольных граней такого многогранника расположить атом углерода, то сколько атомов будет содержать полученный фуллерен?

20

60

80

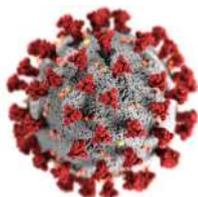
120

180

240

полученный многогранник не отвечает никакой молекуле фуллерена

Вопрос №27



ВОПРОС 27.

Длина генома РНК-вируса SARS-CoV-2, ответственного за пандемию COVID-19, составляет 29896 нуклеотидов. Сколько байт памяти потребуется, чтобы записать такой геном, если молекула РНК состоит из 4 «букв»-нуклеотидов, а каждая из них кодируется самым простым двоичным кодом?

3737

7474

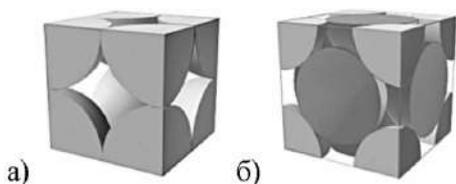
14948

29896

59792

119584

Вопрос №28

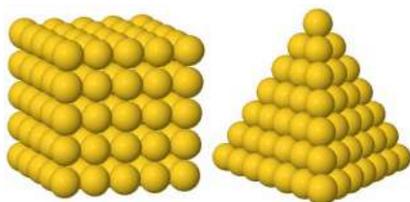


ВОПРОС 28.

Оцените, как масса фотонного кристалла, сложенного из микросфер SiO_2 способом а), отличается от массы фотонного кристалла того же объема, но сложенного из этих микросфер способом б).

- в 4 раза больше
- в 4 раза меньше
- в 2,6 раза больше
- в 2,6 раза меньше
- в 1,4 раза больше
- в 1,4 раза меньше
- в 0,7 раз больше
- в 0,7 раз меньше
- не отличается

Вопрос №29



ВОПРОС 29.

Из атомов, лежащих в поверхностном слое кубического нанокластера, на ребро которого приходится n атомов металла, можно без остатка «собрать» нанокластер в форме тетраэдра, на ребро которого приходится $n + 2$ атома. Чему равно n ?

Общее число атомов металла в тетраэдрическом нанокластере, на ребро которого приходится m атомов, составляет $Td(m) = (m^3 + 3m^2 + 2m)/6$.

- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- задача не имеет решения
- задача имеет больше одного решения

Вопрос №30



ВОПРОС 30.

При равной плотности и величине удельной площади поверхности (в $\text{м}^2/\text{г}$) **НАИБОЛЬШИЙ** размер (как диаметр описанной вокруг нее сферы) имеет наночастица в форме:

шара

куба

цилиндра с $h = d$

все три частицы имеют одинаковый размер



Тест ЗНТШ (заочный тур)
Решение

1. СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 1 – все три утверждения верны.

Бакибол – это усеченный икосаэдр. Он также является архимедовым телом, поскольку его грани – это правильные многоугольники двух типов. Первое утверждение также справедливо.

2. СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 2 – правильная треугольная бипирамида.

Правильная треугольная пирамида – это правильный тетраэдр, правильная треугольная антипризма и правильная четырехугольная бипирамида – это октаэдр, скручено удлиненная правильная пятиугольная бипирамида – это икосаэдр, правильная четырехугольная призма – это куб.

3. СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 3 – грифон.

Графан – двумерный материал, в котором один атом углерода связан с одним атомом водорода и тремя атомами углерода, результат взаимодействия графена с водородом.

Графен – двумерная аллотропная модификация углерода, образованная слоем атомов углерода толщиной в один атом.

Грифон – мифическое существо с головой, когтями и крыльями орла и телом льва.

4. СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 4 – в 1000 раз.

По определению удельной площади поверхности,

$$S_{уд} = \frac{S}{m} = \frac{S}{V\rho} = \frac{S_1 \cdot n}{V_1 \cdot n \cdot \rho} = \frac{S_1}{V_1} \cdot \frac{1}{\rho} = \frac{6a^2}{a^3} \cdot \frac{1}{\rho} = \frac{6}{a} \cdot \frac{1}{\rho},$$

где **S, V** – площадь поверхности и объем всего материала, соответственно,

S₁, V₁ – площадь поверхности и объем одной наночастицы,

n – число наночастиц в материале, **ρ** – плотность материала,

a – длина ребра кубической частицы.

Следовательно,

$$S_{уд2}/S_{уд1} = a_1/a_2:$$

при уменьшении **a** в 1000 раз величина **S_{уд}** увеличится также в 1000 раз.

5. СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 5 – 125 нм².

Поскольку число транзисторов удваивается раз в два года, то к 2030-му году удваивание произойдет

$$(2030 - 2020)/2 = 5 \text{ раз}$$

и общее число транзисторов, приходящееся на $1 \text{ мм}^2 = 1 \cdot 10^{12} \text{ нм}^2$, будет равно

$$250 \cdot 10^6 \cdot 2^5 = 8 \cdot 10^9.$$

Тогда на один транзистор будет приходиться площадь, равная

$$1 \cdot 10^{12} / 8 \cdot 10^9 = 125 \text{ нм}^2.$$

6. СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 6 – лимфоциты.

Лимфоциты являются разновидностью лейкоцитов и содержат несколько разных групп клеток. Они обеспечивают гуморальный иммунитет (образование антител), клеточный иммунитет и регулируют функционирование других иммунных клеток.

7. СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 7 – ехидна.

Все перечисленные животные, кроме ехидны, относятся к сумчатым животным, они рождаются недоразвитыми и затем растут в сумке у матери, питаются молоком, выделяющимся из сосков. Ехидна относится к другой таксономической группе — к однопроходным млекопитающим, откладывающим яйца и вскармливающим детенышей молоком, выделяющимся на молочных полях (сосков ехидны не имеют).

8. СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 8 – лилейные (*Liliaceae*).

Рисунок соответствует схеме цветка семейства лилейные.

9. СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 9 – плоские черви.

Из всех перечисленных животных только у плоских червей отсутствуют кровеносная и дыхательная системы.

10. СОВСЕМ ПРОСТОЙ ВОПРОС 10 – ракообразных.

Из всех перечисленных животных только у ракообразных есть жабры, незамкнутая система кровообращения и отсутствуют почки, у остальных животных или вообще отсутствуют все перечисленные системы, или присутствуют другие типы дыхательной, кровеносной и выделительной систем.

11. ПРОСТОЙ ВОПРОС 11 – белые адипоциты.

Белые адипоциты содержат меньше всего митохондрий по сравнению с остальными перечисленными клетками, поскольку у них нет большой потребности в АТФ и основная их функция — запасание жиров.

12. ПРОСТОЙ ВОПРОС 12 – пили.

Пили — это специфические белковые нитевидные структуры, расположенные на поверхности многих бактерий. Пили существуют только у бактерий, у эукариот никогда не встречаются.

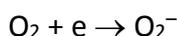
13. **ПРОСТОЙ ВОПРОС 13** – процесс расщепления глюкозы на две молекулы пировиноградной кислоты.

Остальные варианты являются неполными или неверными.

14. **ПРОСТОЙ ВОПРОС 14** – хемилюминесценция.

Хемилюминесценция — это люминесценция (свечение) тел или веществ, вызванная протеканием определенных химических реакций. На сухой или высыхающей рыбе размножались бактерии, химические реакции в которых приводили к появлению свечения.

15. **ПРОСТОЙ ВОПРОС 15** – супероксид-анион радикал.



16. **ПРОСТОЙ ВОПРОС 16** – это связано с более интенсивным накоплением электрического заряда на рёбрах и вершинах по сравнению с плоской поверхностью граней.

Интенсивность сигнала пропорциональна числу электронов.

17. **ПРОСТОЙ ВОПРОС 17** – порами одной мембраны.

Для атомов размер великоват (десятки нанометров), для контактов – маловат. Мембрана – это единый объект с порами в своем составе. А интерференционные рефлексии здесь вообще ни при чем.

18. **ПРОСТОЙ ВОПРОС 18** – наноалмаз.

В отличие от остальных перечисленных форм углерода, в наноалмазе все атомы, кроме поверхностных, связаны с 4 другими атомами.

19. **ПРОСТОЙ ВОПРОС 19** – в отличие от истинного раствора, коллоидный раствор сильно рассеивает свет.

Коллоидный раствор может флуоресцировать, а может и нет, в зависимости от типа вещества, образующего раствор. Истинные растворы пропускают свет во всем или в части видимого диапазона. Коллоидные частицы в растворе могут быть видны или нет, в зависимости от размера. Общее свойство коллоидных растворов, в отличие от истинных, - сильное рассеяние света.

20. **ПРОСТОЙ ВОПРОС 20** – высокая электропроводность.

Здесь важны только механические свойства, к которым электропроводность не относится.

21. **ВОПРОС 21** – 6,5.

Указание: используйте формулу

$$\frac{P_{Al}}{P_{Cu}} = \frac{I_{Al}^2 \cdot \rho_{Al}}{I_{Cu}^2 \cdot \rho_{Cu}}$$

22. **ВОПРОС 22** – у частиц второго сорта в 3 раза больше радиус.

