



СБОРНИК ЗАДАНИЙ

Часть 1

2021-2022

Сборник заданий

XVI Всероссийской олимпиады
«Нанотехнологии – прорыв в будущее!»

Часть 1. Задания отборочного этапа

Первая часть *Сборника заданий XVI Всероссийской олимпиады «Нанотехнологии – прорыв в будущее!»* посвящена конкурсам отборочного этапа Олимпиады 2021/22 учебного года и объединяет условия задач (с решениями) по комплексу предметов «химия, физика, математика, биология», конкурса «Юный эрудит», тестов Заочной Научно-Технологической Школы (ЗНТШ'2021), а также включает информацию о конкурсе проектных работ «Гениальные мысли».

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

Список авторов (в алфавитном порядке):

Байжуманов Адиль Ануарович
Берекчиян Михаил Вартанович
Браже Алексей Рудольфович
Браже Надежда Александровна
Гладилин Александр Кириллович
Григорьева Анастасия Вадимовна
Дроздов Андрей Анатольевич
Коробов Михаил Валерьевич
Львов Леонид Олегович
Макеева Екатерина Анатольевна
Никельшпарг Эвелина Ильинична
Павликов Александр Владимирович
Паршина Евгения Юрьевна
Силичева Маргарита Александровна
Слатинская Ольга Вадимовна
Шарафутдинова Альфия Масхутовна
Юсипович Александр Иванович

Составители сборника и организаторы отборочного этапа (в алфавитном порядке):

Гудилин Евгений Алексеевич
Еремин Вадим Владимирович
Еремина Елена Алимовна
Семенова Анна Александровна

Организатор Всероссийской олимпиады «Нанотехнологии – прорыв в будущее!» – **Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова.**



Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова – крупнейший классический университет России. Указ о создании университета был подписан императрицей Елизаветой Петровной 24 января 1755 года. Сегодня в Московском университете обучается более 45 тысяч человек из всех регионов страны. МГУ включает в себя 40 факультетов, 15 научно-исследовательских институтов, около 750 кафедр, отделов и лабораторий, Медицинский научно-образовательный центр, Научная библиотека, 5 музеев, Ботанический сад, Научный парк, филиалы в Севастополе, Сарове, Ташкенте, Астане, Баку, Душанбе, Ереване, Копере. МГУ имени М.В.Ломоносова – ведущий научный центр страны, в составе которого сформировались крупные научные школы, работали Нобелевские лауреаты, лауреаты Государственных премий СССР и России. Из 18 Нобелевских лауреатов – наших соотечественников – одиннадцать являлись выпускниками или профессорами Московского университета.

Сайт: <https://www.msu.ru/>

Отборочный этап XVI Всероссийской олимпиады «Нанотехнологии – прорыв в будущее!» проводится при поддержке компании **«Иннопрактика».**



Иннопрактика

«Иннопрактика» — негосударственный институт развития, реализующий проекты, направленные на рост национального человеческого капитала, в том числе посредством развития структур и механизмов инновационной экономики.

Компания осуществляет свою деятельность с 2012 года и объединяет Центр национального интеллектуального резерва МГУ и Фонд поддержки научно-проектной деятельности студентов, аспирантов и молодых ученых «Национальное интеллектуальное развитие», учредителем которого является МГУ имени М.В. Ломоносова.

Основная цель деятельности компании – содействие росту национального человеческого капитала путем формирования благоприятных условий для раскрытия потенциала исследователей и инноваторов в создании технологий и решений.

Сайт: <https://innopraktika.ru/>

Содержание

Юный эрудит	8
Нанозагадки	11
Решение (Нанозагадки)	12
Китайские краски	13
Решение (Китайские краски)	14
Слова и названия	15
Решение (Слова и названия)	16
Весь SARS-CoV-2 в мире	17
Решение (Весь SARS-CoV-2 в мире)	18
Египетская головоломка	19
Решение (Египетская головоломка)	20
Такие многогранные кластеры	22
Решение (Такие многогранные кластеры)	24
Наносенсоры тепла и холода	26
Решение (Наносенсоры тепла и холода)	27
Лабиринты спиралей фуллеренов	28
Решение (Лабиринты спиралей фуллеренов)	30
Фонтан-молекула	32
Решение (Фонтан-молекула)	33
Нанофилворд	34
Решение (Нанофилворд)	35
Винни Пух и Медовая фабрика	37
Решение (Винни Пух и Медовая фабрика)	38
О тигре	39
Решение (О тигре)	41
Нерадивый Васисуалий	42
Решение (Нерадивый Васисуалий)	44
Микро- и макроэлементы	45
Решение (Микро- и макроэлементы)	47
Биология. Отборочный этап	48
Авиакатастрофа в Боливии	51
Решение (Авиакатастрофа в Боливии)	52
Такая разная клеточная смерть	53
Решение (Такая разная клеточная смерть)	54
Магнетотактика	55
Решение (Магнетотактика)	57
Морковкин! Собери микроскоп!	58
Решение (Морковкин! Собери микроскоп!)	60
Целевая и генная терапия - настоящее и будущее фармакологии	61
Решение (Целевая и генная терапия - настоящее и будущее фармакологии)	67

Cre-Lox	68
Решение (Cre-Lox)	71
Зоркий Леголас	73
Решение (Зоркий Леголас)	74
Бабочки, осы и вирусы	75
Решение (Бабочки, осы и вирусы)	78
Загадочные митохондрии	79
Решение (Загадочные митохондрии)	81
Светящиеся рыбки	82
Решение (Светящиеся рыбки)	83
Математика. Отборочный этап	84
Суперпамять	87
Решение (Суперпамять)	89
Графеновая радуга	90
Решение (Графеновая радуга)	92
Наноструктурный анод литий-ионного аккумулятора	94
Решение (Наноструктурный анод литий-ионного аккумулятора)	96
Фаграфен	98
Решение (Фаграфен)	99
Нанороллы	102
Решение (Нанороллы)	103
Эффективность вакцины	104
Решение (Эффективность вакцины)	105
Полые металлические кластеры как луковица	107
Решение (Полые металлические кластеры как луковица)	109
Геометрия нанокластера RuSn9	113
Решение (Геометрия нанокластера RuSn9)	114
Четырехвалентные многогранники Гольдберга	117
Решение (Четырехвалентные многогранники Гольдберга)	119
Необычные углеродные структуры	121
Решение (Необычные углеродные структуры)	123
Физика. Отборочный этап	127
Костный имплант	130
Решение (Костный имплант)	132
Масс-спектр фуллерена	134
Решение (Масс-спектр фуллерена)	135
Разделение углеводов	137
Решение (Разделение углеводов)	138
Эпитаксия нанослоя	141
Решение (Эпитаксия нанослоя)	142
Нанонити для термоэлектричества	143
Решение (Нанонити для термоэлектричества)	144
Наночастица в живой ткани	145

Решение (Наночастица в живой ткани)	146
Ионное травление	147
Решение (Ионное травление)	148
Наноробот	149
Решение (Наноробот)	150
Нанопинцет	151
Решение (Нанопинцет)	152
«Эффект миража»	153
Решение («Эффект миража»)	155
Химия. Отборочный этап	156
Материалы для химических источников тока	159
Решение (Материалы для химических источников тока)	160
Оксид графена	162
Решение (Оксид графена)	163
Кремниевые нановискеры	165
Решение (Кремниевые нановискеры)	166
Масса мембраны	167
Решение (Масса мембраны)	168
Сложный оксид	170
Решение (Сложный оксид)	171
Новое соединение	173
Решение (Новое соединение)	174
Нанонити	176
Решение (Нанонити)	178
Дружелюбные белки	180
Решение (Дружелюбные белки)	182
Наночастицы на целлюлозе	184
Решение (Наночастицы на целлюлозе)	185
Превращения наночастиц	186
Решение (Превращения наночастиц)	187
Гениальные мысли	188
Задание	190
Тест ЗНТШ. Биология	191
Тест ЗНТШ. Биология	191
Решение (Тест ЗНТШ. Биология)	195
Тест ЗНТШ. Математика	197
Тест ЗНТШ. Математика	197
Решение (Тест ЗНТШ. Математика)	202
Тест ЗНТШ. Химия	207
Тест ЗНТШ. Химия	207
Решение (Тест ЗНТШ. Химия)	211
Тест ЗНТШ. Физика	213
Тест ЗНТШ. Физика	213
Решение (Тест ЗНТШ. Физика)	217



Юный эрудит

Юный эрудит

Категория участников: школьники 5-7 классов

Специальный конкурс с блоком простых задач для школьников младших классов. Лучшие школьники-младшеклассники будут награждены дипломами и подарками от Оргкомитета.

Перед отправкой заявки, пожалуйста, внимательно ознакомьтесь с [инструкцией по загрузке работ](#).

Задания

1. Нанозагадки

Все отгадки содержат приставку «нано». Если в диаметре не достигает и ста нанометров крупница, по ИЮПАК её называют спецтермином «...». Он кристаллом быть не вправе. Вам подскажет мастер: десять атомов в составе – это – «...»...

2. Китайские краски

Для росписи китайского фарфора эпохи Цин использовали разнообразные надглазурные краски, которые закрепляли обжигом в муфельной печи. На фотографии приведен фрагмент напольной вазы, украшенной росписью. Краски, которые в ней использованы, содержат...

3. Слова и названия

Заполните поле в левой части словами: частица, размер которой от 1 до 100 нм, единица измерения, равная 1000 нанометров, двумерный слой углерода, обладающий высокой прочностью и проводимостью...

4. Весь SARS-CoV-2 в мире

Известно, что: в мире одновременно ковидом болеют 20 миллионов людей, • средняя

вирусная нагрузка составляет 10 миллиардов вирусных частиц на человека, • частицу вируса SARS-CoV-2 для простоты расчетов можно считать кубом с ребром 100 нм...

5. Египетская головоломка

Одна из старейших геометрических головоломок, известная еще со времен Древнего Египта, может быть переформулирована так: «из n прямоугольных металлических нанокластеров, периметр каждого из которых составляет $2n + 2$ атома, можно сложить пирамиду»...

6. Такие многогранные кластеры

Сопоставьте форму частиц на представленных в файле микрофотографиях с многогранниками, перечисленными в таблице...

7. Наносенсоры тепла и холода

Открытие и исследование рецепторов, обеспечивающих наше восприятие тепла и холода (наряду с механическими рецепторами), были удостоены Нобелевской премии по физиологии и медицине в 2021 году. Рецепторы, которые отвечают за восприятие температуры, способны также «срабатывать»...

8. Лабиринты спиралей фуллеренов

Молекулы фуллеренов представляют собой выпуклые многогранники, составленные из пяти- и шестиугольных граней, в вершинах которых находятся атомы углерода. Стартуя из любой грани многогранника большинства фуллеренов в любом направлении...

9. Фонтан-молекула

В городе Петрозаводск в Студенческом сквере находится фонтан «Молекула» (см. рисунок). Согласно задумке архитектора, фигура, украшающая данный фонтан, является фуллереном. Дайте определение фуллерена и сопоставьте его с фото фонтана...

10. Нанофилворд

На поле размером 13 на 16 букв зашифрованы 16 слов, имеющих то или иное отношение к нанотехнологиям. Способ поиска показан на примере слова «нано» (горизонтально слева направо или вертикально сверху вниз, диагональных слов и слов с обратным порядком букв, а также...)

11. Винни Пух и Медовая фабрика

После встречи с Неправильными пчёлами, которые точно делали неправильный мёд, Винни-Пух задумался о создании собственной пасеки с правильным мёдом и Правильными пчелами. Изучив всю имеющуюся литературу по пчеловодству, Винни с Пятачком поставили ульи...

12. О тигре

Следующий год по Восточному календарю — это год Тигра. Прекрасный повод вспомнить об этом могучем и умном животном! Между домашними кошками и тиграми есть сходства и есть различия. Это неудивительно. Но насколько близкими родственниками они являются?..

13. Нерадивый Васисуалий

Нерадивый аспирант Васисуалий Пупкин никогда не вел лабораторного журнала. При помощи фотокамеры на окуляре микроскопа он отснял несколько объектов, а затем открыл камеру от микроскопа и взял ее с собой в отпуск. Отпуск прошел так замечательно...

14. Микро- и макроэлементы

Разгадайте все химические элементы по горизонтали и узнайте закодированный элемент по вертикали. Ответьте на дополнительные вопросы. Пары этого металла даже в небольшом количестве могут вызвать тяжелое отравление. Что это за металл?.. **Обновление от 10.01.2022: в тексте задачи исправлен порядок вопросов 5 и 6, файл с заданием обновлен. Приносим извинения.**



Юный эрудит Задача 1. Нанозагадки

Все отгадки содержат приставку «нано»

Если в диаметре не достигает
и ста нанометров крупица,
по ИЮПАК её называют
спецтермином «...».

Он кристаллом быть не вправе.
Вам подскажет мастер:
десять атомов в составе –
это – «...».

В нём каждый кристаллик имеет
карбонный прочный каркас,
но различить кто угодно сумеет
объёмный и «...».

Свойства разных компонентов
с пользой он объединит:
нановискеров, цементов...
это – «...».

Если синтез в нём происходит,
то он действует будто редактор:
наноразмеры воспроизводит
у продуктов «...».

За каждый верный ответ **1 балл**.

Всего – 5 баллов



Юный эрудит Решение задачи 1. Нанозагадки

Если в диаметре не достигает
и ста нанометров крупица,
по ИЮПАК её называют
спецтермином «**наночастица**».

Он кристаллом быть не вправе.
Вам подскажет мастер:
десять атомов в составе –
это **нанокластер**.

В нём каждый кристаллик имеет
карбоновый прочный каркас,
но различить кто угодно сумеет
объёмный и **наноалмаз**.

Свойства разных компонентов
с пользой он объединит:
нановискеров, цементов...
это **нанокомпозит**.

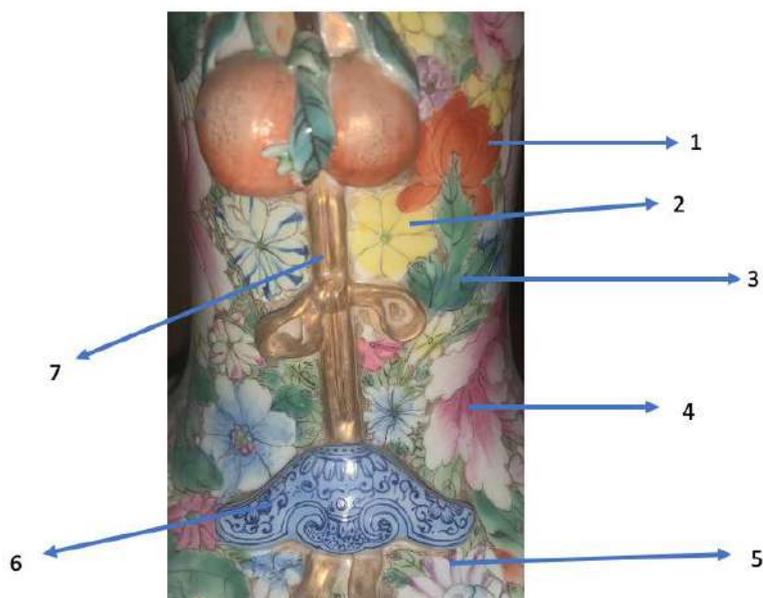
Если синтез в нём происходит,
то он действует будто редактор:
наноразмеры воспроизводит
у продуктов **нанореактор**.



Юный эрудит
Задача 2. Китайские краски

Для росписи китайского фарфора эпохи Цин использовали разнообразные надглазурные краски, которые закрепляли обжигом в муфельной печи. На фотографии приведен фрагмент напольной вазы, украшенной росписью. Краски, которые в ней использованы, содержат в своем составе различные ионы металлов – марганец(+3), медь(+2), кобальт(+2), а также частицы микронного размера – кристаллы антимоната свинца и гематита. Золото присутствует в росписи в двух видах – в виде пленки и в виде наночастиц.

1. Соотнесите цифры на фотографии с каждой краской. **(7 баллов)**



Частицы, вызывающие окраску	Номер на рисунке
золото пленка	
золото наночастицы	
гематит	
антимонат свинца	
ионы кобальта	
ионы меди	
ионы марганца	

2. Напишите номера двух красок из числа приведенных на фото, красящий компонент которых придает им матовость. **(2 балла)**

3. Какое(какие) из покрытий обладает электропроводностью? **(1 балл)**

Всего – 10 баллов



Юный эрудит Решение задачи 2. Китайские краски

1. Таблица соответствия выглядит так:

Частицы, вызывающие окраску	Номер на рисунке
золото пленка	7
золото наночастицы	4
гематит	1
антимонат свинца	2
ионы кобальта	6
ионы меди	3
ионы марганца	5

- Номера двух красок, красящий компонент которых придает им матовость: 1, 2.
- Электропроводностью обладает покрытие под номером 7.



Юный эрудит
Задача 3. Слова и названия

Заполните поле в левой части словами **(5 баллов)**

	– частица, размер которой от 1 до 100 нм
	– единица измерения, равная 1000 нанометров
	– двумерный слой углерода, обладающий высокой прочностью и проводимостью
	– материал, изменяющий свои свойства под влиянием внешних условий (давления, температуры)
	– аллотропная модификация углерода, растворимая в хлороформе

Составьте из первых букв этих слов название одного из лучших факультетов одного очень известного университета. Одно из слов вам придется использовать дважды. **(2 балла)**

Всего – 7 баллов



Юный эрудит

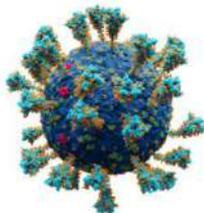
Решение задачи 3. Слова и названия

Наночастица	– частица, размер которой от 1 до 100 нм
Микрон	– единица измерения, равная 1000 нанометров
Графен	– двумерный слой углерода, обладающий высокой прочностью и проводимостью
Умный	– материал, изменяющий свои свойства под влиянием внешних условий (давления, температуры)
Фуллерен	– аллотропная модификация углерода, растворимая в хлороформе

ФНМ МГУ



Юный эрудит
Задача 4. Весь SARS-CoV-2 в мире



Известно, что:

- в мире одновременно ковидом болеют 20 миллионов людей,
- средняя вирусная нагрузка составляет 10 миллиардов вирусных частиц на человека,
- частицу вируса SARS-CoV-2 для простоты расчетов можно считать кубом с ребром 100 нм.

Для всех частиц вируса SARS-CoV-2 в мире рассчитайте:

1. Минимальный объем (в мл) емкости, в которую поместятся все частицы. **(2 балла)**
2. Минимальный размер (в м) квадратного поля, на котором могут разместиться все частицы вируса в виде плоского слоя толщиной в одну частицу. **(2 балла)**

Всего – 4 балла



Юный эрудит

Решение задачи 4. Весь SARS-CoV-2 в мире

Общее число вирусных частиц SARS-CoV-2 в мире равно произведению числа одновременно болеющих людей на число вирусных частиц, приходящихся на одного человека:

$$N = 20 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^9 = 2 \cdot 10^{17}.$$

1. Суммарный объем всех вирусных частиц SARS-CoV-2 в мире составляет

$$V = V_1 \cdot N = 100^3 \cdot 2 \cdot 10^{17} \text{ нм}^3 = 2 \cdot 10^{23} \text{ нм}^3 = 200 \text{ мл},$$

где V_1 – объем одной вирусной частицы.

2. Общая площадь, занимаемая плоским слоем толщиной в одну частицу и состоящим из $2 \cdot 10^{17}$ частиц SARS-CoV-2, равна

$$S = S_1 \cdot N = 100^2 \cdot 2 \cdot 10^{17} \text{ нм}^2 = 2 \cdot 10^{21} \text{ нм}^2 = 2000 \text{ м}^2,$$

где S_1 – площадь, занимаемая одной вирусной частицей.

Эта площадь примерно соответствует квадрату 45 на 45 метров.



Юный эрудит Задача 5. Египетская головоломка



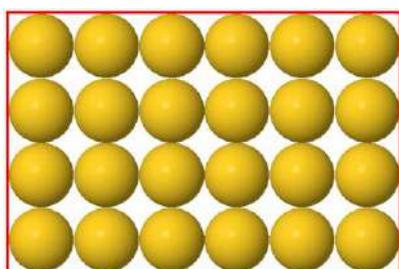
Одна из старейших геометрических головоломок, известная еще со времен Древнего Египта, может быть переформулирована так:

«из n прямоугольных¹ металлических нанокластеров, периметр каждого из которых составляет $2n + 2$ атома, можно сложить пирамиду».

При этом каждый нанокластер фиксированной формы берется не более двух раз, форма нанокластеров в процессе сборки не меняется.

1. Перечислите все возможные прямоугольные кластеры для $n = 6$. **(1 балл)**
2. Соберите головоломку с $n = 6$. Опишите ход решения либо проиллюстрируйте его схемой или фотографией модели. **(3 балла)**
3. Как называется полученная геометрическая фигура? Сколько у нее вершин, ребер и граней? **(1 балл)**

¹ т.е., нанокластеров высотой один атом в форме прямоугольника, периметром которого считается периметр прямоугольника, описанного вокруг этого нанокластера:



P = 20 атомов

Всего – 5 баллов



Юный эрудит Решение задачи 5. Египетская головоломка

1. Для $n = 6$ периметр, по условию, равен

$$P = (2n + 2) \cdot 1 = 14 \text{ атомов.}$$

В то же время, периметр прямоугольника – это удвоенная сумма его длины a и ширины b :

$$P = 2(a + b),$$

откуда

$$a + b = 7 \text{ атомов.}$$

Всего существует три нанокластера вида $a \times b$, отвечающих данному числу атомов:

- 6×1 (он же 1×6 , представляет собой цепочку из шести атомов),
- 5×2 (он же 2×5)
- и 4×3 (он же 3×4).

2. Пирамида собирается по слоям, параллельным одному из ее ребер:

- 1) берем первый «прямоугольник» – цепочку из 6 атомов (его край помечен красным, см. рис. 1);
- 2) поверх него размещаем второй прямоугольник, 5×2 (помечен оранжевым, рис. 1), так, чтобы его центральная линия располагалась над цепочкой предыдущего ряда;
- 3) затем сверху помещаем прямоугольник 4×3 (помечен желтым, рис. 1), потом 3×4 (помечен зеленым, рис. 1) и 2×5 (помечен голубым, рис. 1);
- 4) завершаем сборку последним, шестым, «прямоугольником» – цепочкой 1×6 (она окрашена синим, рис. 1), при этом данная цепочка будет размещаться перпендикулярно первоначальной цепочке атомов 6×1 (край которой помечен красным, рис. 1).

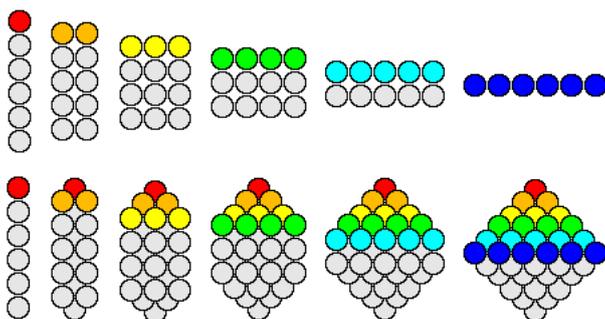


Рис. 1. Последовательная сборка пирамиды. Края нанокластеров, отмеченные цветом, при этом складываются в одну из треугольных граней пирамиды.

3. Отвечающая полученному кластеру-пирамиде геометрическая фигура (рис. 2) называется тетраэдр, он же – равносторонняя треугольная пирамида. У этой фигуры 4 вершины, 6 ребер, на каждое из которых приходится по 6 атомов, и 4 треугольных грани.

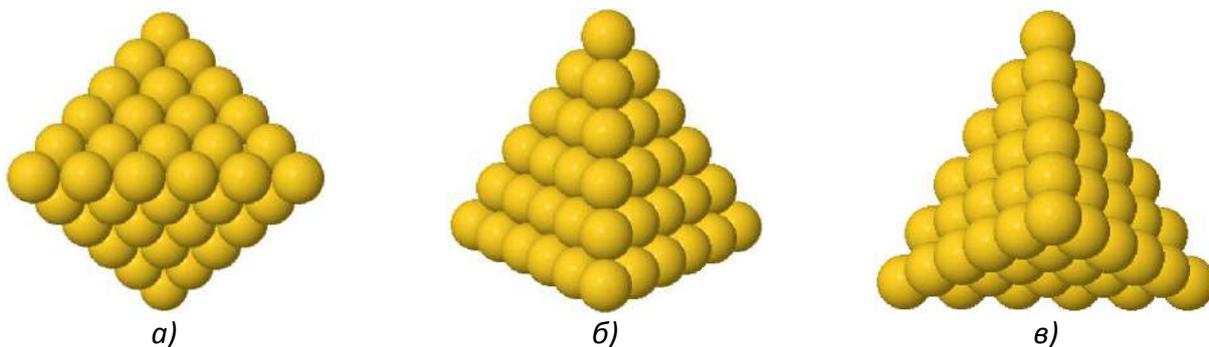


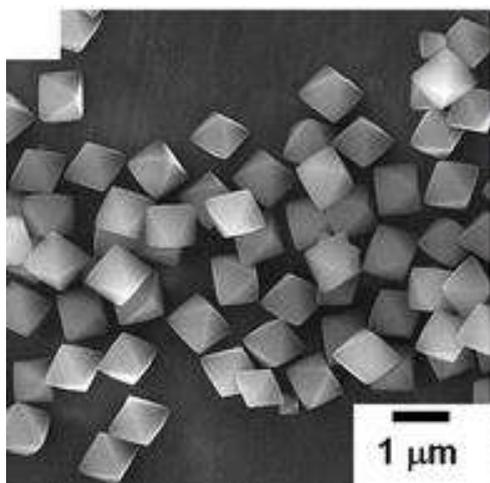
Рис. 2. Тетраэдр.