Указание: используйте формулу

$$R = \frac{mv}{qB}$$

23. **ВОПРОС 23** – $6,5 \cdot 10^3$ км/с.

Указание: используйте формулу

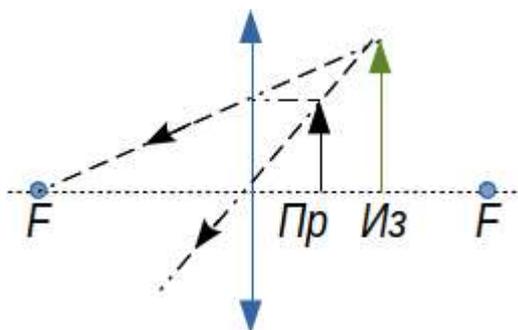
$$V = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}$$

24. **ВОПРОС 24** – увеличится в 3 раза.

Даже при новой длине волны $\frac{hc}{\lambda} > A_{\text{вых}}$, тогда фотоэффект все ещё имеет место. А число выбитых электронов равно числу фотонов.

25. **ВОПРОС 25** – собирающей линзой, если предмет находится между фокусом и линзой.

Построение изображения приведено на рисунке, где F — фокус линзы, Pr -предмет, $Из$ — изображение. Такое изображение можно получить увеличительным стеклом.



26. **ВОПРОС 26** – 180.

Если внимательно проанализировать схему каркаса, приведенную на рисунке, то можно увидеть, что вершины, в которых сходится по 5 малых треугольников (обозначим их как А), образуют большой треугольник (В), составленный из девяти А.

«Достроенный» каркас, согласно условию, имеет симметрию икосаэдра и, следовательно, составлен из двадцати треугольников В. Таким образом, всего в нем

$$9 \cdot 20 = 180 \text{ треугольников А.}$$

При размещении атомов углерода в центре каждого треугольника А получается многогранник, имеющий только пяти- и шестиугольные грани, в каждой вершине которого сходится по три ребра, то есть, фуллерен C_{180} .

27. ВОПРОС 27 – 7474.

Однобитная ячейка может принимать только два значения, 0 либо 1. То есть, чтобы закодировать один нуклеотид, который может иметь одно из четырех значений, потребуется две однобитных ячейки памяти. Значит, для записи всего генома штамма вируса понадобится

$$29896 \cdot 2 = 59792 \text{ бит памяти,}$$

что составляет $59792/8 = 7474$ байта (в одном байте содержится 8 бит).

28. ВОПРОС 28 – в 1,4 раза меньше.

Масса фотонного кристалла равна произведению его объема на кажущуюся плотность:

$$m_a = V_a \rho_a \text{ и } m_b = V_b \rho_b,$$

тогда при равенстве объемов кристалла

$$m_b/m_a = \rho_b/\rho_a.$$

Обозначим плотность SiO₂ (материала, из которого сделаны микросферы) как ρ , а радиус микросфер – как r . Тогда кажущаяся плотность равна отношению массы микросфер, приходящихся на ячейку, к объему этой ячейки V_{1i} :

$$\rho_i = \frac{m_{1i}}{V_{1i}} = \frac{n_i V_{SiO_2}}{V_{1i}} \rho = \frac{n_i V_{SiO_2}}{x_i^3} \rho,$$

где n_i – число микросфер, приходящееся на одну ячейку, $V_{SiO_2} = 4/3 \pi r^3$ – объем одной микросферы, а x_i – длина ребра кубической ячейки.

Рассчитаем n_i .

$$n_a = 8(\text{вершин куба}) \cdot 1/8(\text{доля сферы}) = 1,$$

$$n_b = 8(\text{вершин куба}) \cdot 1/8(\text{доля сферы}) + 6(\text{граней куба}) \cdot 1/2(\text{доля сферы}) = 4.$$

Найдем x_i . Поскольку в случае (а) касание микросфер происходит на ребре кубической ячейки, то его длина равна $x_a = 2r$. В случае (б) касание микросфер происходит вдоль диагонали грани кубической ячейки. Следовательно, длина диагонали квадрата составляет $4r$, а длина его стороны – $x_b = 4r/\sqrt{2}$.

Тогда

$$\rho_a = \frac{1 \cdot 4/3 \pi r^3}{(2r)^3} \rho = \frac{\pi}{6} \rho \text{ и } \rho_b = \frac{4 \cdot 4/3 \pi r^3}{(4r/\sqrt{2})^3} \rho = \frac{\sqrt{2}\pi}{6} \rho.$$

Следовательно, масса кристалла (а) в $\rho_b/\rho_a = \sqrt{2} \approx 1,4$ раза меньше кристалла (б).