- а) Вид сверху (сразу после сборки, поставлен на одно из ребер).
б) Вид сбоку (поставлен на одну из граней).
в) Вид сверху (поставлен на одну из граней).*

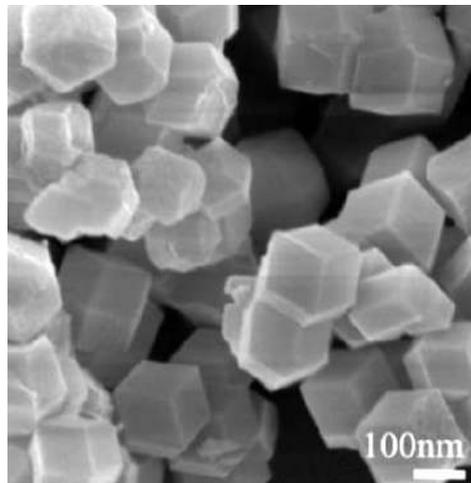


Юный эрудит
Задача 6. Такие многогранные кластеры

Сопоставьте форму частиц на представленных ниже микрофотографиях с многогранниками, перечисленными в таблице.



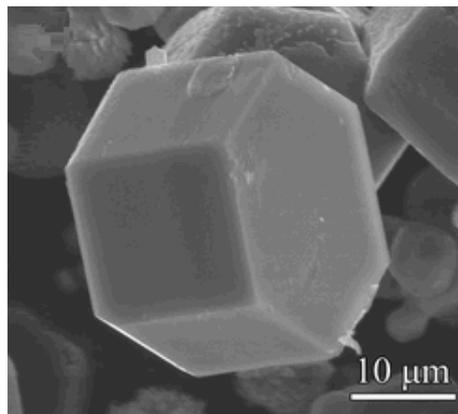
A



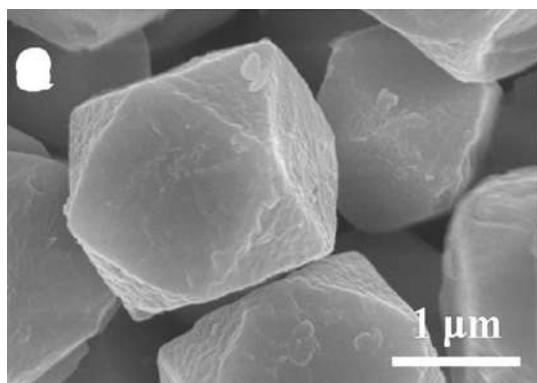
Б



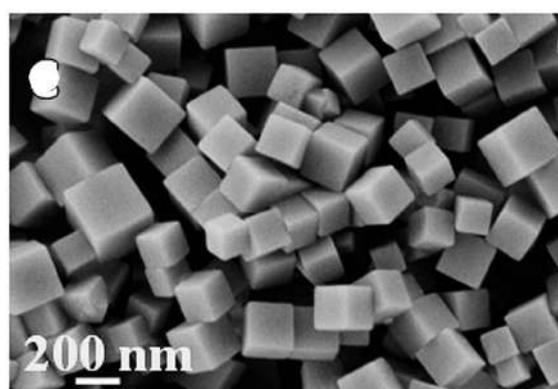
B



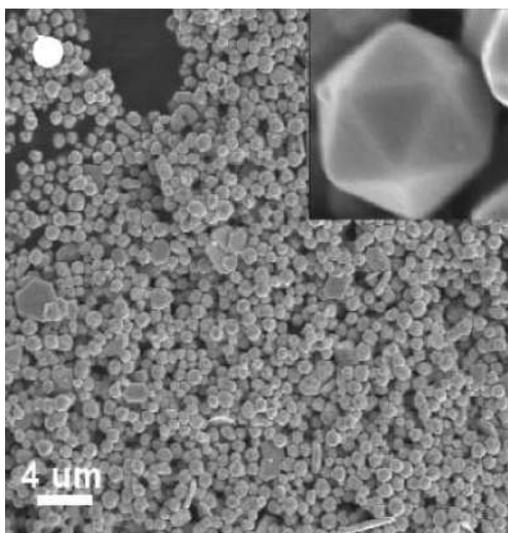
Г



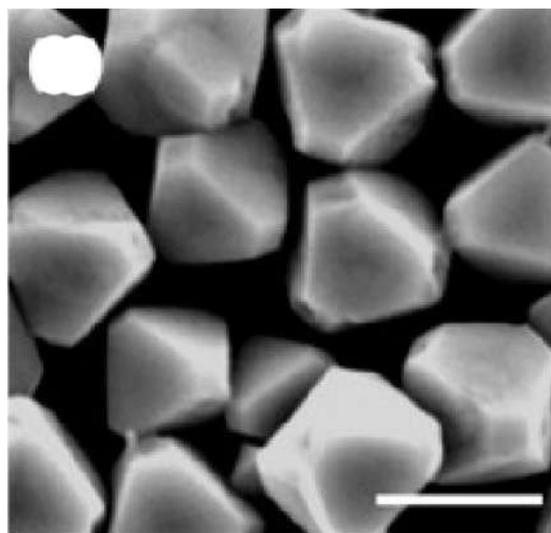
Д



Е

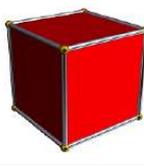
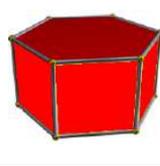
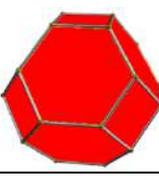
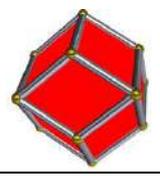


Ж



З

Многогранники

				
тетраэдр	куб	октаэдр	икосаэдр	шестиугольная призма
				
усеченный тетраэдр	усеченный куб	усеченный октаэдр	кубооктаэдр	ромбододекаэдр

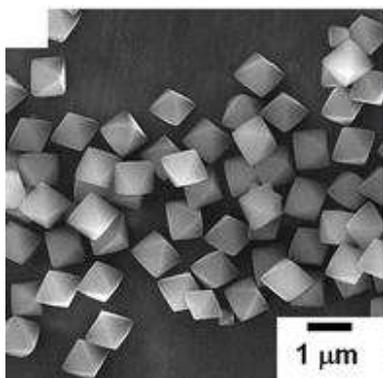
Всего – 4 балла



Юный эрудит

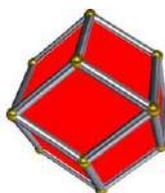
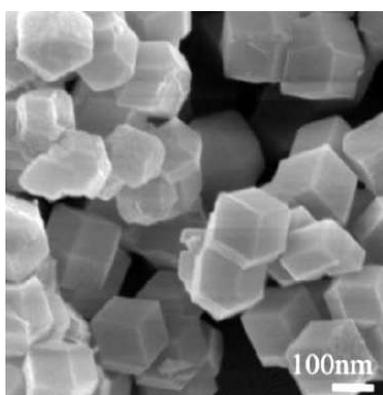
Решение задачи 6. Такие многогранные кластеры

А



октаэдр

Б



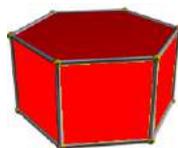
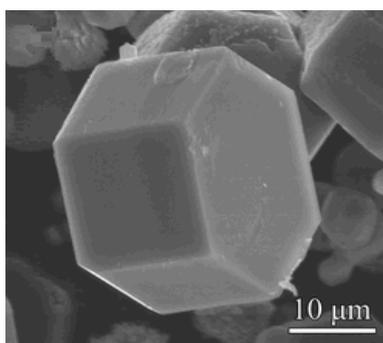
ромбододекаэдр

В



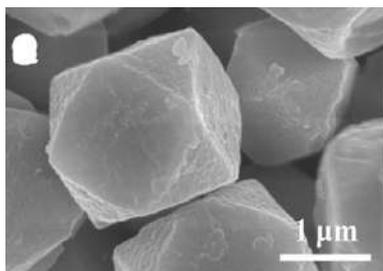
тетраэдр

Г



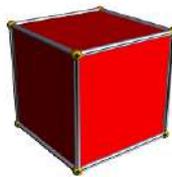
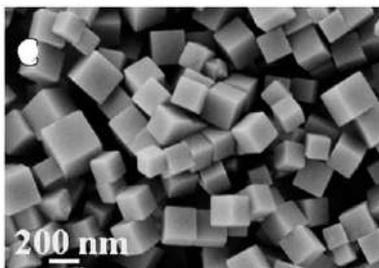
шестиугольная призма

Д



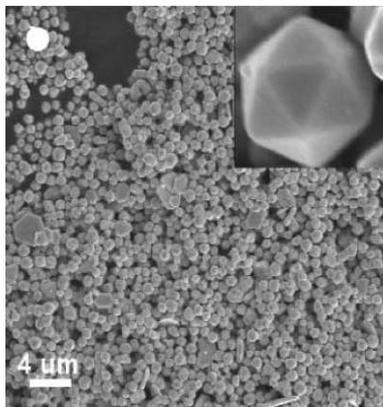
кубооктаэдр

Е



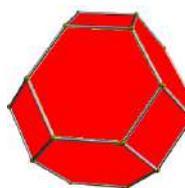
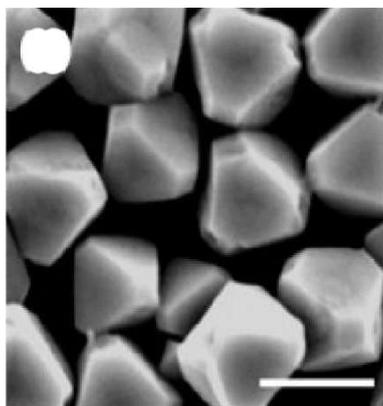
куб

Ж



икосаэдр

З



усеченный октаэдр



Юный эрудит

Задача 7. Наносенсоры тепла и холода



Открытие и исследование рецепторов, обеспечивающих наше восприятие тепла и холода (наряду с механическими рецепторами), были удостоены Нобелевской премии по физиологии и медицине в 2021 году.

Рецепторы, которые отвечают за восприятие температуры, способны также «срабатывать» от действия разнообразных химических веществ, которые вырабатывают животные и растения.

1. Вещества из каких хорошо известных вам растений воздействуют на
 - рецепторы тепла, **(1 балл)**
 - рецепторы холода? **(1 балл)**
2. Какой еще распространенный класс веществ оказывает действие на рецепторы тепла? **(1 балл)**
3. Приведите несколько примеров, как и зачем животные и растения используют вещества, воздействующие на эти рецепторы. **(2 балла)**

Всего – 5 баллов



Юный эрудит

Решение задачи 7. Наносенсоры тепла и холода

1.

- Стручковый перец. Он содержит вещество капсаицин, которое действует на рецепторы тепла (перец «жжется»). // *Правильным ответом считается упоминание любого растения, плоды которого содержат достаточное количество капсаицина либо пиперина (например, черный перец).*
 - Перечная мята. Она содержит ментол, который действует на рецепторы холода («холодок» от мятных леденцов). // *Правильным ответом считается упоминание любого растения, побеги которого содержат значительное количество ментола.*
2. На рецептор тепла также оказывают воздействие кислоты (соприкосновение с ними вызывает ощущение жжения).
3. Эти вещества оказывают раздражающее действие, которое может использоваться для:
- защиты от других животных (муравьиная кислота, которую вырабатывают как муравьи и медузы, так и, например, крапива);
 - защиты от поедания побегов растения или его плодов некоторыми видами животных (мята, перец). Примечательно, что рецепторы тепла у птиц не чувствительны к капсаицину, поэтому они спокойно едят перец и распространяют его семена.



Юный эрудит

Задача 8. Лабиринты спиралей фуллеренов

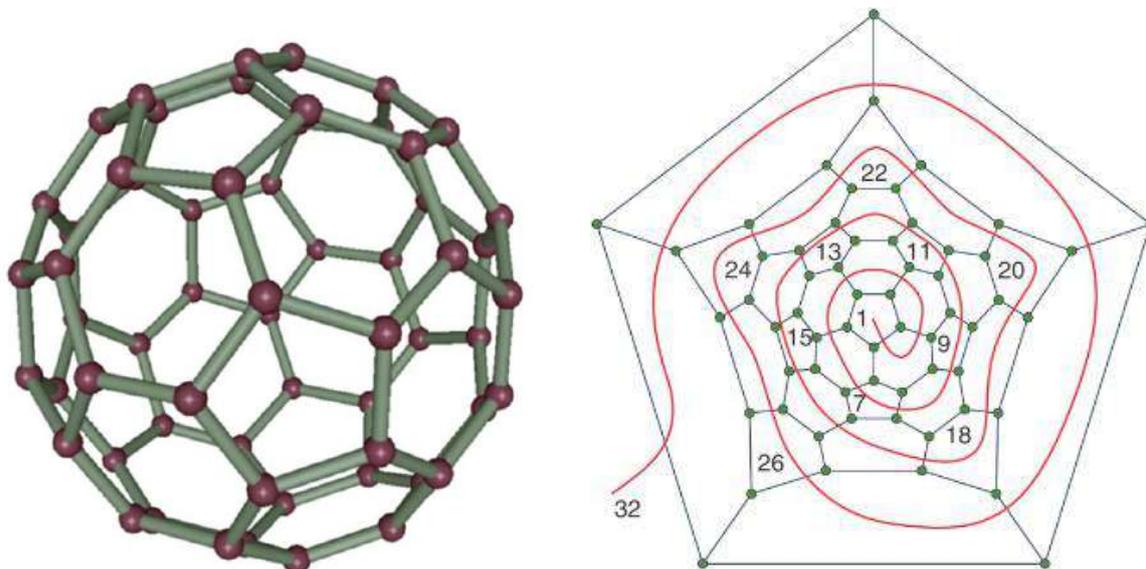


Рис. 1. Фуллерен C_{60} (бакибол) и его плоская проекция¹ с одним из возможных вариантов обхода многогранника, соответствующего ему, по спирали

Молекулы фуллеренов представляют собой выпуклые многогранники, составленные из пяти- и шестиугольных граней, в вершинах которых находятся атомы углерода. Стартуя из любой грани многогранника большинства фуллеренов в любом направлении (то есть, двигаясь по или против часовой стрелки), можно обойти этот многогранник по спирали так, чтобы посетить все его грани, причем, каждую из них – ровно по одному разу (рис. 1).

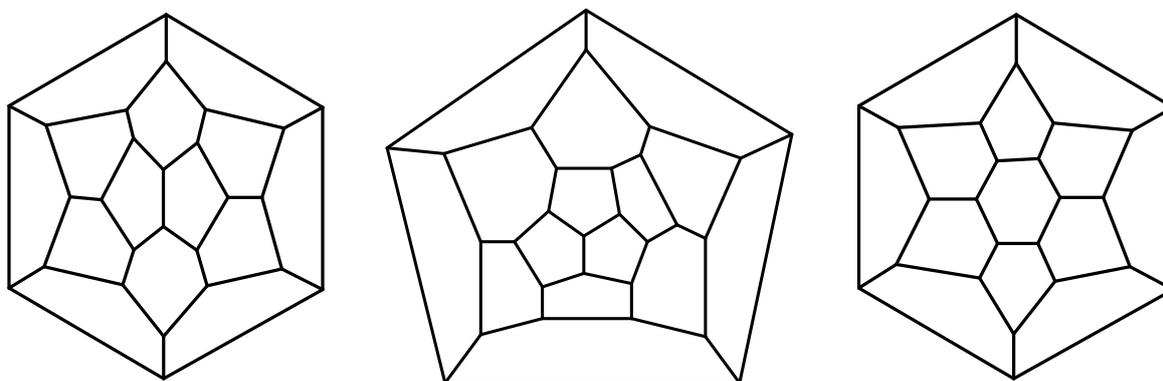


Рис. 2. Двумерные проекции некоторых фуллеренов

1. Для каждого из фуллеренов, представленных на рисунке 2, найдите:
 - а) число атомов; **(1,5 балла)**
 - б) число пяти- и шестиугольных граней. **(1,5 балла)**

2. Известно, что для одного из фуллеренов (рис. 2) существуют спирали, которые не могут пройти через все грани отвечающего ему многогранника так, чтобы посетить каждую из них всего один раз. Найдите такую спираль и нарисуйте ее на соответствующей проекции. **(3 балла)**

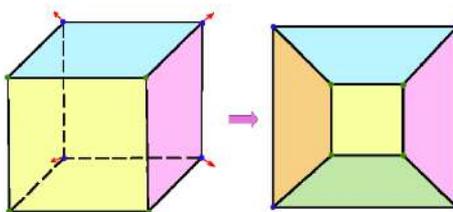


Рис. 3.

¹ Чтобы удобно изобразить многогранник на плоскости, можно одновременно «потянуть» в разные стороны вершины одной из его граней (рис. 3 для куба): в какой-то момент мы сможем «расправить» на бумаге все его ребра и вершины – получим его проекцию на плоскость одной из граней, ребра которой образуют периметр проекции.

Всего – 6 баллов



Юный эрудит

Решение задачи 8. Лабиринты спиралей фуллеренов

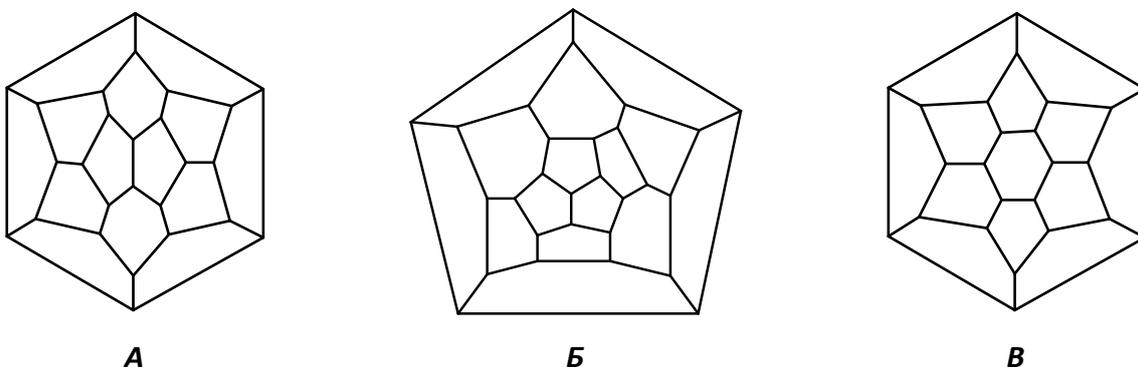


Рис. 1.

1. Для фуллеренов, представленных на рисунке 1 в виде двумерных проекций,

а) число атомов углерода составляет

- А – 26,
- Б – 28,
- В – 24.

б) грани этих фуллеренов представлены

- А – 12 пятиугольниками и 3 шестиугольниками (один – внешний) (рис. 2а),
- Б – 12 пятиугольниками (один – внешний) и 4 шестиугольниками (рис. 2б),
- В – 12 пятиугольниками и 2 шестиугольниками (один – внешний) (рис. 2в).

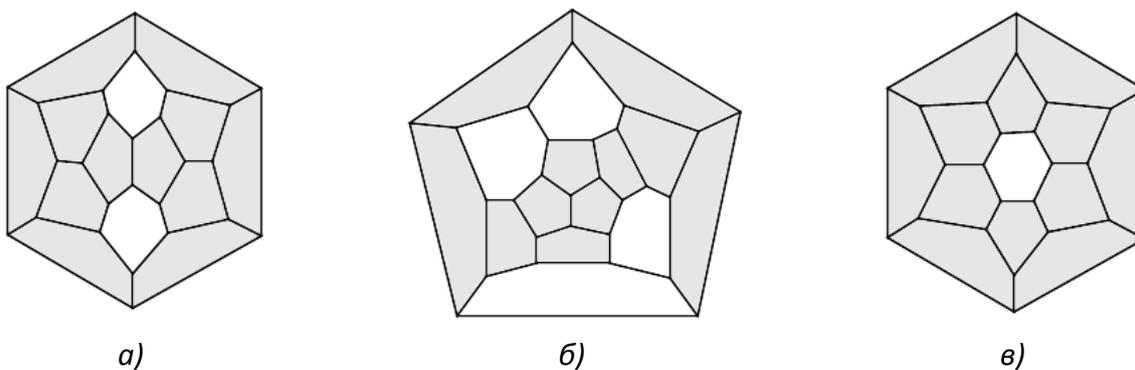
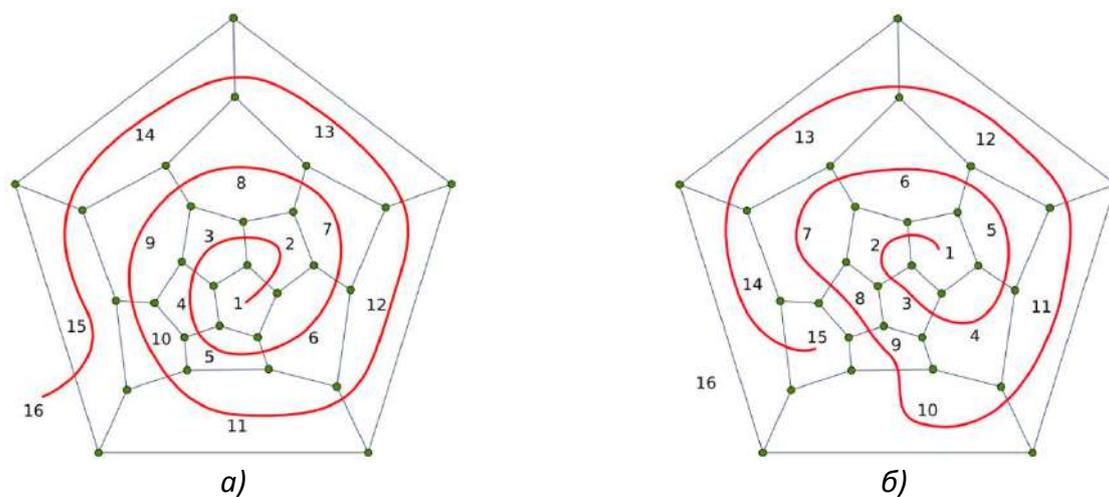


Рис. 2. Пятиугольники отмечены серым цветом.

2. Для фуллеренов C_{26} (А) и C_{24} (В) любая спираль проходит по всем граням отвечающего им многогранника. В свою очередь, для фуллерена C_{28} (Б) кроме спиралей, проходящих по всем его граням (например, рис. 3а), также существуют две спирали, проходящие только по пятнадцати граням из шестнадцати (например, рис. 3б).



*Рис. 3. Примеры спиралей фуллерена C_{28} (Б).
 а) Спираль, проходящая по всем шестнадцати граням C_{28} (Б).
 б) Спираль, проходящая только по пятнадцати граням C_{28} (Б).*



Юный эрудит
Задача 9. Фонтан-молекула



В городе Петрозаводск в Студенческом сквере находится фонтан «Молекула» (см. рисунок). Согласно задумке архитектора, фигура, украшающая данный фонтан, является фуллереном.

1. Дайте определение фуллерена и сопоставьте его с фото фонтана, после чего приведите аргументы за и против того, что каркасная фигура на рисунке является фуллереном. **(2 балла)**
2. Какое отношение имеет фуллерен к Республике Карелия? **(1 балл)**
3. Оцените любым способом, какой размер имела бы каркасная молекула, если бы длина «связей», соединяющих отдельные «атомы» в ее конструкции была равна 0,2 нм. **(3 балла)**

Всего – 6 баллов



Юный эрудит

Решение задачи 9. Фонтан-молекула

1. Фуллерен – каркасная углеродная молекула, представляющая собой выпуклый многогранник, состоящий из правильных пяти- и шестиугольников, сходящихся в каждой вершине по три.

Фигура, украшающая фонтан в Петрозаводске, с одной стороны, фуллереном не является, поскольку выпуклый многогранник, соответствующий ее каркасу, имеет только треугольные грани, сходящиеся в вершинах по 5 либо по 6 штук.

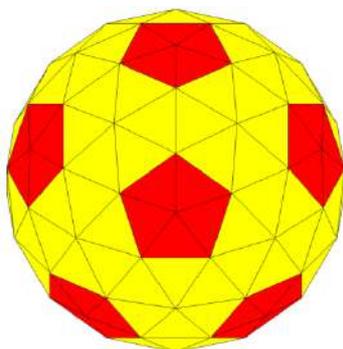


Рис. 1. Многогранник, соответствующий как каркасу фонтана «Молекула», так и структуре, получаемой из фуллерена C_{60} при разбиении каждой из его граней на одинаковые треугольники, шестиугольной – на 6 (окрашены желтым), а пятиугольной – на 5 (окрашены красным).

С другой стороны, если из этого каркаса убрать вершины, окружение которых на рис. 1 окрашено только в красный или только в желтый цвет, то можно получить самый известный фуллерен – C_{60} , бакибол.

2. Фуллерены в природе впервые были обнаружены в составе минерала шунгит, добытого в крупном месторождении, расположенном в Республике Карелия.
3. Размер объемной фигуры можно оценить разными способами.
 - Как было отмечено ранее, часть вершин каркаса фонтана «Молекула» образуют структуру бакибола C_{60} , поэтому, если размер ребер каркаса уменьшить до размера ребер бакибола, то размер фигуры примерно будет соответствовать размеру бакибола.

Молекула C_{60} , согласно справочным данным, имеет размер 0,7 нм при длине ребра (расстоянии между соседними атомами углерода) 0,14 нм. Тогда каркасная структура с длиной ребра 0,2 нм будет больше бакибола в 0,2/0,14 раз, то есть ее размер будет равен

$$D = 0,7 \cdot 0,2 / 0,14 = 1 \text{ нм.}$$

- Можно найти на фотографии фонтана любое ребро, примерно лежащее в плоскости фотографии, измерить линейкой его длину, а также измерить размер фигуры, и, составив пропорцию, рассчитать, каким будет размер каркаса при уменьшении длины его ребра до 0,2 нм.



Юный эрудит
Задача 10. Нанofilворд

Д	К	О	Ф	Е	Й	Н	И	К	В	И	Р	У	С	Ъ	Ж
Р	Щ	Ш	Е	С	Т	И	У	Г	О	Л	Ь	Н	И	К	Ф
Е	Ю	С	Д	В	А	Э	Р	О	З	О	Л	Ь	Ж	Ы	Н
К	О	Т	Й	Е	Л	Д	Э	Ё	Н	Д	Ц	А	Ы	В	Е
С	И	О	З	К	Ъ	П	Б	Я	Ы	Е	З	Х	Л	К	В
Л	К	Л	С	Т	У	Л	Ч	А	Й	Н	И	К	Х	Б	И
Е	О	Н	Й	О	Й	Ж	Я	Ъ	Н	Д	Ф	Л	Ш	А	Д
Р	С	С	Л	Р	О	П	А	Л	А	Р	Е	А	К	К	И
Д	А	К	Р	Е	М	Н	И	Й	С	А	И	М			
Ф	Э	Т	А	Р	Е	Л	К	А	О	М	Н	Т	П	Б	К
Д	Д	Я	Ф	У	Л	Л	Е	Р	З	Е	М	Е	С	О	А
В	Р	К	Р	О	Т	О	Е	Э	Р	Р	А	Р	И	Л	Щ
У	Т	В	Ч	А	Ш	К	А	М	В	О	Н	И	Д	О	Г

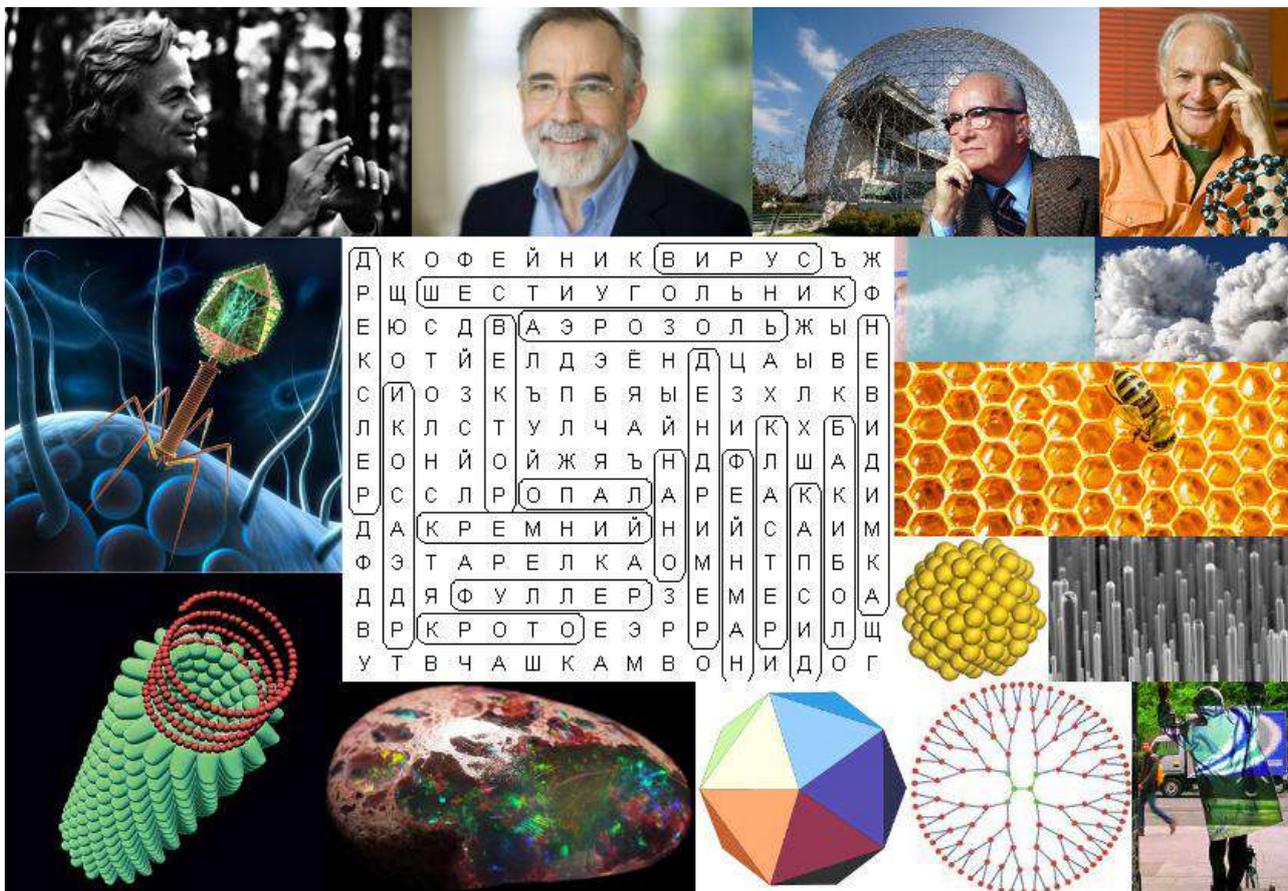
На поле размером 13 на 16 букв зашифрованы 16 слов, имеющих то или иное отношение к нанотехнологиям. Способ поиска показан на примере слова «нано» (горизонтально слева направо или вертикально сверху вниз, диагональных слов и слов с обратным порядком букв, а также пересечений слов здесь нет).

Ваша цель – найти эти 16 слов и написать, какое именно отношение зашифрованные здесь понятия имеют к нанотехнологиям (**0,5 балла за определение**). А помогут Вам в поиске картинки, размещенные рядом с полем филворда.

Всего – 8 баллов



Юный эрудит
Решение задачи 10. Нанofilворд



1. Аэрозоль – находящиеся в газовой среде, обычно в воздухе, мелкие частицы.
2. Бакибол – самый известный фуллерен, одна из визитных карточек нанотехнологий.
3. Вектор – это наноразмерное «устройство» для направленной доставки активных веществ или генетического материала в клетки. Применяется, например, при создании вакцин.
4. Вирус – наноробот, использующий клетку для самовоспроизведения.
5. Дендример – наночастица с древовидной структурой, собранная из разветвленных «деталей»-молекул по принципу «от простого к сложному».
6. Дрекслер: Ким Эрик Дрекслер – известный американский ученый, автор концепции самовоспроизводящихся нанороботов, которые при выходе из-под контроля могут уничтожить весь мир (концепции «серой слизи»).
7. Икосаэдр – высокосимметричный многогранник, формой которого обладают многие объекты в наномире: фуллерены, кластеры, капсиды.
8. Капсид – белковая оболочка, в которой хранится наследственная информация вируса. Капсиды можно использовать в качестве наноконтейнеров для доставки лекарств.

9. Кластер – химическое соединение или группа атомов, являющееся промежуточным между молекулой и объемным твердым телом. Наноразмерные кластеры – один из традиционных объектов нанотехнологий.
10. Кремний – основной элемент микроэлектроники: процессоров и модулей памяти, которые промышленно производятся с помощью нанотехнологий.
11. Крото: Сэр Харольд Уолтер Крото – британский химик, один из лауреатов Нобелевской премии по химии за 1996 год «за открытие фуллеренов».
12. Невидимка: материал-невидимка – композитный наноматериал, необычные оптические свойства которого задает его особая структура.
13. Опал – ювелирный камень, обладающий радужным переливом цветов (опалесценцией), возникающим благодаря его особой микроструктуре, а также класс искусственных материалов с особыми оптическими свойствами, определяемыми такой микроструктурой.
14. Фейнман: Ричард Филлипс Фейнман – американский физик. Автор фразы «Там, внизу, ещё много места», один из авторов концепции нанотехнологии.
15. Фуллер: Ричард Бакминстер Фуллер – американский архитектор, дизайнер, инженер, изобретатель, автор «геодезического купола», так похожего на фуллерены, что самый известный из них назван в честь изобретателя.
16. Шестиугольник – структурный мотив графена, углеродных нанотрубок и фуллеренов.



Юный эрудит

Задача 11. Винни Пух и Медовая фабрика



После встречи с Неправильными пчёлами, которые точно делали неправильный мёд, Винни-Пух задумался о создании собственной пасеки с правильным мёдом и Правильными пчелами.

Изучив всю имеющуюся литературу по пчеловодству, Винни с Пятачком поставили ульи, выкрасили их в разный цвет и стали ждать. В итоге, пчёлы в ульях, покрашенных в черный цвет, плохо себя чувствовали и жаловались на невыносимую жару (и это, когда на улице было 25 °C!).

В другом улье, которое Пятачок покрасил современной белой краской, способной отражать до 98% солнечного света, пчёлы наоборот, жаловались на холод. Пчёлы из домиков, окрашенных обычной белой, светло-желтой и светло-голубой краской на температуру не жаловались и исправно приносили мёд.

Винни-Пух решил разобраться, в чём дело, и пригласил Кролика. Кролик показал друзьям книгу по наноматериалам и объяснил, на что жаловались пчёлы.

1. Объясните, почему пчёлы жаловались на жару и холод. Как вы думаете, из чего сделана самая чёрная краска? **(3 балла)**
2. Почему краска, которую использовал Пятачок, сильно охлаждала улей? Как думаете, из чего состояла эта краска? **(2 балла)**
3. Могут ли такие краски оказать глобальный эффект и снизить темпы глобального потепления, если ими покрасить дома? Как массовое использование краски повлияет на использование кондиционеров? **(3 балла)**
4. Назовите самого белого представителя, наблюдая за которым, ученые смогли создать самую белую краску, которой Пятачок покрасил улья. Какие нанотехнологии использует это живое существо? **(2 балла)**

Всего – 10 баллов



1. Человеческий глаз определяет цвет предмета как белый, если тот равномерно отражает энергию излучения всех волн видимого диапазона. Так как часть энергии света отражается в виде тепла, белые предметы при прочих равных условиях нагреваются слабее, чем цветные. Способность предметов нагреваться зависит также и от способности поглощать (или отражать) ультрафиолетовые и инфракрасные лучи. Черная краска способна поглощать, а не отражать свет, что приводит к нагреву поверхности. Нагрев может составлять до 22 %, поэтому пчелы жаловались на излишнее тепло. Белая краска, наоборот, обладает способностью отражать падающие лучи и отражают до 80-90% солнечного света. Самая черная краска сделана с использованием углеродных нанотрубок, в которых «теряется» свет, из-за чего происходит снижение коэффициента отражения до 99.5 %.
2. Современная краска, которую использовал Пятачок, отражала 98% солнечного света. Из-за особенностей материала самая белая краска отражает и инфракрасное излучение, что препятствует нагреву поверхности. Для создания краски использовались не пигменты, а частицы разного наноразмера (ответ засчитывается так же, если будут указаны компоненты краски – сульфат бария и акрил).
3. Да, могут. Если покрасить поверхность дома такой краской, то температура днем будет на 4 °С ниже, а ночью на 10 °С ниже, чем в аналогичном доме без окрашивания. Всё вместе это приведет к снижению нагрева поверхностей, снижению температуры воздуха в мегаполисах и снижения использования кондиционеров, которые охлаждаются внутри, но нагреваются снаружи.
4. Ученые наблюдали за белым панцирем пластинчатоусых жуков *Cyphochilus*, обитающих в Юго-Восточной Азии. В отличие от большинства животных, чей цвет зависит от пигмента, белый скарабей обязан своей окраской наночастицам. Ультратонкие чешуйки, покрывающие тело жука вдвое тоньше кровеносных сосудов. Сами чешуйки состоят из множества беспорядочно расположенных светоотражающих волосков. Эти волоски из хитина рассеивают все видимые цветовые волны, делая жука белоснежным.



Юный эрудит
Задача 12. О тигре

Эй, не стойте слишком близко —
Я тигрёнок, а не киска!
С. Маршак



Следующий год по Восточному календарю — это год Тигра. Прекрасный повод вспомнить об этом могучем и умном животном!

1. Между домашними кошками и тиграми есть сходства и есть различия. Это неудивительно. Но насколько близкими родственниками они являются? **(1 балл)**

Домашние кошки и тигры находятся

- А) в одном роде
 - Б) в одном подсемействе
 - В) в одном семействе
 - Г) разных семействах
2. В отличие от кошек, ведущих ночной образ жизни, наибольшую активность тигр проявляет в сумерках. Это обуславливает некоторые различия, в частности, в анатомии этих животных. Как вы думаете, какое? **(1 балл)**



Ой, кто это?

3. У домашней кошки есть когти, и они могут втягиваться. А что у тигров? **(1 балл)**
 - А) у тигра когти совсем не втягиваются;
 - Б) втягиваются только на передних лапах;
 - В) часть когтей на задних лапах не втягиваются;
 - Г) у тигра полностью втяжные когти.



4. Как вы думаете одинаковая ли зубная формула у тигра и домашней кошки? **(1 балл)**

Приведите соответствующие формулы и расшифруйте их. **(1 балл)**



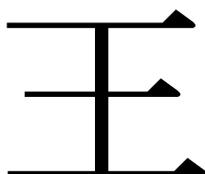
5. В списке должны быть приведены ныне живущие родственники тигра (родственниками мы будем считать относящихся к одному роду и ближе). Укажите ошибочно попавших в данный список. **(2 балла)**

Американский лев, амурский тигр, бенгальский тигр, гепард, леопард, манул, пума, тасманийский тигр, черная пантера, ягуар

6. Какой образ жизни ведут тигры? **(1 балл)**

- А) собираются группами и участвуют в коллективной охоте;
- Б) ведут одиночный образ жизни и индивидуально охотятся за исключением неразделившихся семей с подросшими тигрятами;
- В) ведут исключительно одиночный образ жизни и охотятся в одиночку;
- Г) ведут одиночный образ жизни, но могут собираться большими группами для совместной охоты на крупную добычу.

7. Тигры являются облигатными хищниками и занимают вершину пищевой цепи. И, кстати, в китайской традиции именно тигры являются королями зверей, связано это со специфической отметиной из полосок на морде, которая очень похожа на китайский иероглиф, означающий "король" (см. рисунок). При этом тигр охотиться предпочитает либо из засады, либо после подкрадывания, но всегда внезапно, редко вступая в непосредственное противоборство с жертвой или конкурентом (однако, если вступает, обычно добивается успеха, благодаря своим физическим данным). Как вы думаете, почему так происходит? **(2 балла)**



король

Всего – 10 баллов



Юный эрудит Решение задачи 12. О тигре

1. В – домашние кошки и тигры находятся в одном семействе, Кошачьи, но в разных подсемействах – Малые и Большие кошки, соответственно.
2. У домашних кошек вертикальный зрачок, это позволяет лучше видеть в темноте. У тигров, ведущих сумеречный образ жизни, а значит не имеющих необходимости в остром ночном зрении, зрачок круглый (хотя в темноте он все равно видит в несколько раз лучше человека).
3. Г – у тигра полностью втягивающиеся когти.
4. Да, у тигра и кошки одинаковая зубная формула (1 балл). После смены молочных зубов они имеют (если считать от средней линии), на верхней челюсти: 3 резца, 1 клык, 3 премоляра, 1 моляр; на нижней челюсти: 3 резца, 1 клык, 2 премоляра, 1 моляр. Общее количество зубов – 30 (все коэффициенты удваиваются). Зубная формула выглядит как:

$$P \frac{3}{3} K \frac{1}{1} II \frac{3}{2} M \frac{1}{1} = 30$$

5. Американский лев (вымер), гепард (другое подсемейство), манул (другое подсемейство), пума (другое подсемейство), тасманийский тигр (сумчатый, вымер).
6. Правильный ответ Б – за некоторыми исключениями тигры ведут одиночный образ жизни.
7. Тигр – хищник, еду он добывает себе охотой, как правило, посредством внезапного нападения, ведет одиночный образ жизни, соответственно, малейшая травма может привести к тому что он будет неспособен добывать себе пищу, а это приводит к голоду и смерти. Поэтому крупные хищники, не только тигры, предпочитают лишний раз не рисковать. Риск получения травмы перевешивает плюсы от однократной поимки добычи.



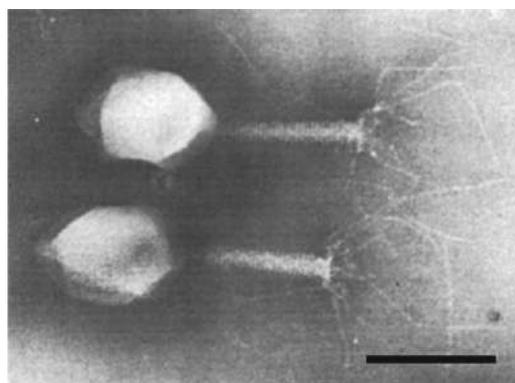
Юный эрудит Задача 13. Нерадивый Васисуалий

Нерадивый аспирант Васисуалий Пупкин никогда не вел лабораторного журнала. При помощи фотокамеры на окуляре микроскопа он отснял несколько объектов, а затем открутил камеру от микроскопа и взял ее с собой в отпуск. Отпуск прошел так замечательно, что Васисуалий совершенно забыл, как и что он снимал в лаборатории. Хуже того, оказалось, что он не помнит, какие масштабы надо проставить на фотографиях. Чудом у Васисуалия сохранились записи на бумажках, где «умный» фотоаппарат показывал, сколько нанометров в масштабной линейке на каждом снимке, но какому кадру какой масштаб соответствует?

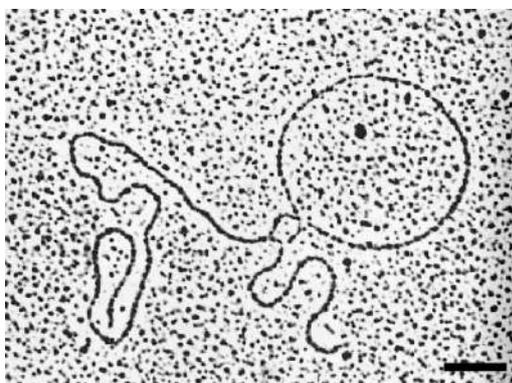
Спасите Пупкина от заслуженной кары со стороны научного руководителя доцента Птибурдюкова.



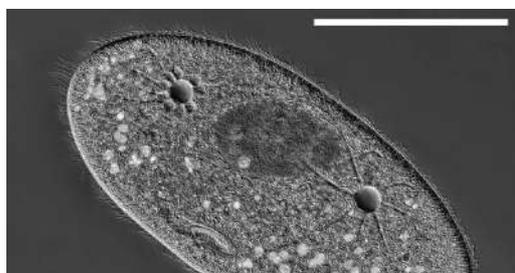
Фотография 1



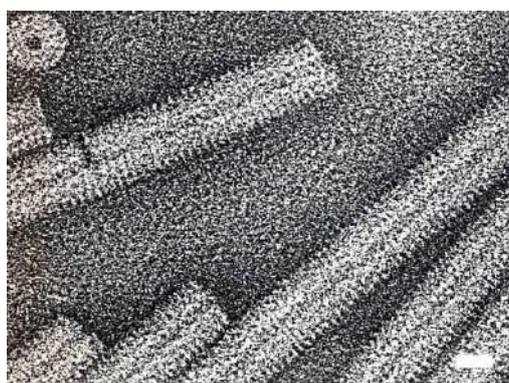
Фотография 2



Фотография 3



Фотография 4



Фотография 5

Масштабы – 10 нм; 20 нм; 100 нм; 100 000 нм; 10 000 000 нм.

После того как доцент Птибурдюков, поправив очки, посмотрел на результаты Васисуалия, он вежливо спросил – а что же у вас, голубчик, отснято на каждой из фотографий? **(5 баллов)**
И что же из этого, собственно, нанообъекты? **(5 баллов)**

(За каждый правильно определенный масштаб на снимке – **1 балл**, за правильно определенные нанообъекты – **5 баллов**)

Всего – 10 баллов



Юный эрудит

Решение задачи 13. Нерадивый Васисуалий

Фотография 1 – 10 000 000 нм (это свернувшийся в шар броненосец).

Фотография 2 – 100 нм (это бактериофаг Т4).

Фотография 3 – 20 нм (это выделенная кольцевая ДНК бактерии, проверка-подсказка ширина ДНК около 2 нм).

Фотография 4 – 100 000 нм (инфузория туфелька).

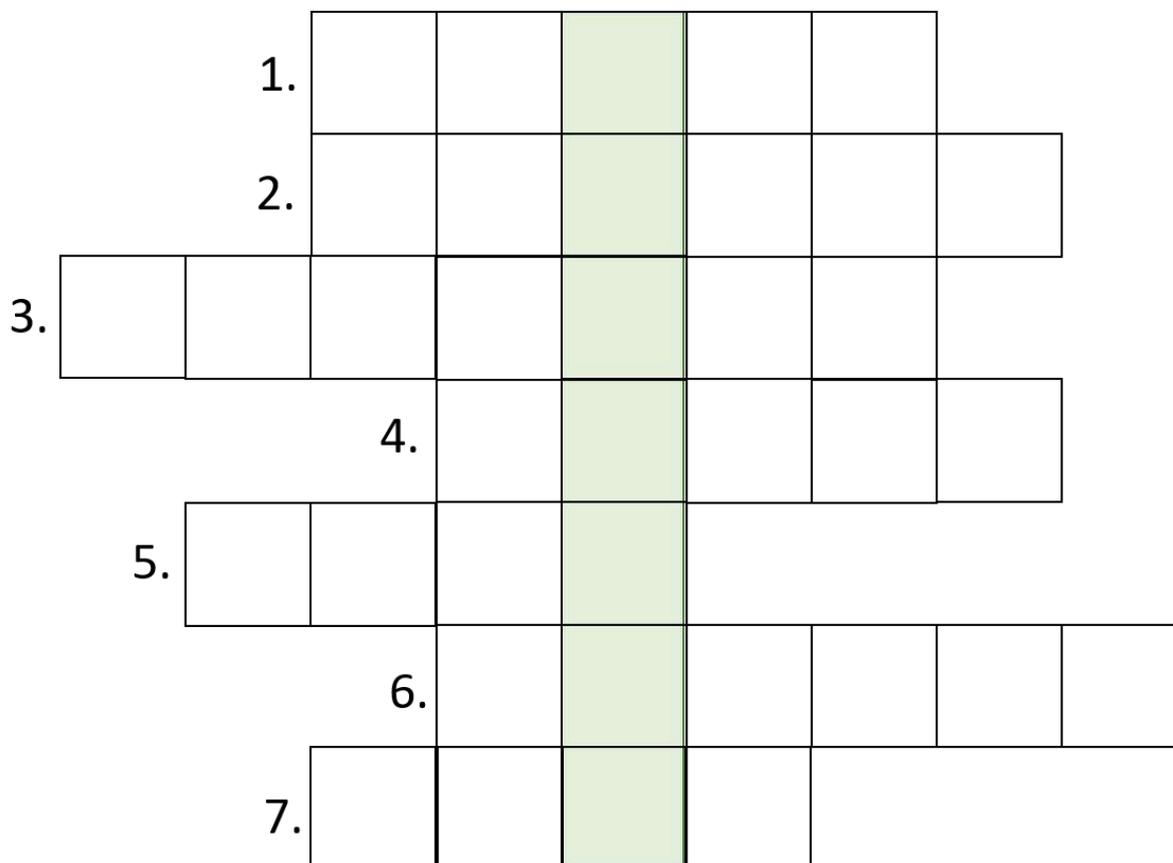
Фотография 5 – 10 нм (вирус табачной мозаики, проверка подсказка – диаметр вируса 18 нм).