29. ВОПРОС 29 – 4.

Для начала найдем, как зависит число атомов, находящееся на поверхности кубического нанокластера, от числа атомов, приходящегося на его ребро. Если мы «снимем» этот слой, то у нас останется нанокластер в форму куба, на ребро которого приходится $n - 2$ атома металла (это легко проиллюстрировать, нарисовав атомы кубического кластера в виде последовательности слоев-квадратов и закрасив на них только атомы поверхностного слоя).

Тогда в поверхностном слое

$$SC(n) = n^2 - (n - 2)^2 = 6n^2 - 12n + 8 \text{ атомов.}$$

В тоже время, в тетраэдрическом нанокластере, на ребро которого приходится $n - 2$ атома металла, будет

$$Td(n - 2) = \frac{n^3 + 9n^2 + 26n + 24}{6} \text{ атомов.}$$

Приравнивая полученные выражения друг к другу, получаем следующее кубическое уравнение:

$$n^3 - 27n^2 + 98n - 24 = 0.$$

Любое целочисленное решение данного уравнения должно быть делителем его свободного члена. Проверая все делители 24, видим, что только $n = 4$ удовлетворяет полученному уравнению.

30. ВОПРОС 30 – куб.

По определению удельной площади поверхности,

$$S_{уд} = \frac{S}{m} = \frac{S}{V\rho} = \frac{S_1 \cdot n}{V_1 \cdot n \cdot \rho} = \frac{S_1}{V_1} \cdot \frac{1}{\rho},$$

где S, V – площадь и объем всего материала, соответственно,

S_1, V_1 – площадь поверхности и объем одной наночастицы,

n – число наночастиц в материале, ρ – плотность материала.

Найдем величину соотношения $\frac{S_1}{V_1}$ для каждой из форм.

$$\text{Шар } \frac{S_1}{V_1} = \frac{\pi d^2}{\pi d^3/6} = \frac{6}{d},$$

$$\text{куб } \frac{S_1}{V_1} = \frac{6a^2}{a^3} = \frac{6}{a},$$

$$\text{цилиндр } \frac{S_1}{V_1} = \frac{\pi d^2/2 + \pi d \cdot h}{\pi d^2/4 \cdot h} = \frac{\pi d^2/2 + \pi d^2}{\pi d^3/4} = \frac{6}{d},$$

То есть, при равенстве величины удельной площади поверхности диаметр шара равен диаметру и высоте цилиндра и равен ребру куба (обозначим такую величину как a).

Найдем размеры этих фигур как диаметр описанной сферы:

$$\text{шар: } D = a,$$

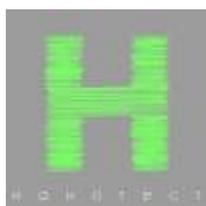
$$\text{куб: } D = a\sqrt{3} (\text{объемная диагональ}),$$

$$\text{цилиндр: } D = a\sqrt{2} (\text{диагональ квадратного сечения цилиндра}).$$

В порядке возрастания:

$$a < a\sqrt{2} < a\sqrt{3}.$$

Наибольший размер имеет куб.



Нанотест - приглашение на Олимпиаду

Комплекс предметов

Категория участников: школьники

Тренировочный краткий тест, позволяющий получить дополнительные баллы к основному конкурсу по комплексу предметов "химия, физика, математика, биология". Тест включает 5 вопросов, правильный ответ на каждый из которых оценивается в 1 балл. Набранные баллы будут добавлены к сумме баллов по комплексу предметов «химия, физика, математика, биология».

Вопрос №1



Нанотехнологии - одновременно современная область междисциплинарных знаний и высокие технологии будущего. Поэтому первый вопрос - из области определений (договоренностей) и ... математики.

Какие по размеру объекты входят в сферу интересов нанотехнологий?

больше 1 микрометра, но меньше 1 миллиметра
от 1 до 10 ангстрем
от 1 до 100 нанометров
меньше 1 пикометра
больше 1 парсека

Вопрос №2



Всякий объект нанотехнологий должен быть синтезирован или получен с использованием различных процедур, которые, как раз, и составят основу технологии производства. Поэтому второй вопрос - про химию и ее интересы.

Какая из частиц ниже наиболее интересна химии, поскольку участвует в

образовании химических связей?

протон
нейтрон
электрон
позитрон
нейтрино

Вопрос №3



Полученные с помощью нанотехнологий объекты нельзя увидеть невооруженным глазом. Для этого, строго говоря, необходимо изменить физический принцип визуализации объекта.