Нанообъекты, по определению, это дискретная часть материи или, наоборот, её локальное отсутствие (пустоты, пора), размер которой хотя бы в одном измерении находится в нанодиапазоне (1 – 100 нм). Нанообъекты изображены на фотографиях 2, 3 и 5.



Юный эрудит
Задача 14. Микро- и макроэлементы

Разгадайте все химические элементы по горизонтали (**0,5 балла за каждое слово**) и узнайте закодированный элемент по вертикали. (**3 балла**) Ответьте на дополнительные вопросы. (**0,5 за каждый правильный ответ**)



1. Пары этого металла даже в небольшом количестве могут вызвать тяжелое отравление. Что это за металл?

*Вопрос: Какое уникальное физическое свойство отличает этот металл?

2. Этот элемент входит в состав главного фотосинтетический пигмента растений.

*Вопрос: Какой пигмент имеется в виду?

3. Этот элемент входит в состав витамина B₁₂.

*Вопрос: В каких продуктах содержится этот витамин?

4. Это важный микроэлемент, которого в норме содержится всего 10-20 мг во взрослом организме. Его название имеет греческое происхождение и в переводе означает Луна.

*Вопрос: кто и когда его открыл?

5. Его соли часто входят в состав зубной пасты, способствующей укреплению эмали.

*Вопрос: Какая соль этого неметалла в зубной пасте наиболее безопасная и эффективная?

6. Это важнейший элемент для развития костей и зубов, входит в состав ДНК.

*Вопрос: Как называется биомолекула, содержащая этот элемент, участвующая почти во всех энергетических процессах в клетке?

7. Это металл, входящий в состав кислород-переносящих белков крови (или гемолимфы) моллюсков и членистоногих, из-за которого их кровь не красного цвета, а голубоватого.

*Вопрос: Как называются эти белки?

8. Какой элемент закодирован? В чем его роль для всего живого?

Всего – 10 баллов



Юный эрудит

Решение задачи 14. Микро- и макроэлементы

1.	Р	Т	У	Т	Ь		
2.	М	А	Г	Н	И	Й	
3.	К	О	Б	А	Л	Ь	Т
4.		С	Е	Л	Е	Н	
5.	Ф	Т	О	Р			
6.		Ф	О	С	Ф	О	Р
7.	М	Е	Д	Ь			

1. Ртуть. Она находится в жидком состоянии при комнатной температуре.
2. Магний. Пигмент хлорофилл.
3. Кобальт. Витамин В12 содержится в мясных продуктах (говядина, баранина, птица и т.д.), в основном в печени и почках. Поэтому людям на веганской диете следует принимать его в виде добавок.
4. Селен. Открыт Берцелиусом в 1817 году.
5. Фтор. Фторид олова.
6. Фосфор. Молекула АТФ.
7. Медь. Белки гемоцианины.
8. Углерод. Он входит в состав всех органических веществ и является основой всего живого.



Биология. Отборочный этап

Биология

Категория участников: школьники 7-11 классов

Блок теоретических заданий отборочного этапа по **биологии для школьников 7-11 классов** включает задачи разной сложности. Для повышения вероятности прохождения на заключительный этап желательно решить задачи не только по биологии, но и по математике, химии, физике, чтобы набрать больше баллов. Дополнительные баллы (50%) будут добавлены за прохождение **тестов ЗНТШ** по [химии](#), [физике](#), [математике](#), [биологии](#).

Перед отправкой заявки, пожалуйста, внимательно ознакомьтесь с [инструкцией по загрузке работ](#).

Задания

1. Авиакатастрофа в Боливии

Спортивный самолет с пилотом и тремя пассажирами на борту потерпел крушение в окрестностях города Оруро (Боливия). К счастью, все пассажиры и пилот выжили, пилот не пострадал, а пассажиры попали в местный госпиталь. У них взяли кровь на анализы сразу при поступлении в госпиталь...

2. Такая разная клеточная смерть

На рисунках изображены разные виды клеточной гибели, морфологически отличающиеся друг от друга. В настоящее время медики и биологи изучают, как активация или ингибирование некоторых из видов программируемой клеточной смерти может помочь в лечении...

3. Магнетотактика

Многие слышали про магнетотактические бактерии, которые способны ориентироваться в магнитном поле при помощи специальных органелл – магнитосом (или магнетосом, иногда пишут так). Как правило, магнитосомы выстраиваются внутри клетки в линию, как показано на фотографии...

4. Морковкин! Собери микроскоп!

Аспирант Морковкин хочет изучать фибробласты морских свинок методом флуоресцентной микроскопии. У него есть: объект исследования — клетки в чашке Петри, объектив, фотокамера для регистрации изображений, мощный источник белого света, полупроницаемое зеркало...

5. Целевая и генная терапия - настоящее и будущее фармакологии

Бурное развитие промышленности, особенно химической, в XX веке привело к созданию и выпуску в промышленных масштабах большого количества медикаментозных средств и способствовало развитию современной фармацевтики. Как правило, это были низкомолекулярные лекарства...

6. Cre-Lox

При исследовании молекулярных механизмов тех или иных сигнальных процессов в клетке часто возникает задача включить или выключить определенный ген. Популярным способом решения этой задачи является использование индуцируемой Cre-Lox рекомбиназной системы...

7. Зоркий Леголас

По оценке Гэндальфа, эльф Леголас мог отличить воробья от зяблика на расстоянии в 2 лиги (примерно 10 км). Люди, увы, не могут похвастаться такой остротой зрения. Назовите класс животных, обладающих наибольшей остротой зрения...

8. Бабочки, осы и вирусы

Вам, должно быть, известно, что многие гусеницы бабочек могут выступать как хозяева паразитических ос – наездников, откладывающих в них яйца. Кроме того, гусеницы могут заражаться несколькими семействами вирусов насекомых. Некоторыми вирусами (бакуловирусы, энтомопоксвирусы)...

9. Загадочные митохондрии

Потребление кислорода — обязательное условия существования огромного количества организмов, живущих на Земле. Митохондрии — важнейшие органоиды эукариот, отвечающие за использование кислорода, необходимого для выработки энергии. Кратко опишите, какие белковые комплексы...

10. Светящиеся рыбки

В аквариумах можно встретить светящихся рыбок GloFish, которые обязаны своим появлением человеку. Первыми люминесцентными трансгенными рыбами были данио рерио (*Danio rerio*), которые получили светящийся ген от медузы и приобрели зеленый цвет...



Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)

Задача 1. Авиакатастрофа в Боливии

Спортивный самолет с пилотом и тремя пассажирами на борту потерпел крушение в окрестностях города Оруро (Боливия). К счастью, все пассажиры и пилот выжили, пилот не пострадал, а пассажиры попали в местный госпиталь. У них взяли кровь на анализы сразу при поступлении в госпиталь, а также через сутки, после чего их выписали, так как выяснилось, что их здоровью ничего не угрожает. Через две недели пребывания в городе Оруро пассажиры снова сдали кровь на анализы по просьбе исследовательской группы этого госпиталя, которая изучала, как адаптация к условиям пребывания в городе влияет на людей. В крови, кроме общих биохимических показателей, таких как количество эритроцитов и количество гемоглобина, также были измерены активность фосфофруктокиназы, парциальное давление углекислого газа, сродство гемоглобина к кислороду. Помимо этого, у них была измерена скорость кровотока.

1. Напишите, как по вашему мнению, поменялись показатели крови и скорость кровотока, измеренные у пассажиров. Объясните, почему вы так считаете. За правильный ответ по изменению каждого измеренного параметра и соответствующее пояснение выставляются следующие баллы:

- количество эритроцитов — 1 балл,
- количество гемоглобина в эритроците — 1 балл,
- активность фосфофруктокиназы — 3 балла,
- парциальное давление углекислого газа — 1 балл,
- сродство гемоглобина к кислороду — 2 балла,
- скорость кровотока — 1 балл.

(9 баллов)

2. Известно, что кровь состоит из плазмы и форменных элементов крови. Если кровь рассматривать, как коллоидную систему, то что является дисперсной фазой, а что дисперсной средой по отношению друг к другу? **(1 балл)**

Всего – 10 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 1. Авиакатастрофа в Боливии

1. Параметры изменяются следующим образом:

- количество эритроцитов
В результате пребывания в высокогорье (город Оруро находится на высоте 3700 м над уровнем моря) у пилота и пассажиров с первых же дней начинает повышаться количество эритроцитов за счет их выхода из депо крови – селезенки и печени. Это значит, что количество эритроцитов у пилота и пассажиров будет расти.
- количество гемоглобина в эритроците
Количество гемоглобина в эритроците отражает, сколько гемоглобина в среднем содержится в одном эритроците. Общее количество гемоглобина в крови вырастет ко второй неделе пребывания в высокогорье, а вот количество гемоглобина в эритроците, которое рассчитывается как отношение гемоглобина к количеству эритроцитов, согласно экспериментальным данным, не изменяется.
- парциальное давление углекислого газа
Парциальное давление углекислого газа в крови в первые дни в условиях гипоксии падает.
- сродство гемоглобина к кислороду
Падение парциального давления углекислого газа приводит к увеличению рН крови и как следствие тому, что гемоглобин прочнее связывается с кислородом и хуже отдает кислород в тканях, в дальнейшем из-за того, что активируется гликолиз и происходит накопление 2,3-дигидрофосфоглицерата в эритроцитах, что приводит снижению сродства гемоглобина к кислороду, облегчая отдачу O_2 тканям.
- активность фосфофруктокиназы
В результате, в первые дни адаптации начинается активация фосфофруктокиназы – чтобы ускорить анаэробный гликолиз и повысить образование в эритроцитах лактата, чтобы закислить цитоплазму.
- скорость кровотока
Из-за возникающей гипоксии частота сердечных сокращений увеличивается, что приводит к тому, что скорость кровотока возрастает.

2. Плазма крови может рассматриваться как дисперсная среда по отношению к форменным элементам крови, которые можно рассматривать, как дисперсную фазу.



Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 2. Такая разная клеточная смерть

На рисунках изображены разные виды клеточной гибели, морфологически отличающиеся друг от друга. В настоящее время медики и биологи изучают, как активация или ингибирование некоторых из видов программируемой клеточной смерти может помочь в лечении таких болезней, как ишемическое повреждение тканей, нейродегенеративные заболевания или онкологические болезни. Для индукции или блокировки клеточной гибели используют адресные наноконструкции, которые доставляют нужные молекулы до рецепторных белков или определенных органелл клетки.

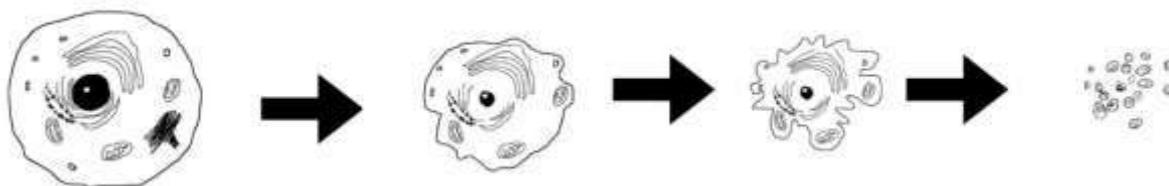


Рис. 1.

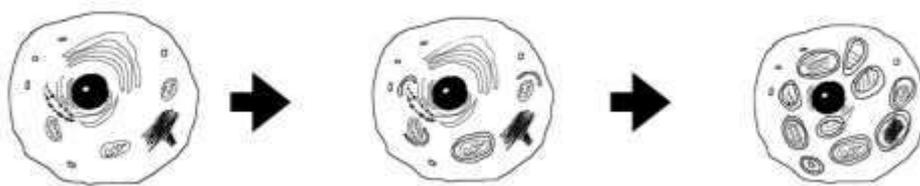


Рис. 2.



Рис. 3.

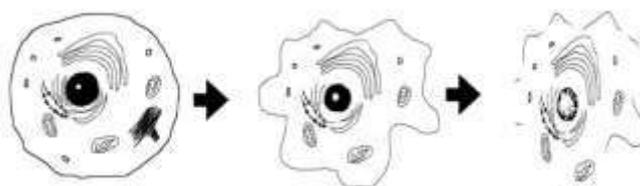


Рис. 4.

1. Какой тип клеточной смерти изображен на каждом из этих рисунков **(8 баллов)**
2. Какой из этих типов относится к программируемой клеточной смерти, а какие – нет? **(1 балл)**
3. Какой вид апоптоза – внешний или внутренний — активирует адресная доставка в митохондрии Bcl-2-белков? **(1 балл)**

Всего – 10 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 2. Такая разная клеточная смерть

1. Рисунок 1 – апоптоз, рисунок 2 – аутофагия, рисунок 3 – энтоз, рисунок 4 – некроз.
2. Кроме некроза все остальные виды относятся к программируемой клеточной гибели, хотя есть и программируемые формы некроза – некроптозы – к ним, например, относится ферроптоз.
3. Внутренний апоптоз вызван выходом из митохондрий цитохрома С, что связано с изменением проницаемости мембраны митохондрий. Доставка в митохондрии Bcl-2-белков может как уменьшать, так и увеличивать проницаемость мембраны, таким образом, правильный ответ – адресная доставка Bcl-2-белков может как активировать, так и ингибировать внутренний апоптоз, в зависимости от того, какие белки этого семейства использовали для адресной доставки.



Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)

Задача 3. Магнетотактика

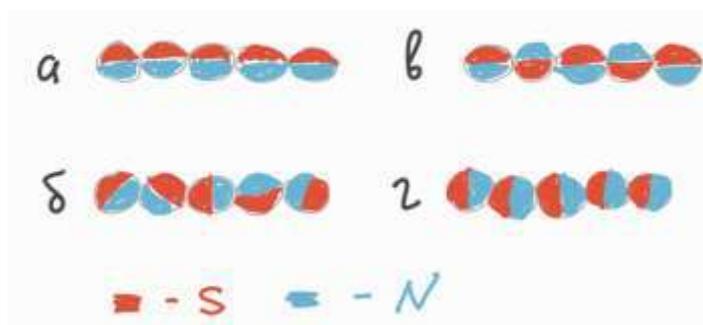
Многие слышали про магнетотактические бактерии, которые способны ориентироваться в магнитном поле при помощи специальных органелл – магнитосом (или магнетосом, иногда пишут так). Как правило, магнитосомы выстраиваются внутри клетки в линию, как показано на фотографии (черные точки – это магнитосомы).



1. Как бактерии используют свою способность ориентироваться в магнитном поле? **(2 балла)**
 - a. Плывают вдоль линий магнитного поля Земли на юг, там теплее.
 - b. Плывают на север вдоль линий магнитного поля Земли, там больше содержание кислорода в воде.
 - c. Плывают вниз вдоль линий магнитного поля Земли, в глубине донных осадков меньше кислорода.
 - d. Плывают перпендикулярно линиям магнитного поля Земли в Южном полушарии на север, в Северном на юг, в более теплые области.

2. Как вы думаете, какой элемент бактериальной клетки участвует в выстраивании магнитосом в линию? **(2 балла)**
 - a. Бактериальная ДНК (плазмида).
 - b. Актиноподобные белки бактериального цитоскелета.
 - c. Аппарат Гольджи.
 - d. Рибосомы.

3. Как вы думаете, как ориентированы полюса отдельных магнитосом в составе цепочки? (Если учесть, что наличие цепочки магнитосом действительно важно для ориентации бактериальных клеток в магнитном поле) **(2 балла)**



4. Почему важно, чтобы отдельные магнитосомы выстраивались в линию? **(2 балла)**

5. Мертвые магнитобактерии тоже поворачиваются вокруг своей оси при изменении направления магнитного поля, но никуда не плывут. Есть виды магнитобактерий, являющиеся симбионтами анаэробных одноклеточных эукариот. У таких магнитобактерий нет жгутиков. Их можно выделить из тела хозяина, и они сохраняют жизнеспособность. Как вы думаете, смогут ли они в этом случае перемещаться вдоль (или поперек) линий магнитного поля? Почему? **(2 балла)**

Всего – 10 баллов



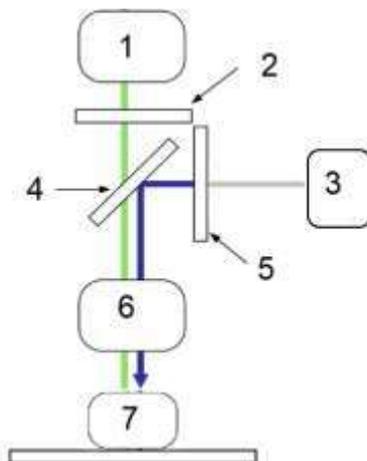
Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 3. Магнетотактика

1. *с.* Плынут вниз вдоль линий магнитного поля Земли, в глубине донных осадков меньше кислорода. Линии магнитного поля в большинстве районов земного шара направлены перпендикулярно к поверхности, двигаясь вдоль них бактерии могут регулировать погружение в более бедные кислородом области донных осадков (часто магнитобактерии — анаэробы).
2. *б.* Актиноподобный белок цитоскелета, т. к. он может образовывать длинный прямой филамент.
3. Рис. 2. Последовательно, т.к. в результате образуется магнит, вытянутый в линию.
4. Длинный магнит поворачивается в магнитном поле как стрелка компаса, это обеспечивает поворот всей клетки. Короткий магнит поворачивался бы внутри клетки свободно и не влиял бы на ее ориентацию.
5. Нет, т.к. движутся бактерии за счет движения жгутика, а магнитосомы только изменяют ориентацию клетки в пространстве, выбирают направление движения.

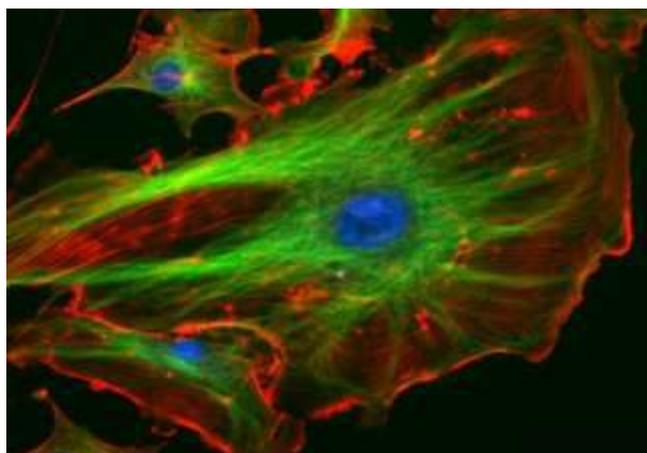


Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 4. Морковкин! Собери микроскоп!

Аспирант Морковкин хочет изучать фибробласты морских свинок методом флуоресцентной микроскопии. У него есть: объект исследования — клетки в чашке Петри, объектив, фотокамера для регистрации изображений, мощный источник белого света, полупроницаемое зеркало, синий светофильтр, зеленый светофильтр.



1. Помогите Морковкину правильно собрать микроскоп (сопоставьте цифру на рисунке и элементы, которые есть в распоряжении аспиранта). **(2 балла)**
2. Правильно собрав микроскоп, Морковкин получил почти такие же как на картинке изображения клеток (правда, у него получились не такие красивые). А теперь: что на рисунке изображено синим, зеленым и красным цветом? Ответ поясните. **(2 балла)**



3. Как Морковкин должен пояснить полученные изображения? Выберите все возможные варианты. **(2 балла)**
 - а. Мы взяли генно-модифицированные клетки со встроенным геном синего флуоресцентного белка, синее свечение наблюдается в области встраивания гена.
 - б. Мы использовали токсин, меченый флуоресцентным красителем, который прикрепляется к актиновым филаментам.

- c. Для окрашивания цисоскелета мы использовали меченные флуоресцентным красителем антитела к тубулину.
 - d. Цистерны аппарата Гольджи испускают красное свечение в ультрафиолетовом диапазоне.
4. Сколько раз Морковкину нужно сменить набор светофильтров, чтобы получить данное изображение? **(4 балла за полностью правильный ответ с пояснениями)**

Всего – 10 баллов

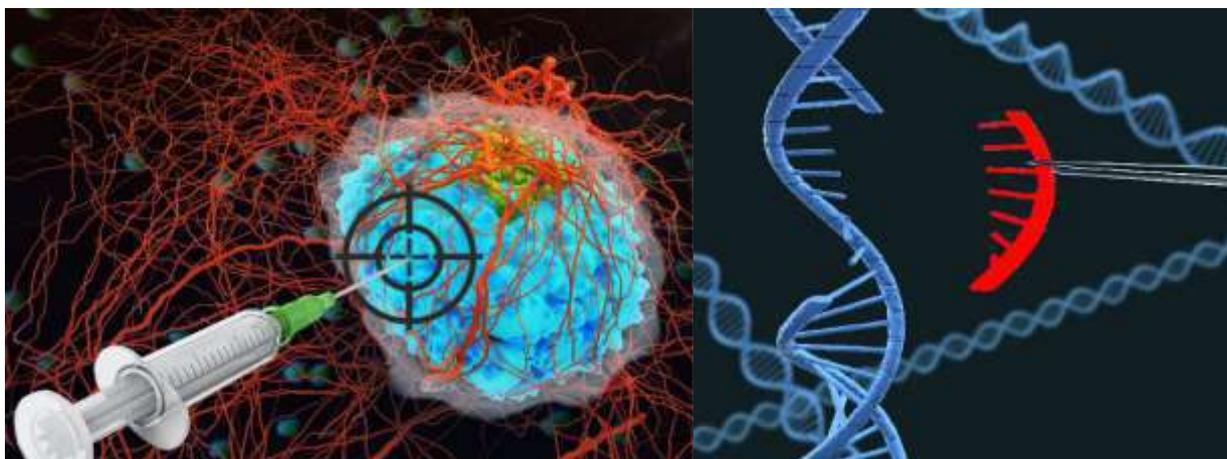


Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 4. Морковкин! Собери микроскоп!

- 1 – фотокамера для регистрации изображений
2 – зеленый светофильтр
3 – мощный источник белого света
4 – полупроницаемое зеркало
5 – синий светофильтр
6 – объектив
7 – объект исследования – клетки в чашке Петри
2. Синее – ядро с окрашенными флуоресцентным красителем молекулами ДНК (чаще всего используется краситель DAPI), зеленое – цитоскелет (скорее всего микротрубочки), красное – цитоскелет, актин (не плазматическая мембрана, т.к. видны продольные линии, пучки актиновых филаментов). Ядро ни с чем не спутать, элементы цитоскелета отличаются по расположению. Все окрашены флуоресцентными красителями.
3. Возможные варианты *b* и *c*.
4. На картинке результат трех смен светофильтров, т.к. мы видим три разных цвета. Если бы набор светофильтров был один, мы бы видели все элементы окрашенными в один цвет. Данное изображение является результатом наложения трех кадров.



Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Задача 5. Целевая и генная терапия – настоящее и будущее фармакологии



Бурное развитие промышленности, особенно химической, в XX веке привело к созданию и выпуску в промышленных масштабах большого количества медикаментозных средств и способствовало развитию современной фармацевтики. Как правило, это были низкомолекулярные лекарства, получаемые путем химического синтеза. В дальнейшем с развитием биотехнологии начали появляться лекарства на основе биологических молекул. Это значительно расширило возможности терапии, поскольку позволило нацеливать лекарства на новые мишени, в первую очередь белки. Что, собственно, и дало начало таргетной (целевой) терапии. В настоящее время уже существует большое количество таких препаратов.

Однако, препараты, предназначенные для таргетной терапии, как правило, воздействуют на внеклеточные белки (рецепторы, гормоны и др.) и не способны проникать внутрь клеток. «Нацеливание» на «мишени» внутри клеток потребовало развития новых методов.

Начиная с 1990-х годов стали появляться препараты, основанные на генной терапии. В настоящее время данный подход активно развивается, он ориентирован на исправление различных генетических и внутриклеточных дефектов, а также направлен на создание новых функций в клетках организма.