Поэтому вопрос по физике - **с помощью какого из приведенных ниже приборов можно визуализировать отдельные нанобъекты?**

электронный микроскоп
конфокальный оптический микроскоп
линза Левенгука
линза Френеля
кольца Ньютона

Вопрос №4



С самого начала развития нанотехнологий очень многие разработки были направлены в область современной медицины. Поэтому хотелось бы задать принципиальный вопрос по биологии.

Какой из перечисленных ниже объектов НЕ является в полном смысле слова живым, то есть не удовлетворяет хотя бы одному из перечисленных критериев: способности к самостоятельному активному существованию, обменным процессам с окружающей средой, самостоятельному размножению?

золотистый стафилококк
амеба
плесень
вирус COVID-19
медуза

Вопрос №5



Есть в нанотехнологиях и интерес для тех, кто интересуется историей, экономикой, влиянием нанотехнологий на общество, технопредпринимательством, и т.д. Без этого тоже никуда, потому что, кто первый сможет достичь вершин прогресса, тот победит и сделает жизнь лучше. Поэтому последний вопрос - из гуманитарной сферы.

Когда начались нанотехнологии в мире?

о них было объявлено в 19 веке

они официально стартовали в 20 веке

они начались только в 21 веке

они еще не начались

про них говорили еще в 3 веке до нашей эры



Нанотест – приглашение на Олимпиаду (заочный тур) Решение

Тест "Нанотест – приглашение на Олимпиаду" (<https://enanos.nanometer.ru/test/10>) имеет начальный уровень сложности и проверяет базовые знания в области нанотехнологий и наноматериалов. Тест рассчитан на достаточно широкий круг участников, в основном, на школьников, в том числе тех, кто только начинает знакомиться с областью «нано».

ВОПРОС 1. Правильный ответ: от 1 до 100 нанометров.

От 1 до 100 нм. Данный диапазон рекомендован всемирно известной международной организацией IUPAC (Международным союзом чистой и прикладной химии).

ВОПРОС 2. Правильный ответ: электрон.

В образовании химических связей между атомами участвуют электрон(ы), точнее, электронные «облака», «электронная плотность», в силу того, что электрон обладает корпускулярно-волновым дуализмом (и частица, и волна) и поэтому его нахождение в конкретной области пространства вероятно и зависит от электронной структуры атомов, между которыми образуется тот или иной тип связи.

ВОПРОС 3. Правильный ответ: электронный микроскоп.

Электронный микроскоп (растровый электронный микроскоп высокого класса и, тем более, просвечивающий электронный микроскоп) позволяет визуализировать отдельные нанообъекты, поскольку пространственного разрешения оптической микроскопии для этого недостаточно в силу большой длины волны «осветителя» (видимого света), позволяющей видеть только объекты микронного размера. В электронной микроскопии «освещение» обеспечивается пучком электронов, разогнанных до достаточно больших скоростей ускоряющим напряжением микроскопа, которое превращает освещение в существенно более коротковолновое.

ВОПРОС 4. Правильный ответ: вирус COVID-19.

Споры о том, «живое» или «неживое» обычно идут по отношению к вирусам, которые не способны к самостоятельному активному существованию и самостоятельному размножению, а используют для этого, как самые злостные паразиты, клетки «хозяина» и их ресурсы, вызывая обычно при этом у многоклеточного организма то или иное заболевание. Вирус COVID-19 можно считать поэтому неживым биологическим «нанороботом».

ВОПРОС 5. Правильный ответ: они официально стартовали в 20 веке.

Они официально стартовали в 20 веке. В частности, как минимум, лекция «Внизу много места: приглашение войти в новую область физики» («There's Plenty of Room at the Bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics»), прочитанная известным физиком Ричардом Фейнманом на ежегодной встрече Американского физического общества в Калифорнийском технологическом институте (MIT) 29 декабря 1959 года, в ряде стран считается отчетом начала нанотехнологий в мире. Хотя в России много ученых по факту занимались нанотехнологиями задолго до этой знаменитой лекции.

ENANOS.NANOMETER.RU

XV ВСЕРОССИЙСКАЯ ИНТЕРНЕТ-ОЛИМПИАДА "НАНОТЕХНОЛОГИИ - ПРОРЫВ В БУДУЩЕЕ"!

Организаторы



МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА



ФОНД ИНФРАСТРУКТУРНЫХ
И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ПРОГРАММ
Группа РОСНАНО

Партнеры



НАУКА И ЖИЗНЬ



РОССИЙСКИЙ СОВЕТ
ОЛИМПИАД
ШКОЛЬНИКОВ