Предлагаем Вам ряд вопросов, относящихся к таргетной и генной терапии. Попробуйте отыскать ответы на эти вопросы в учебниках и/или на просторах интернета. Помните, что поиск и сортировка информации входит в необходимые для ученого умения! Надеемся, что если Вы увидите в вопросах незнакомые слова и понятия, то не будете выбирать ответы наугад, а постараетесь разобраться и понять, о чем идет речь. Итак:

1. Выберите все правильные утверждения, определяющие «таргетную терапию». Если сомневаетесь, напишите короткое обоснование Вашего выбора (не более одного-двух предложений). **(1 балл – только если выбраны все правильные ответы)**
 - а. Терапия, воздействующая на мишени посредством влияния на конкретные молекулы. Как правило применяется, при лечении онкозаболеваний, угнетая рост только опухолевых клеток, не препятствуя при этом размножению всех быстро делящихся клеток, различных аутоиммунных заболеваний, точноно

воздействуя на конкретные определенные каскады иммунных реакций повышая эффективность и уменьшая, таким образом, побочные эффекты, а также при пересадке органов для снижения их отторжения.

- b. В настоящее время принято считать, что таргетная терапия – один из разделов химиотерапии.
 - c. Генную, иммунную терапию, а также наноструктурные препараты можно отнести к таргетной терапии.
 - d. Одними из основных проблем таргетной терапии являются нежелательные побочные явления и лекарственная устойчивость.
2. Таргетная терапия, как правило, использует вещества биологического и биотехнологического происхождения, а не произведенные путем химического синтеза. Какие можно выделить основные категории препаратов, используемые в таргетной терапии? **(1 балл)**
- a. Низкомолекулярные вещества (молекулярная масса не более 900 Да, размер менее 10^{-9} м), обладающие определенной биологической активностью.
 - b. Моноклональные антитела, обладающие высокой селективностью в отношении конкретных молекулярных мишеней (за счет наличия специфических антигенов), обычно являющихся ключевыми компонентами патологического процесса.
 - c. Низкомолекулярные вещества (молекулярная масса не более 900 Да, размер менее 10^{-9} м) и белки, обладающие определенной биологической активностью, а также моноклональные антитела, обладающие высокой селективностью в отношении конкретных молекулярных мишеней (за счет наличия специфических антигенов), обычно являющихся ключевыми компонентами патологического процесса.
 - d. Низкомолекулярные компоненты плазмы (молекулярная масса не более 900 Да, размер менее 10^{-9} м), обладающие определенной биологической активностью и моноклональные антитела, обладающие высокой селективностью в отношении конкретных молекулярных мишеней (за счет наличия специфических антигенов), обычно являющихся ключевыми компонентами патологического процесса.

3. Моноклональные антитела – антитела, вырабатываемые иммунными клетками, принадлежащими к одному клеточному клону, то есть произошедшими из одной плазматической клетки-предшественницы. Моноклональные антитела могут быть выработаны практически против любого природного антигена (главным образом полисахаридов и белков) и способны специфично связываться с этим антигеном за счет специальных антигенсвязывающих участков. Это позволяет специализированно связываться препаратам на основе моноклональных антител с мишенями. Данные антитела широко используются в медицине, в случае их использования в качестве лекарства название такого препарата оканчивается на -маб (mab от английского “Monoclonal AntiBodies”).

Ниже приведен ряд утверждений, касающихся моноклональных антител. Выберите все верные. **(1 балл – только если выбраны все правильные ответы)**

- a. В настоящее время на основе моноклональных антител получают ряд производных продуктов (Fab-фрагменты моноклональных антител, биспецифические моноклональные антитела, конъюгированные

- моноклональные антитела, Fc-слитые белки), и именно они являются наиболее распространенными веществами для производства лекарств.
- b. Существуют производные моноклональных антител в которых антитела химически соединены с лекарственным цитотоксическим препаратом или радиоактивной меткой, что позволяет более эффективно (избирательно) уничтожать опухолевые клетки.
 - c. Изначально для синтеза антител использовали мышинные клетки, что приводило к реакции отторжения полученных клеток при введении их в человеческий организм. В настоящее время используются химерные и гуманизированные антитела, что позволило в целом решить проблему иммунного ответа.
 - d. Гуманизированные антитела – частично мышинные (как правило, участки, которые непосредственно распознают антиген), частично человеческие (более 70%) антитела, химерные антитела – доля мышинных белков составляет всего несколько процентов, человеческие антитела – моноклональные антитела, полностью состоящие из человеческого материала.
4. Одно из направлений таргетной терапии – создание наноструктурированных препаратов. Ниже приведен ряд утверждений, касающихся этой области. Выберите все верные. Если сомневаетесь в выборе, то пишите короткие комментарии к ответу.
(1 балл – только если выбраны все правильные ответы)
- a. В настоящее время существует несколько таких зарегистрированных препаратов. Как правило, это – низкомолекулярные вещества, помещенные в специализированные наноструктурные контейнеры (главным образом липосомы) или связанные с определёнными белками.
 - b. В наноструктурированных препаратах активное вещество может быть в гораздо меньших концентрациях чем в обычных аналогах, что позволяет снизить токсичность данных препаратов.
 - c. Наноструктурированные препараты способствует увеличению продолжительности действия препарата за счет более медленного высвобождения действующего вещества.
5. Предлагаем Вам вопрос о лекарственной технологии, лежащей на стыке таргетной и генной терапий, используемой в настоящее время для лечения некоторых онкологических заболеваний. Это Т-клетки с химерными рецепторами антигена (Chimeric Antigen Receptor T-cell, CAR-T). Химерный рецептор антигена CAR – рекомбинантный гибридный белок, состоящий из частей, полученных из разных источников (химерный), сочетающий фрагмент антитела, обладающий способностью избирательно связываться с конкретными антигенами на поверхности опухолевых клеток, и участок, способный активировать Т-клетки.

Ниже приведен ряд утверждений, относящихся к CAR-T клеткам. Выберите все верные.
(1 балл – только если выбраны все правильные ответы)

- a. CAR-T клетками могут быть как Т-хелперы, так и Т-киллеры.
- b. В настоящее время терапия CAR-T клетками применяется для лечения онкогематологических и солидных (плотных) опухолей.
- c. Наиболее часто упоминаемые побочные эффекты для CAR-T терапии – синдром высвобождения цитокинов (как итог – цитокиновый шторм) и нейротоксичность, обусловленная повреждением нормальных тканей.

6. Понятие «генная терапия» определено в соответствующих законах и регулирующих актах, причём в зависимости от страны (организации) это определение несколько различается. Тем не менее, укажите наиболее полное и верное, на Ваш взгляд, определение «генной терапии» из нижеприведенных (если сомневаетесь, то напишите короткое, не более одного-двух предложений, обоснование Вашего выбора). **(1 балл)**

- a. Генная терапия – это медицинское вмешательство, основанное на модификации генетического материала живых клеток. Клетки могут быть модифицированы *ex vivo* для последующего введения человеку или изменены *in vivo* непосредственно в организме.
- b. Генная терапия (генотерапия) – совокупность генно-инженерных (биотехнологических) и медицинских методов, направленных на внесение изменений в генетический аппарат соматических клеток человека в целях лечения заболеваний.
- c. Генная терапия – лечение наследственных и ненаследственных заболеваний различной природы путем введения генетического материала в соматические клетки (введение генов в половые клетки запрещено законодательством большинства стран) с целью направленного изменения генных дефектов или придания клеткам новых свойств.

7. Генная терапия классифицируется в зависимости от того как вносятся изменения в клетки.

Ниже приведен ряд утверждений. Выберите все верные **(1 балл – только если выбраны все правильные ответы)**

- a. Модификация *in vivo* предполагает отбор определенных клеток у пациента и трансдукцию в них вектора с необходимым генетическим материалом. Затем размноженные генно-модифицированные клетки трансплантируют обратно пациенту. Модификация *ex vivo* означает внедрение вектора, несущего нужный ген, прямо в клетки целевого органа или в непосредственной близости от него.
- b. В настоящее время существует несколько официально зарегистрированных препаратов, работающих по методикам *ex vivo* и *in vivo*.
- c. Модификация генной терапии *in vivo* также может быть отнесена и к клеточной терапии, поскольку предполагает работу с трансплантированными геномодифицированными (как правило стволовыми) клетками.

8. В генной терапии для доставки генов в клетки, как правило, используют носители вирусной природы. Существуют и альтернативные способы доставки (с использованием различных наночастиц, доставка «голых» нуклеиновых кислот, метод генной пушки, электропорации, доставка с использованием магнитного поля и т.д.), однако в настоящее время ни один из них не одобрен для доставки лекарств, так как, несмотря на некоторые преимущества, доставка при помощи векторов более специфична и точна.

Как правило, используются не нативные вирусы, а вирусы с удаленными вирулентными генами и не способные к размножению. Внутри такого носителя содержится закодированная в нуклеиновой кислоте информация. В качестве вектора используется довольно большое количество разнообразных вирусов, которые характеризуются различной емкостью (размером загруженной полезной информации),

селективностью, временем экспрессии, иммуногенностью, вероятностью наличия антител к нему у хозяина, возможностью встраиваться в геном и др.

Ниже приведен ряд утверждений, относящихся к векторам. Выберите все верные. **(1 балл – только если выбраны все правильные ответы)**

- a. Аденовирусные векторы транспортируют ДНК, на которой можно записать довольно большой объем информации и которая может заражать различные клетки и ткани, при этом плохо интегрируется в геном, обладает высокой генной экспрессией и низким иммунным ответом.
 - b. Векторы на основе аденоассоциированных вирусов транспортируют ДНК, на которой можно записать информацию ограниченной емкости, которая может заражать различные клетки и ткани, плохо интегрируется в геном, обладает высокой генной экспрессией и низким иммунным ответом.
 - c. Существуют такие инструменты точечного геномного редактирования, как CRISPR/Cas9 или похожие, позволяющие гораздо более удобно, чем классические векторы, вносить информацию в клетки. Они могут быть использованы для генной терапии.
9. В настоящее время генная терапия только начинает развиваться. Однако уже сейчас понятно, что будущее за ней. Осталось только преодолеть ряд неизбежно возникающих проблем и недостатков.

Ниже приведен ряд утверждений, описывающих проблемы и недостатки генной терапии. Выберите все верные. **(1 балл – только если выбраны все правильные ответы)**

- a. В настоящее время продукты генной технологии не являются массовыми – они очень сложны в производстве, трудоемки и финансово затратны, а все вышеперечисленное катастрофически поднимает их стоимость для пользователей, при не всегда гарантированном результате.
 - b. Очень сложное и специфическое производство, не похожее на то, что было ранее, не до конца понятные механизмы действия, недостаточно адаптированное законодательство и т.д., доставляют массу проблем при регулировании создания, производства и применения продуктов генной терапии.
 - c. Одним из серьезных недостатков доставки генетической информации при помощи векторов на основе вирусов, способных встраиваться в геном, является возможность возникновения мутаций, особенно если вектор встраивается в протоонкоген или соседнюю с ним область. Это может привести к превращению этих генов в онкогены, что, в свою очередь, может стать причиной бесконтрольного деления клеток и их перерождения в опухолевые.
10. Использование онколитических вирусов для борьбы с опухолями – это технология, которую также можно поместить на стыке таргетной и генной терапии. Особенности опухолевых клеток, позволяющие им оставаться «невидимыми» для иммунной системы организма, также приводят и к гораздо более низкой устойчивости к заражению вирусами, если сравнивать опухолевые с нормальными клетками. Онколитические вирусы позволяют эффективно избирательно инфицировать и разрушать опухолевые клетки, практически не воздействуя на здоровые ткани. Кроме

того, данные вирусы способны размножаться в зараженных вирусами клетках, продуцируя свои новые копии и заражая другие клетки опухоли.

Ниже приведен ряд утверждений, относящихся к онколитическим вирусам. Выберите все верные. **(1 балл – только если выбраны все правильные ответы)**

- a. Онколитические вирусы вводятся при помощи инъекции (системно или непосредственно в опухоль-«мишень»); используя специфические белки-мишени на поверхности клеток опухоли, вирус прикрепляется к клеточной поверхности и проникает внутрь клеток. Гибель опухолевой клетки может осуществляться за счет цитолитического действия вируса или за счет активации противовирусного иммунитета. Дополнительно происходит индукция специфического и неспецифического противоопухолевого иммунитета, что усиливает эффект разрушения опухолевых клеток.
- b. Онколитические вирусы, помимо разрушения инфицированных опухолевых клеток, могут способствовать гибели неинфицированных опухолевых клеток за счет не прямых механизмов воздействия (разрушение кровеносных сосудов, усиление специфических противоопухолевых иммунных реакций, специфическую активность вирусных белков и др.).
- c. В настоящее время, к сожалению, существуют только два зарегистрированных препарата на основе онколитических вирусов.

Всего – 10 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 5. Целевая и генная терапия – настоящее и будущее фармакологии

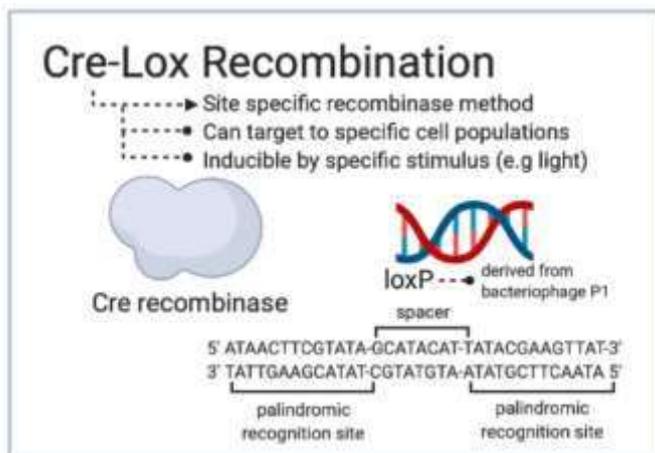
За каждый правильный ответ на подвопрос начисляется **1 балл**. В пунктах 1, 3 – 5, 7 – 10 балл начисляется, только если выбраны все утверждения, не противоречащие ответу на вопрос. В пунктах 2 и 6 необходимо выбрать одно правильное утверждение.

1. *a, d* – истинные; *b* – ложно, так как в настоящее время считается, что химиотерапия — это только лечение химически синтезированными препаратами; *c* – ложно, как и в пункте *b*, в настоящее время генная терапия является отдельной отраслью, хотя к ней применимы и некоторые утверждения, касающиеся таргетной терапии. Ответ также может быть зачтен как правильный, в случае наличия короткого обоснования, демонстрирующего что участник разобрался в сути вопроса.
2. Наиболее подробным и правильным будет ответ *c*.
3. *a* и *d* – ложные утверждения. *b* и *c* – истинные.
4. *a, b* и *c* – истинные.
5. *a* и *c* – истинные.
6. Наименее подробный ответ *c*. Из оставшихся, более подробным кажется пункт *b*. Ответ также может быть зачтен как правильный в случае наличия короткого обоснования, демонстрирующего, что участник разобрался в сути вопроса.
7. *b* – истинное.
8. *b* и *c* – истинные утверждения.
9. *a, b* и *c* – истинные.
10. *a* и *b* – истинные. *c* – ложно, на самом деле их немного больше (более 5).

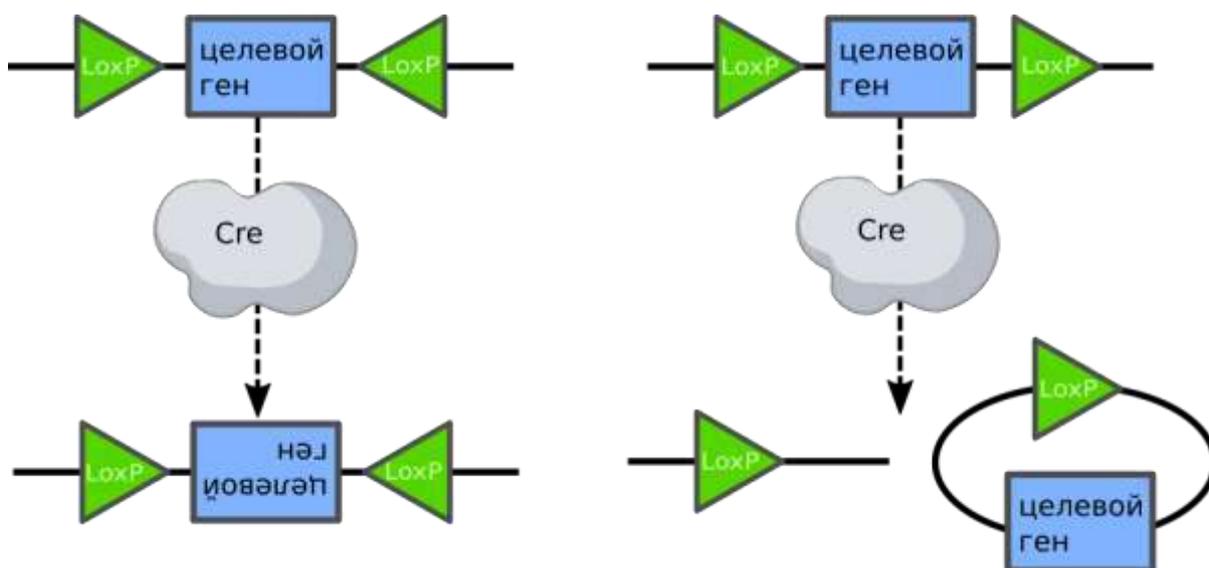


Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 6. Cre-Lox

При исследовании молекулярных механизмов тех или иных сигнальных процессов в клетке часто возникает задача включить или выключить определенный ген. Популярным способом решения этой задачи является использование индуцируемой Cre-Lox рекомбиназной системы.

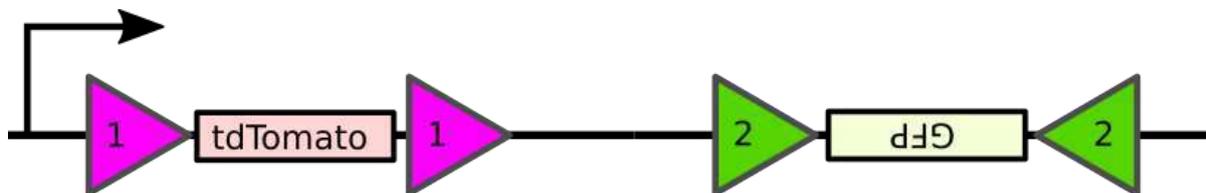


Белок Cre узнает так называемые LoxP-сайты — пары палиндромных повторов, расположенных по бокам короткой спейсерной последовательности, определяющей “направление” LoxP-сайта. Результат работы Cre-рекомбиназы зависит от взаимной ориентации пары LoxP-сайтов. Одними из возможных результатов являются делеции и обращения ориентации последовательности ДНК между LoxP-сайтами, как показано на схеме (LoxP-сайты обычно обозначаются треугольниками, ориентация треугольника указывает ориентацию LoxP-сайта).



Сейчас известно несколько вариантов LoxP-сайтов, отличающихся последовательностью нуклеотидов в спейсере. При этом Cre-рекомбиназа может узнавать пары любых вариантов, но только одинаковых. Часто используют генно-инженерные варианты Cre-рекомбиназы, делая её индуцируемой специальными веществами, например, тамоксифеном.

Студент Петр выращивал культуру клеток, в генетический код которых были встроены последовательности, кодирующие флуоресцентные белки (красный – tdTomato и зеленый – GFP), обрамленные двумя разными LoxP-сайтами (обозначены цветами и цифрами 1 и 2):



Культура была дополнительно трансфицирована аденоассоциированным вирусом, кодирующим индуцируемую Cre-рекомбиназу. Через неделю после суточной обработки культуры тамоксифеном Петр поместил чашку с культурой под флуоресцентный микроскоп и увидел результат, который его удивил.

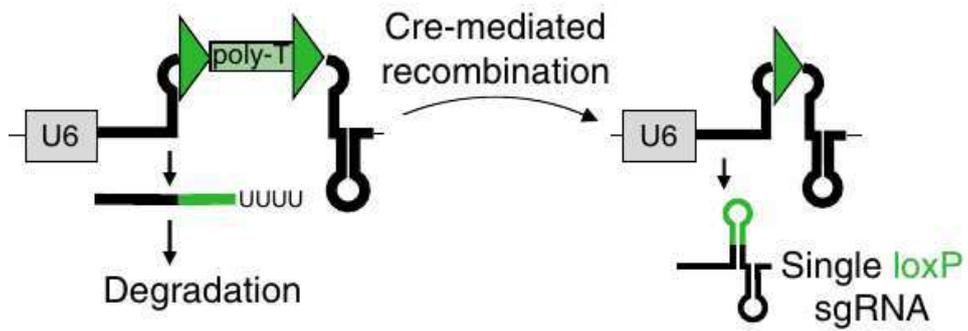
1. Как вы считаете, что увидел Петр? Ответ обоснуйте. **(2 балла)**

- a. Все клетки перестали флуоресцировать.
- b. Все клетки флуоресцировали красным светом.
- c. Все клетки флуоресцировали зеленым светом.
- d. Часть клеток светилась зеленым светом, а часть не флуоресцировала.
- e. Часть клеток светилась красным светом, а часть не флуоресцировала.
- f. Часть клеток светилась зеленым светом, а часть – красным.
- g. Часть клеток светилась желтым цветом, а часть – зеленым.
- h. Другой вариант ответа.

2. Какой должна быть комбинации LoxP-сайтов и кодирующих последовательностей, чтобы до индукции Cre-рекомбиназы все клетки были зелеными, а после – светились красным? **(2 балла)**

Для работы Cre-Lox системы нужен генно-инженерный организм с уже внедренными на нужные места LoxP-сайтами, потому что Cre-рекомбиназа распознает только их. Для другого популярного метода редактирования генома, CRISPR, нужны два компонента: белок Cas9 и направляющая РНК (sgRNA), ответственная за распознавание целевой последовательности в геноме. Cas9, связанный с направляющей РНК, создает двуниевые разрывы в ДНК рядом с целевой последовательностью, что, в итоге, позволяет “выключать” тот или иной ген, производить вставки и замены генетического кода. В одной из недавних работ в журнале из группы Nature предлагается метод управления работой CRISPR-системы при помощи Cre-зависимого синтеза направляющей РНК.

3. Ниже приведена схема **включения** CRISPR-системы после активации Cre-рекомбиназы. Постарайтесь расшифровать эту схему и объяснить, как она работает. **(2 балла)**. Почему зеленая часть sgРНК в финальной стадии показана как шпилька? **(1 балл)**



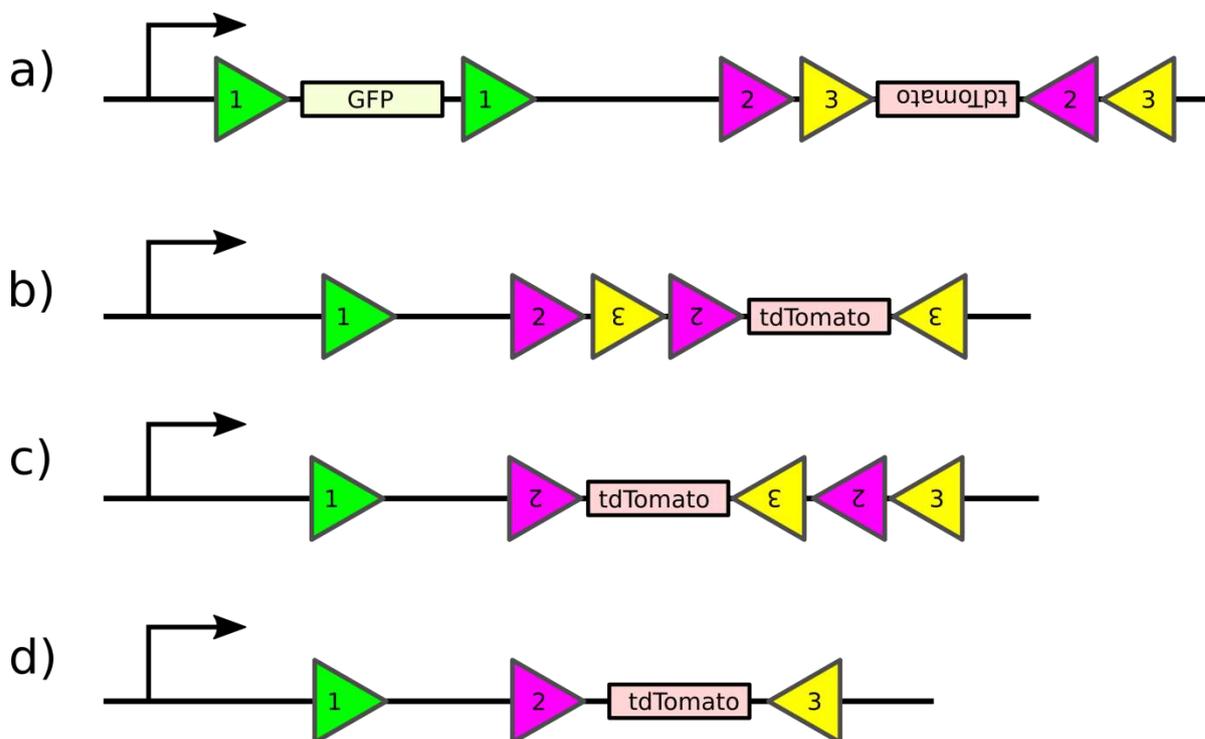
4. Предложите аналогичную схему, но в которой активация Cre-рекомбиназы **ВЫКЛЮЧИТ** CRISPR-систему. (3 балла)

Всего – 10 баллов



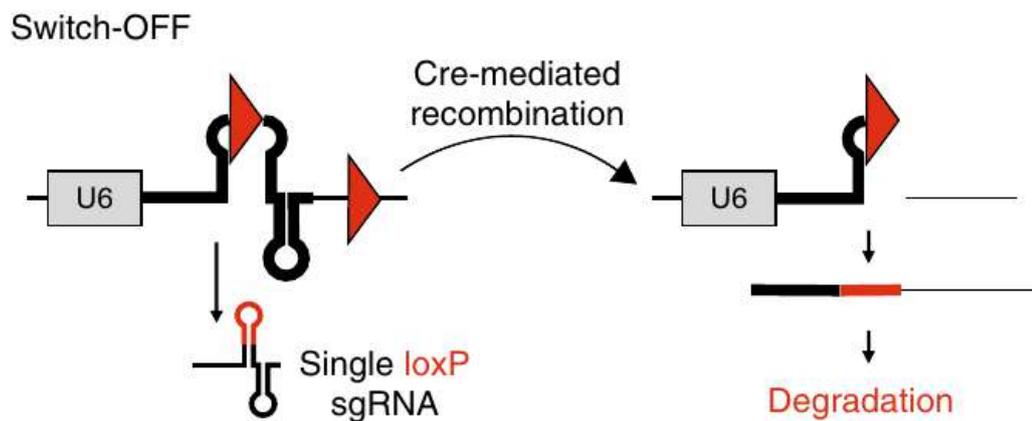
Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Решение задачи 6. Cre-Lox

1. Правильный ответ – *d*. Часть клеток не флуоресцировала, часть светилась зеленым. Ген, кодирующий tdTomato будет вырезаться всегда. Ген, кодирующий GFP, будет «разворачиваться» Cre-рекомбиназой, что сможет привести к его экспрессии. Но обращенная последовательность тоже может разворачиваться обратно, прекращая синтез белка. После удаления тамоксифена и инактивации Cre-рекомбиназы в части клеток ген окажется в читаемом, а в части – в нечитаемом положении.
2. Направленные в одну сторону LoxP-сайты одного типа вокруг GFP, пары зеркальных LoxP-сайтов второго и третьего типа вокруг развернутого tdTomato (тогда разворот tdTomato в читаемое положение с использованием одной из пар LoxP-сайтов поставит один из этих сайтов между одинаково направленными LoxP-сайтами другой пары и он будет вырезан, останавливая развороты). Схема решения показана на рисунке: (a) исходная конструкция, (b, c) два возможных промежуточных варианта, (d) конечный продукт.



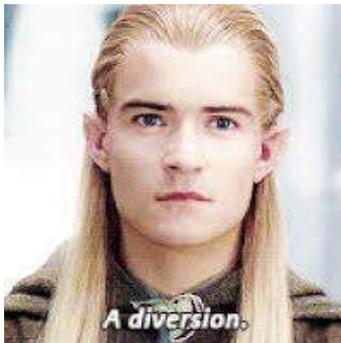
3. До включения Cre-рекомбиназы в последовательность sgRNA вставлен политимидиновый сигнал терминации транскрипции, функциональная sgRNA не образуется. Активная Cre вырезает политимидиновую последовательность и один из LoxP-сайтов, получается функциональная sgRNA. Показана шпилькой, потому что это палиндромная последовательность, части которой комплементарны друг другу.

4. Вариант из той же статьи, но будут рассмотрены и другие обоснованные варианты:





Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Задача 7. Зоркий Леголас



По оценке Гэндальфа, эльф Леголас мог отличить воробья от зяблика на расстоянии в 2 лиги (примерно 10 км). Люди, увы, не могут похвастаться такой остротой зрения.

1. Назовите класс животных, обладающих наибольшей остротой зрения. **(1 балл)**
2. Чем определяются пределы максимально возможной остроты зрения? **(2 балла)**
3. Однородна ли острота зрения относительно поля зрения у человека? Почему? **(1 балл)**
4. Считая, что клеточные и молекулярные механизмы физиологии эльфов и людей схожи, предположите:
 - a. Какие анатомические особенности могут обеспечить повышенную остроту зрения эльфов? **(3 балла)**
 - b. Какие адаптации и в каких тканях должны были произойти параллельно с улучшением остроты зрения? **(3 балла)**

Всего – 10 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 7. Зоркий Леголас

1. Птицы, особенно дневные хищные.
2. Прежде всего – плотностью расположения фоточувствительных клеток, которая, во-первых, не может быть бесконечно большой, во-вторых, при очень высокой плотности клеток уже достигается предел разрешения, определяемый длиной волны света и показателем преломления стекловидного тела.
3. Нет, не однородна, повышена в т.н. желтом пятне, в районе центра поля зрения. Метаболически слишком затратно иметь равномерно высокую плотность фоторецепторов на всей сетчатке. Неравномерность остроты зрения компенсируется саккадами.
4.
 - a. Большая плотность фоточувствительных клеток на сетчатке, меньшее количество фоточувствительных клеток, приходящихся на одну ганглионарную клетку, форма глазного яблока, работающая как телескопический объектив, что сузит поле зрения; увеличение объемов поступающей от сетчатки информации должно найти отражение в толщине зрительного нерва (и размеров слепого пятна), более развитых латеральных колленчатых тел таламуса и больших размеров зрительной коры в головном мозге.
 - b. Если поле зрения более узкое, то более быстрые и амплитудные саккады → более развитые мышцы, управляющие глазным яблоком; повышенная плотность палочек и колбочек требует большей метаболической поддержки → больше кровеносных сосудов в сетчатке, возможно, образование особых выростов (глазной гребень, *pecten oculi*) внутри глазного яблока, как у птиц.



Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Задача 8. Бабочки, осы и вирусы

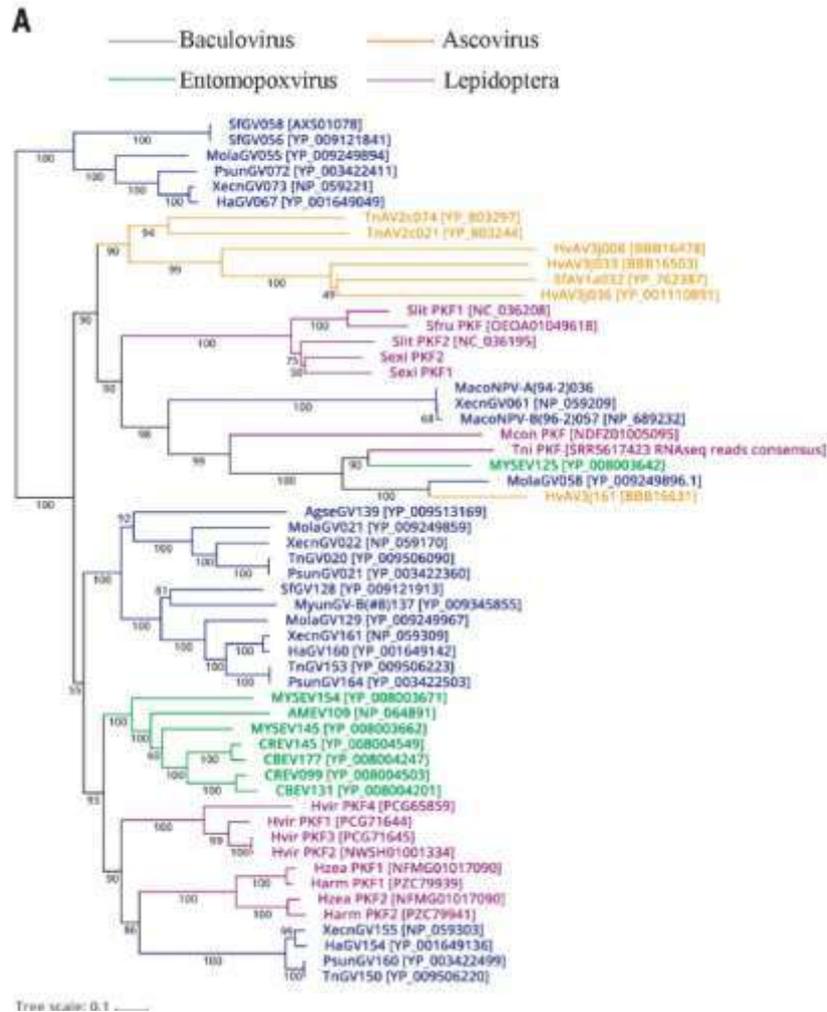


Вам, должно быть, известно, что многие гусеницы бабочек могут выступать как хозяева паразитических ос – наездников, откладывающих в них яйца. Кроме того, гусеницы могут заражаться несколькими семействами вирусов насекомых. Некоторыми вирусами (бакуловирусы, энтомопоксвирусы) гусеницы заражаются, поедая зараженные листья, а другие вирусы (асковирусы) переносятся наездниками при откладывании яиц.

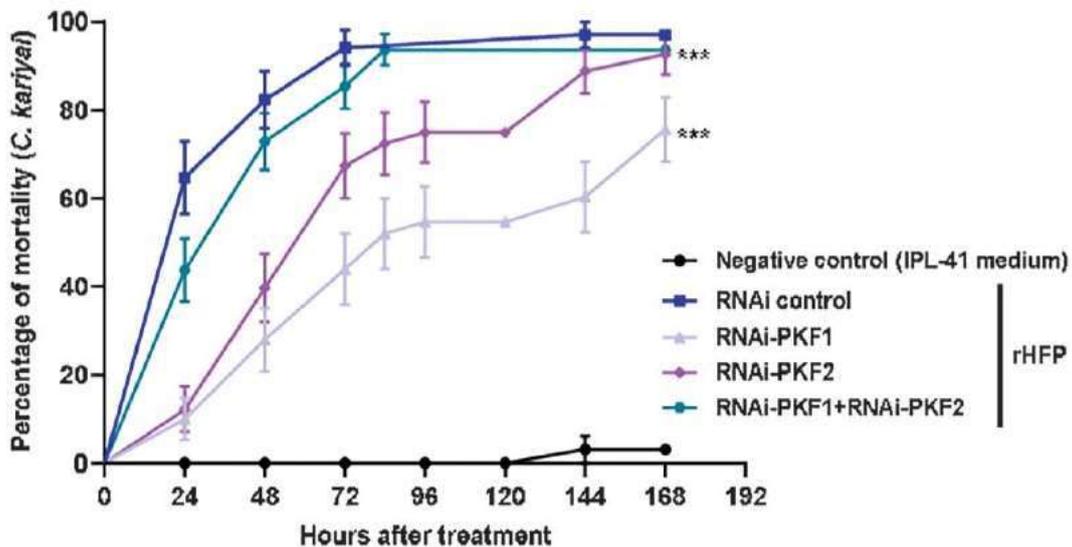
Но, как показали авторы статьи 2021 г. в журнале Science, гусеницы не столь беззащитны, как кажется, а вирусы – не всегда вредны.

Авторы упомянутой статьи обнаружили, что на гусеницах, зараженных некоторыми вирусами, не могут развиваться личинки нескольких семейств наездников, а на здоровых гусеницах – могут. Выделив и отфильтровав от вирусных частиц гемолимфу из зараженных гусениц, авторы показали, что в ней содержится белок, который и подавляет рост паразитических ос; белок был назван РКФ (parasitoid killing factor). В геноме вируса был выделен ген, кодирующий этот белок. Гомологичные гены были найдены как в различных семействах вирусов, так и в геномах некоторых бабочек.

Проанализировав последовательности гомологичных генов, авторы пришли к выводу, что в ходе эволюции неоднократно происходила передача набора этих генов от вируса к геному хозяина и наоборот. Интересно, что гены семейства *pkf* были найдены и у асковирусов, которые переносятся наездниками. Кладограмма гомологичных последовательностей, кодирующих РКФ показана на рисунке:



У бабочки *S. exigua* в геноме есть 2 родственных гена, *pkf1* и *pkf2*. Авторы статьи проверили, насколько специфичны продукты экспрессии этих генов в подавлении роста личинок наездников. Экспрессия генов *pkf1* и *pkf2* подавлялась при помощи интерферирующих РНК, после чего очищенную гемолимфу использовали для тестирования смертности среди личинок наездника *C. kariyai*. Тестировалась гемолимфа из гусениц с выключенным только *pkf1*, гусениц с выключенным только *pkf2* и смесь гемолимф двух видов гусениц. Полученные кривые смертности личинок наездника показаны на графике:



1. В чем выражается эволюционное преимущество для вирусов, если они несут ген rKf? Одинаково ли преимущество для вирусов с разным типом распространения? Могут ли сами наездники получать эволюционное преимущество, распространяя вирусы, кодирующие РКФ? **(3 балла)**
2. Какие особенности генетического кода белков РКФ могли указать на произошедший горизонтальный перенос генов? **(2 балла)**
3. Авторы предположили, что РКФ вызывает апоптоз в личинках наездников. Как проверить эту гипотезу? **(1 балл)**
4. Опишите механизм работы подавления экспрессии генов при помощи интерферирующих РНК. **(1 балл)**
5. Рассмотрите приведенный выше график смертности личинок наездников. Как вы считаете, почему смертность личинок в случае использования смеси гемолимф животных с двумя разными нокаутами почти такая же, как без подавления активности генов (зеленая кривая)? **(3 балла)**

Всего – 10 баллов

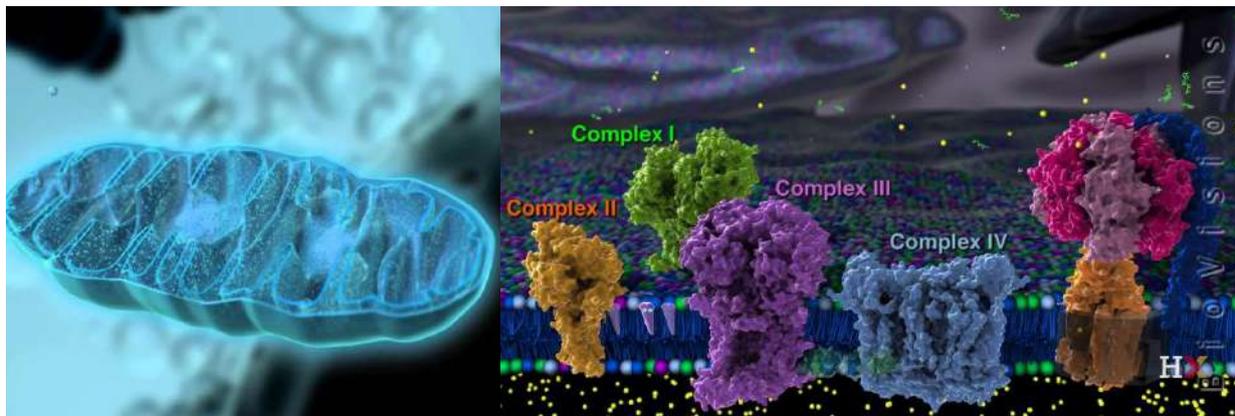


Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 8. Бабочки, осы и вирусы

1. Вирусы конкурируют с наездниками за хозяина. Для вирусов, которые распространяются орально, польза более очевидна. Некоторые наездники нечувствительны к РКФ, перенос вирусов с РКФ для них преимущество в конкуренции с другими наездниками.
2. Отсутствие корреляции между родственными группами бабочек и положением на кладограмме для rkf, наличие похожих rkf у неродственных вирусов.
3. Авторы проверяли это по фрагментации ДНК у личинок.
4. iRNA конъюгирует с таргетной, образуя двухцепочечную РНК, двухцепочечные РНК уничтожаются в цитоплазме (рибонуклеаза Dicer и комплекс RISC).
5. В смеси гемолимф есть и рабочий РКФ1 (от гусениц с выключенным rkf2), и рабочий РКФ2 (от гусениц с выключенным rkf1). Возможно, эти два белка могут усиливать действие друг друга.



Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Задача 9. Загадочные митохондрии



Потребление кислорода — обязательное условие существования огромного количества организмов, живущих на Земле. Митохондрии — важнейшие органеллы эукариот, отвечающие за использование кислорода, необходимого для выработки энергии.

1. Кратко опишите, какие белковые комплексы в митохондриях обеспечивают превращение кислорода и каким образом это приводит к выработке энергии. В ответе укажите, в какую молекулу переходит кислород и в каком виде запасается энергия. Как называется весь сложный процесс выработки внутриклеточной энергии с использованием кислорода? **(1 балл)**
2. Перечислите, какими еще функциями обладают митохондрии, кроме потребления O_2 с последующей выработкой энергии. **(1 балл)**
3. Студентам биологического факультета на практикуме предложили исследовать, как меняется поглощение кислорода и синтез АТФ митохондриями при различном содержании кислорода в среде. Для этого студентам предоставили изолированные интактные митохондрии с нужным раствором, содержащим АДФ и всеми молекулами, необходимыми для работы всех ферментных систем митохондрий. Для выполнения работы студенты использовали высокочувствительный прибор для измерения поглощения O_2 , позволяющий также одновременно регистрировать количество синтезируемых молекул АТФ (на самом деле, таких приборов еще не существует, но представим, что они уже есть). Студенты измерили количество поглощаемого митохондриями O_2 и определили, сколько при этом образуется АТФ. Потом митохондрии в течение некоторого времени подержали без притока O_2 (в условиях полной гипоксии). Что произошло с процессом синтеза АТФ? **(1 балл)**
После периода гипоксии студенты снова включили подачу O_2 и продолжили регистрировать поглощение O_2 митохондриями и количество образующихся молекул АТФ. К удивлению студентов, оказалось, что митохондрии поглощали кислорода больше, чем должно было поглощаться при том количестве АТФ, которое образовалось. На какой процесс/процессы ушли те молекулы O_2 , которые были поглощены митохондриями, но не приняли участие в сложном процессе, приводящем к образованию АТФ? Ответ поясните. **(2 балла)**
4. После эксперимента с изолированными митохондриями студенты провели похожий эксперимент с культурой клеток, которую сначала держали при нормальном

содержании кислорода, измерив количество поглощаемого O_2 в единицу времени и количество образующихся молекул АТФ. Затем студенты выключили подачу O_2 и проверили, сколько АТФ синтезируется в условиях гипоксии. Как Вы считаете, будет ли образовываться АТФ при гипоксии и если да, то за счет какого процесса? **(1 балл)**

Представим, что период гипоксии был кратковременным и не приводил к гибели клеток. Напишите, что будет происходить в митохондриях после того, как подача кислорода к клеткам будет восстановлена? **(2 балла)**

5. Какие методы исследования митохондрий Вы знаете? **(1 балл)**

Какими методами можно исследовать структуру и функции белковых комплексов, с работой которых связано превращение O_2 и синтез АТФ в митохондриях? **(1 балл)**

Всего – 10 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 9. Загадочные митохондрии

1. Потребление O_2 происходит для того, чтобы обеспечить работу дыхательной, или электронтранспортной цепи (ЭТЦ) в митохондриях. В ЭТЦ электроны поступают от молекул NADH (это донор электронов для комплекса I) или сукцината (донор электронов для комплекса II), а затем через убихиноны передаются на комплекс III, а оттуда при помощи цитохрома C переносятся на комплекс IV, в котором осуществляется финальный перенос электронов на молекулу O_2 с образованием H_2O . При переносе электронов по комплексам ЭТЦ осуществляется трансмембранный транспорт протонов H^+ из матрикса в межмембранное пространство митохондрий. Эти протоны использует АТФ-синтаза (ее еще называют комплексом V), чтобы синтезировать АТФ. Весь процесс образования АТФ в митохондриях носит название окислительного фосфорилирования.
2. Кроме функции образования АТФ митохондрии имеют многие другие функции: накопление и хранение избыточных ионов кальция, образование активных форм кислорода и их нейтрализация, синтез оксида азота, цитохром C-зависимый апоптоз и др.
3. В условиях, когда к митохондриям не будет поступать никакого O_2 , прекратится перенос электронов на O_2 в комплексе IV ЭТЦ и постепенно вся дыхательная цепь заполнится электронами, поскольку они по-прежнему будут поступать от молекул-первичных доноров электронов, но не будут переноситься на финальный акцептор – O_2 . Через некоторое время вся ЭТЦ заполнится электронами и остановится поступление протонов в межмембранное пространство митохондрий и, как следствие, прекратится работа АТФ-синтазы. После восстановления притока O_2 часть молекул O_2 уйдет на то, что на них произойдет перенос электронов из «неправильных» участков ЭТЦ – от комплексов III и I с образованием супероксид-анион радикала O_2^- . Это и были «лишние молекулы O_2 », не способствующие синтезу АТФ.
4. В клетках в условиях гипоксии процесс окислительного фосфорилирования будет остановлен, но образование АТФ будет продолжаться за счет гликолиза – анаэробного процесса, не требующего O_2 . При этом, как и в прошлом случае, при гипоксии дыхательная цепь митохондрий будет переполняться электронами, которые после восстановления подачи O_2 к клеткам, будут переноситься на O_2 не только в комплексе IV с образованием воды, но и к O_2 на комплексах III и I с образованием O_2^- . В дальнейшем O_2^- может переходить в перекись водорода, которая может давать другие активные формы кислорода, вызывая процессы окислительного стресса.
5. Методы абсорбционной спектроскопии (регистрация спектров поглощения различных компонентов дыхательной цепи), разновидности флуоресцентной микроскопии и спектроскопии с использованием флуоресцентных зондов на разность потенциалов на внутренней митохондриальной мембране, белки митохондрий, митохондриальный Ca^{2+} и т. д. Регистрация кинетик поглощения O_2 при ингибировании различных комплексов дыхательной цепи митохондрий. Просвечивающая электронная микроскопия и криоэлектронная микроскопия.



Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Задача 10. Светящиеся рыбки



В аквариумах можно встретить светящихся рыбок GloFish, которые обязаны своим появлением человеку. Первыми люминесцентными трансгенными рыбами были данио рерио (*Danio rerio*), которые получили светящийся ген от медузы и приобрели зеленый цвет.

Изначально задача исследователей состояла в том, чтобы вывести таких пресноводных рыб, которые бы изменяли свой окрас при попадании в загрязненную водную среду – предполагалось создание рыб, которые могли бы служить индикаторами загрязнения воды. Второй задачей ученых было облегчить наблюдение за внутренними органами полупрозрачных данио.

1. Почему для экспериментов была выбрана рыбка *Danio rerio*? **(1 балл)**
2. Белок какой известной медузы использовали ученые для окрашивания рыбок? **(1 балл)**
Как называется этот белок? **(1 балл)**
3. Почему ученым не удалось добиться изменения интенсивности окраски рыб при попадании в среду загрязнителей? Почему этих рыб не используют как биоиндикаторы? **(2 балла)**
4. При каком источнике освещения рыбки будут светиться? Возможно ли их свечение в солнечном свете? **(1 балл)**
5. Является ли процесс свечения рыбок GloFish биолюминесценцией? Встречается ли в природе у рыб биолюминесценция? **(2 балла)**
6. Какие животные или растения с биолюминесценцией можно использовать как биоиндикаторы? **(2 балла)**

Всего – 10 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 10. Светящиеся рыбки

1. Рыбки *Danio rerio* считаются одним из самых удобных подопытных животных, поскольку неприхотливы, легко и быстро размножаются, могут жить в небольших ёмкостях.
2. Морская медуза *Aequorea victoria*. Зелёный флуоресцентный белок (ЗФБ) (англ. Green fluorescent protein, GFP).
3. Были получены флуоресцентные рыбы. Флуоресценция и биолюминесценция – разные процессы. Рыб не используют в качестве биоиндикаторов, поскольку они не сменяют интенсивность своего свечения, как было задумано при их создании. Дело в том, что флуоресцентный белок находится не на поверхности рыб и его свечение не связано с процессами метаболизма и жизнедеятельностью рыб.
4. Рыбы светятся при освещении синим светом. Дело в том, что максимум поглощения флуоресцентного белка GFP приходится на 470-490 нм, поэтому наиболее интенсивное свечение будет наблюдаться у рыб при освещении синими диодными лампами или синими лазерами с длинами волн 473 или 488 нм. При освещении солнечным светом рыбки также будут светиться, но менее интенсивно, поскольку в солнечном свете есть доля синего света.
5. Нет, у GloFish наблюдается процесс флуоресценции. Пример биолюминесценции у рыб – рыба удильщик (морской черт), которая привлекает добычу свечением на конце «удочки». Возможны иные варианты. Кальмар, использующий биолюминесценцию бактерий (которых он заглатывает из воды) не засчитывается как правильный ответ.
6. Ответ считается засчитанным, если указаны такие биолюминесцентные растения или животные, как черви, грибы, светлячки, кораллы, метаболизм и биолюминесценция которых зависит от загрязнения окружающей среды. Баллы не начисляются, если указываются животные или растения, использующие флуоресценцию (например, белки-летяги, перья сов, флуоресцентные лягушки). **1 балл** начисляется за одно правильно указанное животное/растение. **2 балла** – за указание двух и более правильно указанных животных/растений.



Математика. Отборочный этап

Математика

Категория участников: школьники 7-11 классов

Блок теоретических заданий отборочного этапа по **математике для школьников 7-11 классов** включает задачи разной сложности. Для повышения вероятности прохождения на заключительный этап желательно решить задачи не только по математике, но и по химии, биологии, физике, чтобы набрать больше баллов. Дополнительные баллы (50%) будут добавлены за прохождение **тестов ЗНТШ** по [химии](#), [физике](#), [математике](#), [биологии](#).

Перед отправкой заявки, пожалуйста, внимательно ознакомьтесь с [инструкцией по загрузке работ](#).

Задания

1. Суперпамять

Британские исследователи работают над усовершенствованием нового способа размещения информации на дисках из кварцевого стекла. Метод основан на «прорезании» наноструктур в объеме диска при помощи лазера. При этом записывающий лазер способен создавать наноструктуры...

2. Графеновая радуга

Известно, что шестиугольники графенового листа можно полностью раскрасить в 7 цветов так, что любой произвольно выбранный на нем фрагмент в форме «ромашки» всегда будет раскрашен в разные цвета. Найдите все уникальные способы такой раскраски графена...

3. Наноструктурный анод литий-ионного аккумулятора

Компания Airbus работает над увеличением длительности автономного полета своих беспилотных электросамолетов Zephyr (которые работают на мощных солнечных батареях) с текущих 25-26 дней до трех месяцев, а в перспективе – до полугода...

4. Фаграфен

Каждому из вас хорошо знаком двумерный углерод – графен, за получение которого в 2010 году была вручена Нобелевская премия по химии. Он представляет собой сетку, состоящую из шестиугольников, напоминающую соты (рис. а). К настоящему времени при помощи математического моделирования...

5. Нанороллы

Группа китайских ученых создала алюмофосфатный материал, частицы которого назвала нанороллами (рис. 1). По представленной на рис. 1b микрофотографии наноролла оцените его внутренний и внешний диаметр, а также высоту...

6. Эффективность вакцины

Вакцинация от COVID-19 – важнейшее средство борьбы с пандемией, которое может защитить от заражения и неблагоприятных исходов болезни. Однако, как и в случае любых других вакцин, она не гарантирует 100% защиты...

7. Полые металлические кластеры как луковица

Рассмотрим такие ПМК, все грани которых являются правильными треугольниками (рис. 1б). Предположим, что два ПМК одинаковой формы, но с разным количеством атомов металла, приходящихся на его ребро (n_1 и n_2 , где $n_1 < n_2$) можно вложить друг в друга...

8. Геометрия нанокластера RuSn9

Рассмотрим такое взаимное расположение атомов олова Sn, при котором все грани многогранника Sn₉ (см. рис.) являются правильными треугольниками (многогранник X). Назовите самые маленькие правильные многогранники...

9. Четырехвалентные многогранники Гольдберга

Многогранники Гольдберга представляют собой высокосимметричные выпуклые многогранники, составленные из треугольников и квадратов, сходящихся в каждой вершине по четыре. Рассмотрим соответствующие этим многогранникам каркасные структуры (Г)...

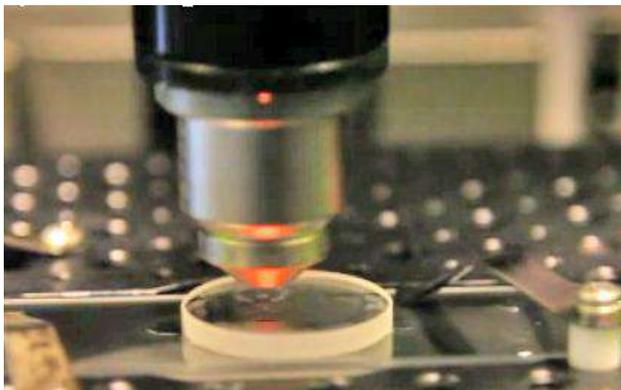
10. Необычные углеродные структуры

Графен – двумерный материал, образованный атомами углерода, соединенными в сетку

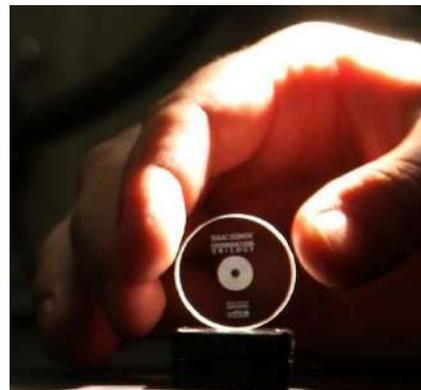
из правильных шестиугольников. Задавая взаимное расположение отдельных шестиугольников на этой сетке (рис. 1), мы можем создавать развертки самых разнообразных каркасных углеродных структур...



Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Задача 1. Суперпамять



а) Процесс записи информации на диск из кварцевого стекла при помощи лазера.



б) Внешний вид диска с записью оригинальной трилогии Айзека Азимова «Основание». Один из таких дисков был отправлен в 2018 году в космос на ракете Falcon Heavy.

Рис. 1. Большая устойчивость кварца позволяет наноструктурам внутри него сохранять информацию практически вечно.

Британские исследователи работают над усовершенствованием нового способа размещения информации на дисках из кварцевого стекла (рис. 1). Метод основан на «прорезании» наноструктур в объеме диска при помощи лазера (рис. 2, 3). При этом записывающий лазер способен создавать наноструктуры из заранее определенного набора форм (с помощью них кодируется информация), которые потом «идентифицируются» считывающим лазером.

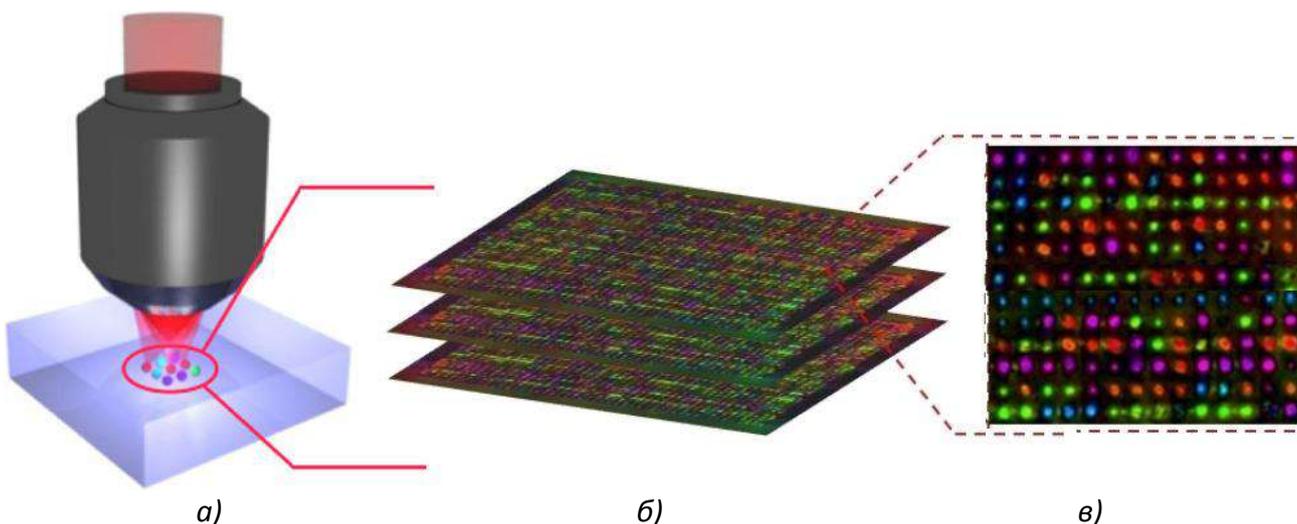


Рис. 2. (а) Лазерные импульсы создают внутри стекла (б) плоские слои из кодирующих информацию упорядоченных массивов наноструктур, (в) каждую из которых можно условно визуализировать в виде окрашенного пятна, цвет которого отвечает углу ориентации наноструктуры (рис. 3б), а яркость – ее размеру.

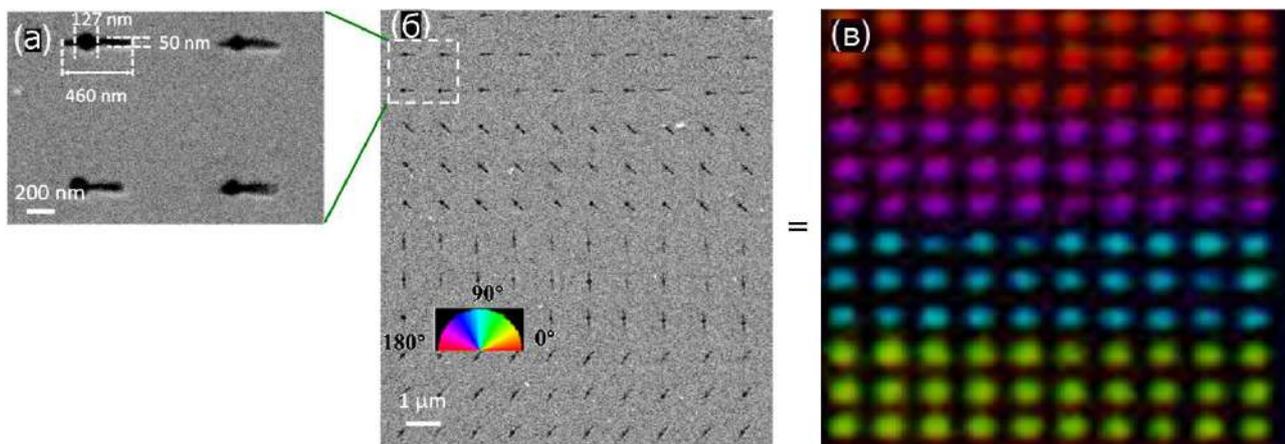


Рис. 3. а) Микрофотография четырех наноструктур в слое, полученная при помощи сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

б) СЭМ-изображение фрагмента слоя наноструктур, на котором для примера продемонстрированы элементы четырех различных ориентаций.

в) Визуализация наноструктур (рис. 3б) условными цветами на основании угла наклона (последовательно сверху вниз):

0° – красный, 135° – фиолетовый, 90° – голубой, 45° – зеленый.

1. Сколько наноструктур расположено в 1 мм^3 кварцевого стекла, если расстояние между соседними кодирующими информацией элементами в слое составляет 1,2 мкм, а толщина одного слоя – 10 мкм. **(2 балла)**
2. Сколько бит информации можно закодировать одной наноструктурой, если технология позволяет записывать и идентифицировать при чтении элементы в восьми возможных ориентациях и двух возможных размеров? **(2,5 балла)**
3. Сколько информации поместится на кварцевый диск диаметром 12 см и толщиной 4 мм при размещении наноструктур с той же плотностью, что и в п. 1? **(2 балла)**
4. Сколько информации можно будет записать на кварцевый диск из п. 3, если расстояние между наноструктурами уменьшить до 200 нм, толщину слоя – до 3 мкм, а один элемент будет кодировать 8 бит? **(1,5 балла)**

Всего – 8 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)

Решение задачи 1. Суперпамять

1. По условию, все кодирующие информацию элементы находятся в узлах трехмерной «сетки», разбивающей объем диска на одинаковые параллелепипеды. На один такой параллелепипед объемом $1,2 \cdot 1,2 \cdot 10 \text{ мкм}^3$ приходится $8 \cdot 1/8 = 1$ наноструктура. Тогда в 1 мм^3 кварцевого стекла расположено

$$N_1 = 1 \cdot 10^{-9} / (1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-5}) = 6,94 \cdot 10^7 \text{ наноструктур.}$$

2. Поскольку для каждого элемента, кодирующего информацию, существует восемь вариантов ориентации и два варианта размера, то всего для него существует $8 \cdot 2 = 16 = 2^4$ возможных вариантов, что соответствует 4 битам информации.
3. Объем такого диска составляет

$$V = \pi d^2 / 4 \cdot h = 3,14 \cdot (12 \cdot 10^{-2})^2 / 4 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 4,52 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Число наноструктур в этом объеме равно

$$N = V / 1 \cdot 10^{-9} \cdot N_1 = 4,52 \cdot 10^{-5} / 1 \cdot 10^{-9} \cdot 6,94 \cdot 10^7 = 3,14 \cdot 10^{12}$$

Поскольку каждая наноструктура кодирует 4 бит информации, то общее количество записанной на такой диск информации составляет

$$I = 4 \cdot N = 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{12} = 1,26 \cdot 10^{13} \text{ бит}$$

$$1,26 \cdot 10^{13} \text{ бит} = 1,57 \cdot 10^{12} \text{ Б} = 1,53 \cdot 10^9 \text{ КБ} = 1,498 \cdot 10^6 \text{ МБ} = 1463 \text{ ГБ} = 1,43 \text{ ТБ}$$

4. В этом случае одна наноструктура будет приходиться на объем, равный $0,2 \cdot 0,2 \cdot 3 \text{ мкм}^3$. Тогда в объеме V , при условии, что одна наноструктура кодирует не 4, а 8 бит, можно будет записать

$$I = 8 \cdot 4,52 \cdot 10^{-5} / (0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}) = 3 \cdot 10^{15} \text{ бит} = 343 \text{ ТБ информации.}$$



Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Задача 2. Графеновая радуга

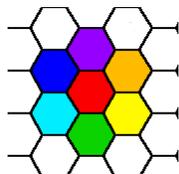


Рис. 1. Пример раскраски фрагмента графенового листа в форме «ромашки».

Известно, что шестиугольники графенового листа (рис. 3) можно полностью раскрасить в 7 цветов так, что любой произвольно выбранный на нем фрагмент в форме «ромашки» (рис. 1) всегда будет раскрашен в разные цвета.

1. Найдите все уникальные способы такой раскраски¹ графена, которые можно получить, стартуя с изображенной на рис. 1 «ромашки». Ответ обоснуйте. **(2,5 балла)**
2. Являются ли найденные раскраски периодическими²? Если да, выделите для них минимальную область, ограниченную центрами шестиугольников с одинаковыми цветами, повторяя которую можно задать раскраску целиком, и определите пары чисел³ (n, m) , отвечающие взаимному расположению этих шестиугольников. **(2,5 балла)**
3. Рассчитайте общее число уникальных способов, которыми можно раскрасить лист графена в 7 цветов радуги так, чтобы любой произвольно выбранный на нем фрагмент в форме «ромашки» был окрашен в 7 разных цветов. **(4 балла)**

¹Уникальный способ раскраски – такое взаимное расположение шестиугольников семи цветов, которое невозможно получить из других раскрасок ни при каких поворотах в плоскости графенового листа и/или при параллельных переносах.

²Периодичной называется структура, которая совмещается сама с собой при параллельном переносе в одном или нескольких направлениях.

³Любую пару шестиугольников (рис. 2) на графеновом листе (рис. 3) можно описать парой натуральных чисел (n, m) , являющихся координатами центра одного из них относительно центра другого в косоугольной системе координат:

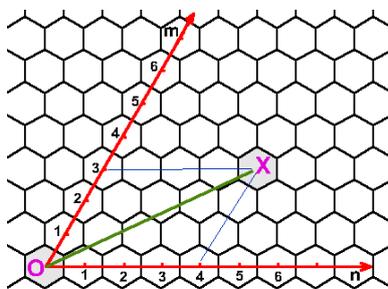


Рис. 2. Пример для пары шестиугольников, характеризуемых парой чисел $(4,3)$.

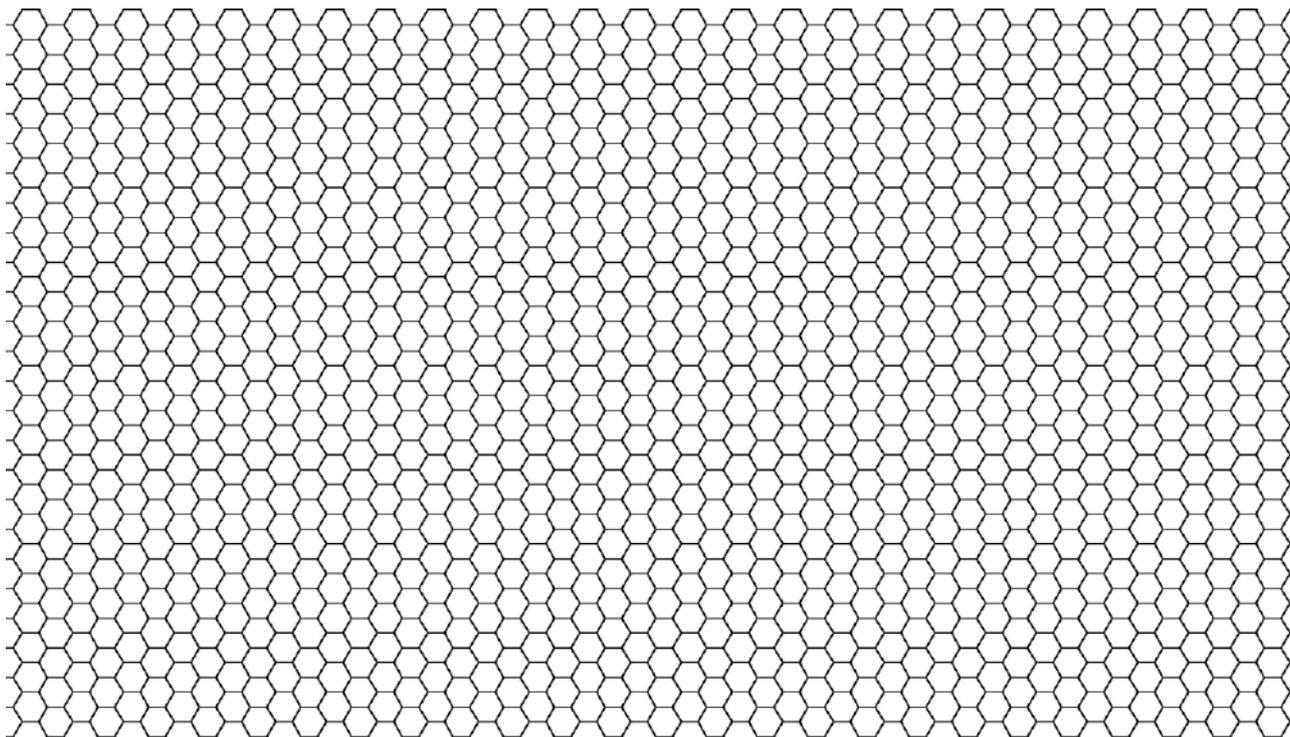


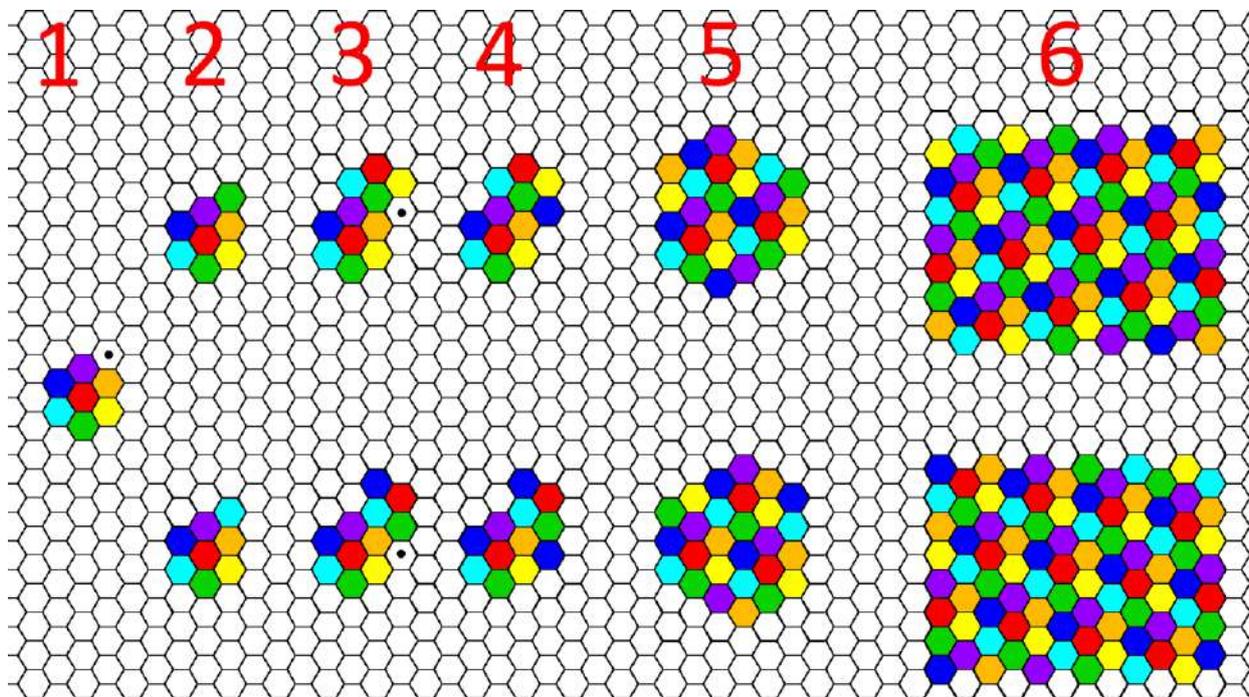
Рис. 3. Сетка шестиугольников как модель листа графена.

Всего – 9 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Решение задачи 2. Графеновая радуга

1. Рассмотрим возможные способы раскраски, пошагово заполняя цветными шестиугольниками пространство вокруг уже известной «ромашки».



Шаг 1) Рассмотрим шестиугольник, отмеченный точкой. Он не может быть окрашен ни фиолетовым, ни оранжевым цветом, иначе мы получим два одинаково окрашенных шестиугольника рядом. Он также не может быть окрашен красным, поскольку это приведет к появлению двух красных шестиугольников в окружении фиолетового/оранжевого шестиугольников. Он не может быть окрашен в желтый (синий) цвет, поскольку это также приведет к нарушению условия семи разных цветов для «ромашки» с центром в фиолетовом (оранжевом) шестиугольнике.

Шаг 2) Следовательно, для этого шестиугольника возможны два варианта окраски: вариант I – зеленый (вверху) и вариант II – голубой (внизу). Далее будем указывать только номер варианта, для которого выбираем тот или иной цвет.

Шаг 3) Поскольку нам известно, как именно относительно I зеленого (II голубого) шестиугольника расположен красный шестиугольник, отметим его, а также еще пару известных цветов-соседей для каждого из случаев. При этом возникает шестиугольник (отмечен точкой), который оказывается единственным незакрашенным в «ромашке» с I зеленым (II оранжевым) центром.

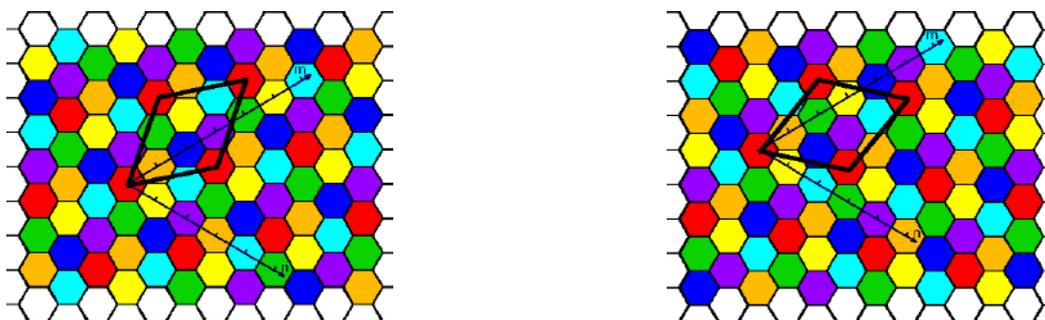
Шаг 4) И в первом, и во втором варианте до полного набора в «ромашке» не хватает синего цвета.

Шаги 5 и 6) Чередую заполнение окружения красных шестиугольников по заданному шаблону с закрасиванием «последних» шестиугольников в некоторых «ромашках» (то есть, выполняя условие, что любая «ромашка» содержит строго 7 цветов), расширяем закрашенную область.

Таким образом, можно получить всего два не совпадающих друг с другом способа раскраски.

- Оба способа раскраски являются периодическими. И в первом, и во втором способе раскраски минимальной повторяющейся областью является ромб, вершины которого лежат в серединах ближайших шестиугольников одного и того же цвета. Чтобы однозначно его задать, необходимо определить длину и положение на сетке шестиугольников одного из его ребер.

Поместим начало косоугольной системы координат в одну из вершин ромба и расположим оси так, чтобы координаты, задающие «однотипные» стороны ромбов обеих раскрасок, были неотрицательными. Тогда (n, m) составляют $(1,2)$ для первого случая и $(2,1)$ для второго:



- Как можно видеть, одному и тому же способу раскраски листа из правильных шестиугольников отвечают 7 разных «ромашек», по числу цветов раскраски, отвечающих центру группы. То есть, для однозначности выбора способа раскраски необходимо, во-первых, зафиксировать цвет центрального шестиугольника в «ромашке», а, во-вторых, задать индексы взаимного расположения центров двух «ромашек» друг относительно друга $((1,2)$ либо $(2,1)$).

Число уникальных способов раскраски «ромашки» с фиксированным цветом центрального шестиугольника (скажем, красного) равно числу не совпадающих при повороте вокруг центра способов раскраски кольца из шести элементов в шесть разных цветов.

Одному и тому же способу раскраски кольца из шести элементов отвечают шесть разных колец, по числу позиций, отличающихся лишь поворотом кольца вокруг центра «ромашки». То есть, для однозначности выбора способа раскраски кольца необходимо зафиксировать цвет одного из его шестиугольников, например, верхнего (скажем, фиолетовый). Тогда цвет второго шестиугольника в кольце можно выбрать пятью способами, третьего – четырьмя, четвертого – тремя, пятого – двумя, а последнего – одним способом.

То есть, всего существует $5! = 120$ не совпадающих при повороте вокруг центра способов раскраски кольца из шести элементов в шесть разных цветов.

То есть, общее число уникальных способов, которыми можно раскрасить графеновую плоскость во все цвета радуги так, чтобы любой произвольно выбранный на ней фрагмент в форме «ромашки» был окрашен в 7 разных цветов, равно

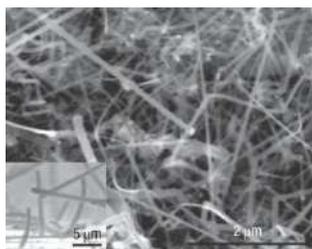
$$120 \cdot 2 = 240.$$



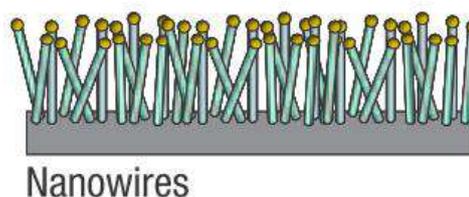
Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 3. Наноструктурный анод литий-ионного аккумулятора



Компания Airbus работает над увеличением длительности автономного полета своих беспилотных электросамолетов Zephyr (которые работают на мощных солнечных батареях) с текущих 25-26 дней до трех месяцев, а в перспективе – до полугода. Одно из технических решений, которое поможет достичь такого результата – это замена анода в обычных литий-ионных аккумуляторах, обеспечивающих полет самолета в ночное время, на наноструктурированный анод, представляющий собой «щеточку» из кремниевых нанопроволок (Рис. 1).



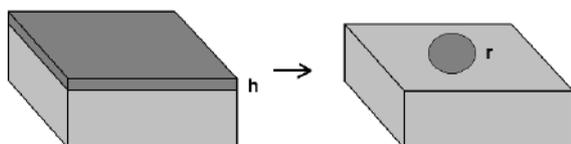
а) Микрофотография, полученная при помощи сканирующего электронного микроскопа.



б) Схематичное изображение «щеточки»; каждую из нанопроволок венчает золотой нанокластер.

Рис. 1. Анод из кремниевых нанопроволок.

Синтез материала, имеющего такую структуру, проводят в два этапа. На первом этапе на подложку напыляют тонкую пленку золота, которая при нагревании распадается на отдельные капли (рис. 2). На втором этапе, используя золотые капли как затравку, выращивают непосредственно нанопроволоки кремния.



а) Напыленная на подложку тонкая нанопленка золота при нагревании плавится и распадается на капли.



б) Взаимное расположение капель золота на подложке.

Рис. 2. Первый этап изготовления наноструктурированного анода.

1. Рассчитайте расстояние между центрами капель золота радиусом $r = 45$ нм, если толщина исходной пленки составляла 15 нм. **(3 балла)**

2. Рассчитайте длину кремниевых нанопроволок, если на втором этапе синтеза масса подложки размером 2 на 2 миллиметра увеличивается на 75 микрограммов.
(3 балла)

Считать, что:

- все капли золота имеют одинаковый размер и имеют форму сферы,
- взаимное расположение капель золота соответствует рис. 2б,
- диаметр кремниевой нанопроволоки равен диаметру золотой капли,
- кремниевые нанопроволоки имеют форму цилиндров одинаковой длины,
- плотность кремния $2,3 \text{ г/см}^3$.

Всего – 6 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 3. Наноструктурный анод литий-ионного аккумулятора

1. Обозначим расстояние между центрами капель золота как **A**.

Объем сферической капли золота радиусом *r* составляет

$$V_{Au} = 4/3\pi r^3. \quad (1)$$

Каждая капля получается из фрагмента нанопленки золота объемом

$$V_{Au} = S_0 h, \quad (2)$$

где S_0 – площадь, приходящаяся на одну каплю золота,
h – толщина исходной пленки золота.

Приравнявая (1) к (2), находим

$$S_0 = \frac{4\pi r^3}{3h}. \quad (3)$$

Рассмотрим правильный треугольник, вершины которого располагаются в центрах соседних атомов золота. Сторона такого треугольника равна **A**, а его площадь составляет

$$S_{\Delta} = 0,5A^2 \sin 60^\circ = A^2 \sqrt{3}/4. \quad (4)$$

На такой треугольник приходится

$$3 \cdot (1/6) = 0,5 \text{ капли золота} \quad (5)$$

(у каждого из треугольников 3 вершины, каждая из вершин является общей для 6 соседних треугольников).

Тогда на одну каплю золота приходится площадь, равная

$$S_0 = S_{\Delta} / 0,5 = A^2 \sqrt{3}/2. \quad (6)$$

Приравнявая (3) к (6), находим расстояние между центрами капель золота

$$A = \sqrt{2 S_0 / \sqrt{3}} = \sqrt{\frac{8\pi r^3}{3h\sqrt{3}}} \quad (7.1)$$

$$A = \sqrt{\frac{8 \cdot 3,14 \cdot 45^3}{3 \cdot 15\sqrt{3}}} = 171,4 \text{ нм}. \quad (7.2)$$

2. Зная массу и плотность кремния, мы можем рассчитать суммарный объем всех кремниевых нанопроволок:

$$V_{Si} = m/\rho. \quad (8)$$

В то же время, он равен общему объему всех цилиндров радиусом r и длиной L :

$$V_{Si} = N\pi r^2 L, \quad (9)$$

где N – общее число таких цилиндров, которое можно вычислить, зная размеры подложки и площадь, приходящуюся на один цилиндр (3):

$$N = a \cdot b / S_0 = \frac{3abh}{4\pi r^3}. \quad (10)$$

Приравнявая (8) к (9) и подставляя в полученное выражение (10), находим длину кремниевой нанопроволоки:

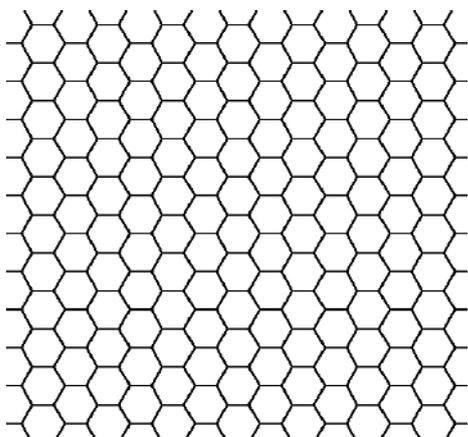
$$L = \frac{V_{Si}}{N\pi r^2} = \frac{m/\rho \cdot 4\pi r^3}{3abh \cdot \pi r^2} = \frac{4mr}{3abh\rho} \quad (11.1)$$

$$L = \frac{4 \cdot 75 \cdot 10^{-6} \cdot 45 \cdot 10^{-9}}{3 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^{-9} \cdot 2,3 \cdot 10^6} = 3,26 \cdot 10^{-5} \text{ метра} = 32,6 \text{ мкм}. \quad (11.2)$$

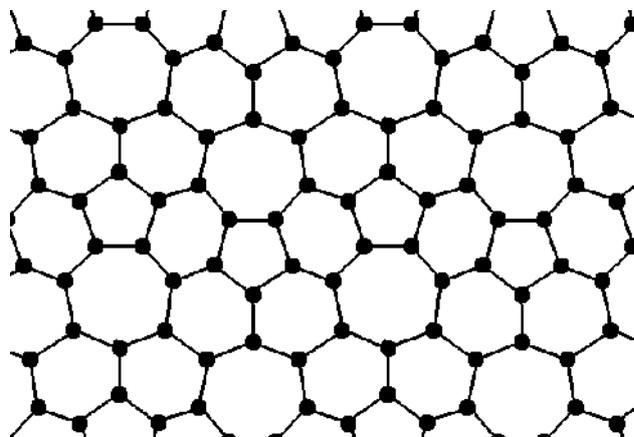


Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)

Задача 4. Фаграфен



а)



б)

Каждому из вас хорошо знаком двумерный углерод – графен, за получение которого в 2010 году была вручена Нобелевская премия по химии. Он представляет собой сетку, состоящую из шестиугольников, напоминающую соты (рис. а). К настоящему времени при помощи математического моделирования предсказано достаточно много аллотропных форм двумерного углерода, в том числе предложенный в 2015 году фаграфен (см. рис. б).

1. Рассмотрите структуру фаграфена. Из каких разных многоугольников она состоит? Найдите, посчитайте и опишите неэквивалентные (то есть, имеющие разное окружение):
 - а. многоугольники каждого типа; **(1 балл)**
 - б. узлы (атомы углерода); **(3 балла)**
 - в. ребра. **(3 балла)**
2. Выделите минимально возможную прямоугольную область – ячейку, – повторение которой позволяет полностью воспроизвести фаграфен. **(1 балл)** Найдите число узлов и число многоугольников каждого типа, приходящееся на ячейку. **(2 балла)**
3. Является плоским фаграфен, в котором все многоугольники являются правильными? **(1 балл)**

Всего – 11 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Решение задачи 4. Фаграфен

1.

а. В структуре фаграфена мы можем выделить три неэквивалентных по числу вершин многоугольника: **M5**, **M6** и **M7**, содержащие 5, 6 и 7 углов, соответственно. В то же время, можно видеть, что в структуре фаграфена шестиугольники имеют два типа окружения (обходим шестиугольник по часовой стрелке): 5-6'-7-5-6'-7 (**M6**) и 6'-7-6'-7-6-5 (**M6'**).

То есть, всего 4 типа неэквивалентных многоугольников: M5, M6, M6' и M7.

б.

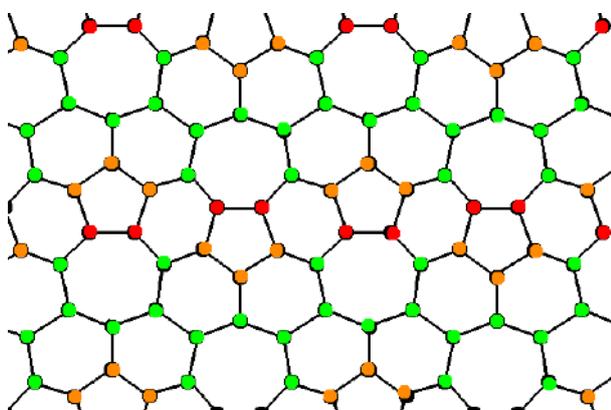


Рис. 1.

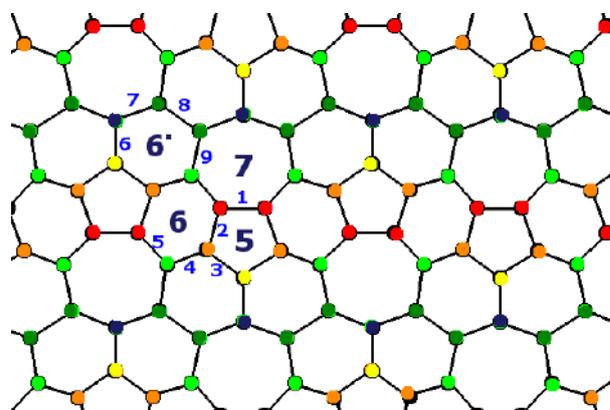


Рис. 2.

На первый взгляд (рис. 1), можно выделить три типа неэквивалентных узлов двумерной структуры (запишем цифрами встречающиеся возле узла многоугольники):

- **У1**: 567 (красный),
- **У2₀**: 566 (оранжевый)
- и **У3₀**: 667 (салатовый).

Но, поскольку, как мы уже выяснили, шестиугольники неодинаковы, то всего можно выделить 6 типов неэквивалентных узлов двумерной структуры (рис. 2):

- **У1**: 567 (красный),
- **У2**: 566' (оранжевый),
- **У3**: 56'6' (желтый),
- **У4**: 66'7 (салатовый),
- **У5**: 6'6'7 (зеленый, принадлежит ребру, соединяющей два M7)
- и **У6**: 6'6'7 (темно-синий, принадлежит ребру, соединяющей M5 и M7).

в. В фаграфене можно выделить 9 неэквивалентных видов ребер (см. рис. 2) (запишем типы узлов, которые соединяют эти ребра):

- P1: У1-У1,
- P2: У1-У2,
- P3: У2-У3,
- P4: У2-У4,
- P5: У1-У4,
- P6: У3-У6,
- P7: У5-У6,
- P8: У5-У5,
- P9: У4-У5.

2. Один из вариантов выбора минимальной ячейки фаграфена отмечен на рис. 3 (вершины ячейки лежат в центрах семиугольников).

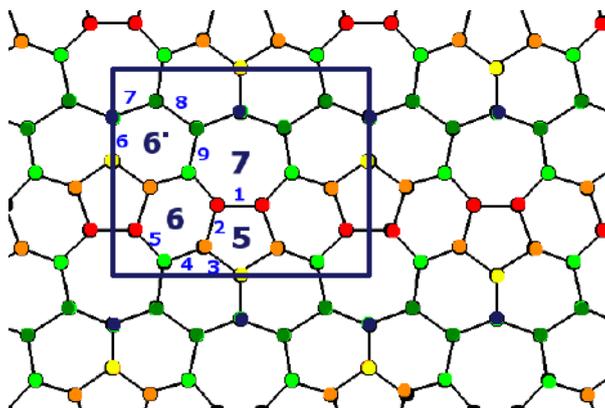


Рис. 3.

На такую ячейку приходится:

- $4У1 + 4У2 + 4/2У3 + 4У4 + 4У5 + (1 + 2/2)У6 = \underline{20}$ узлов (атомов углерода),
- $1 + 2/2 = \underline{2 М5}$ пятиугольника,
- $\underline{2 М6}$ шестиугольника первого типа,
- $2 + 6/3 = \underline{4 М6'}$ шестиугольника второго типа
- и $1 + 4/4 = \underline{2 М7}$ семиугольника.

3. Чтобы сходящиеся в узловой точке ребра лежали в одной плоскости, необходимо, чтобы сумма плоских углов между ними была равна 360° .

Угол в правильном шестиугольнике равен 120° , поэтому графеновая сетка, в каждом узле которой сходится по 3 шестиугольника, будет плоской.

В то же время, угол в правильном пятиугольнике равен 108° , а в семиугольнике – примерно $128,6^\circ$. Тогда

- угол при узле **У1**(567) равен $356,6^\circ$,
- угол при узле **У2**₀(566) равен 348°
- и угол при узле **У3**₀(667) равен $368,6^\circ$,

то есть, ни один из узлов в структуре фаграфена не будет плоским.

Следовательно, фаграфен, составленный из правильных многоугольников не может быть плоским.



Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 5. Нанороллы

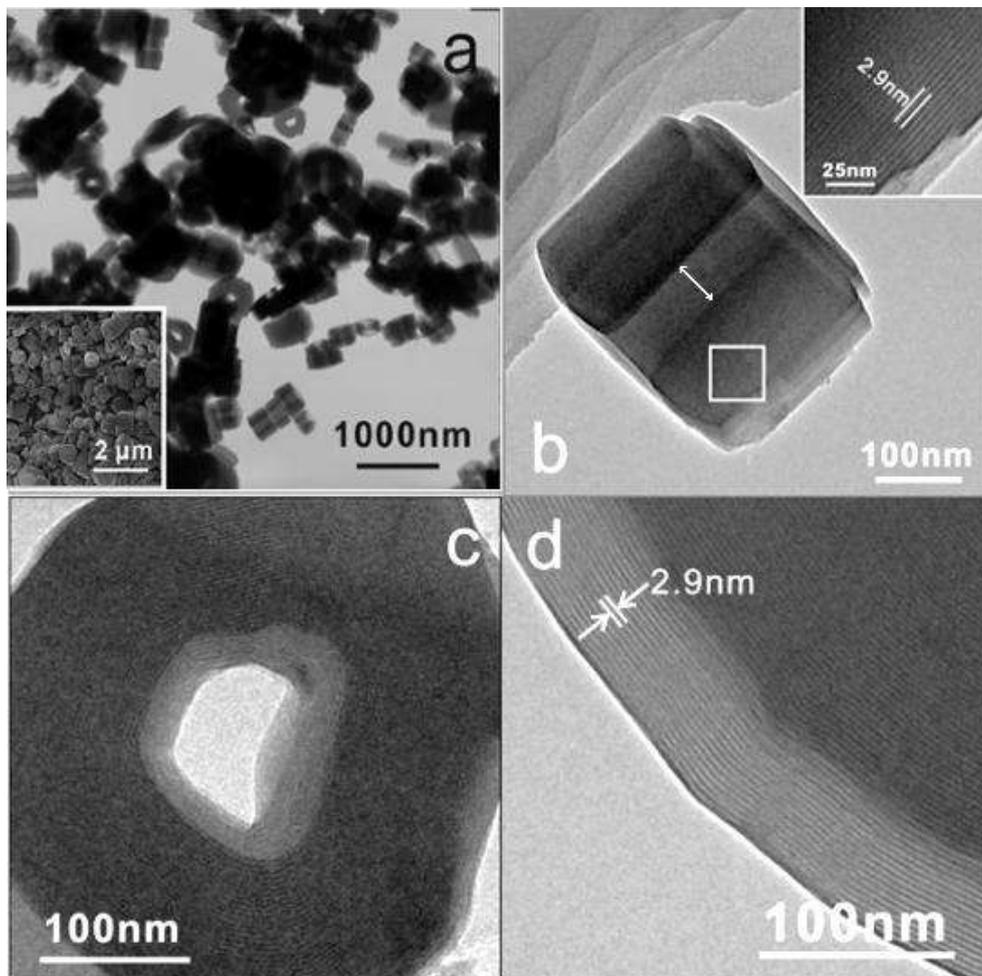


Рис. 1. Микрофотографии (a – d) нанороллов, полученные методом просвечивающей электронной микроскопии.

*Слои алюмофосфата в наноролле повторяются с периодом, равным 2,9 нм (b, d).
 Внутренний диаметр наноролла отмечен на рисунке (b) обоюдоострой стрелкой.*

Группа китайских ученых создала алюмофосфатный материал, частицы которого назвали нанороллами (рис. 1). По представленной на рис. 1b микрофотографии наноролла:

- оцените его внутренний и внешний диаметр, а также высоту; **(1,5 балла)**
- рассчитайте число витков в наноролле и длину ленты алюмофосфата, которая получится, если наноролл полностью развернуть. **(4,5 балла)**

Всего – 6 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Решение задачи 5. Нанороллы

- а. Чтобы оценить по изображению требуемые параметры, каждый из них 3-4 раза измеряем линейкой, затем полученные величины усредняем и переводим в нанометры пропорционально длине бара.

Полученные таким образом средние значения составляют:

внутренний диаметр наноролла $D_1 = 57$ нм,
 внешний диаметр наноролла $D_2 = 353$ нм,
 высота наноролла $H = 250$ нм.

- б. Число витков в алюмофосфатном наноролле N (рис. 1б условия) равно отношению толщины наноролла (то есть, разности внешнего и внутреннего радиусов) к периоду слоистой структуры наноролла (то есть, толщине отдельного алюмофосфатного слоя при условии, что лента сворачивается в плотную спираль без зазоров):

$$N = \frac{D_2/2 - D_1/2}{d} = \frac{353/2 - 57/2}{2,9} \approx 51.$$

Для того, чтобы рассчитать длину ленты алюмофосфата, которая получится, если наноролл полностью развернуть, рассмотрим площадь торцевой стороны этого наноролла. С одной стороны, она равна разности площадей кругов, отвечающих внешнему и внутреннему диаметрам наноролла:

$$S = \pi(D_2/2)^2 - (D_1/2)^2,$$

а с другой может быть приближена как площадь прямоугольника, длина которого совпадает с искомой длиной ленты, а ширина – с периодом слоистой структуры наноролла (при этом мы считаем, что данный прямоугольник сворачивается в плотную спираль):

$$S = Ld.$$

Тогда

$$\pi(D_2/2)^2 - (D_1/2)^2 = Ld$$

и

$$L = \frac{\pi((D_2/2)^2 - (D_1/2)^2)}{d}$$

$$L = \frac{3,14((353/2)^2 - (57/2)^2)}{2,9}$$

$$L = 32868 \text{ нм} = 32,9 \text{ мкм}.$$



Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)

Задача 6. Эффективность вакцины

Вакцинация от COVID-19 – важнейшее средство борьбы с пандемией, которое может защитить от заражения и неблагоприятных исходов болезни. Однако, как и в случае любых других вакцин, она не гарантирует 100% защиты.

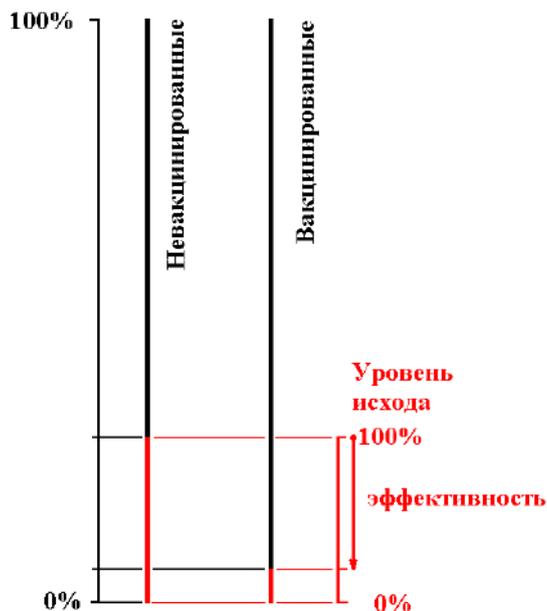


Рис. 1. Эффективностью вакцины α против некоторого исхода (такого, как заражение, госпитализация, тяжелое течение или смерть) называется снижение уровня данного исхода среди вакцинированной группы по сравнению с невакцинированной, выраженное в процентах.

1. Эффективностью некоторой вакцины против заражения COVID-19, тяжелого течения этой болезни и смерти от нее составляет $\alpha_z = 80\%$, $\alpha_{тТ} = 85\%$ и $\alpha_c = 95\%$, соответственно. Во сколько раз данная вакцина снижает риск
 - а. заражения,
 - б. тяжелого течения,
 - в. смерти

для людей, получивших ее, по сравнению с невакцинированными? **(2 балла)**

2. В некотором регионе доля вакцинированного населения составляет $\omega = 60\%$, при этом, доля вакцинированных среди всех госпитализированных с COVID-19 людей в этом регионе равна $\delta = 20\%$. Найдите эффективность такой вакцины против госпитализации, α_r . **(3 балла)**

Всего – 5 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 6. Эффективность вакцины

1. По определению, эффективностью вакцины α против некоторого исхода называется отношение снижения уровня данного исхода среди вакцинированной группы (то есть, разность уровня исхода для невакцинированных, I_N и уровня исхода для вакцинированных, I_V) по сравнению с невакцинированной (то есть, уровень исхода для невакцинированных, I_N), выраженное в процентах:

$$\alpha = \frac{I_N - I_V}{I_N} \cdot 100\%.$$

Это выражение можно записать как

$$\alpha = 100\% - \frac{I_V}{I_N} \cdot 100\%.$$

В свою очередь, уровень снижения риска – это отношение уровня исхода конкретного события для невакцинированной группы к уровню исхода того же события для вакцинированной группы, равный

$$\frac{I_N}{I_V} = \frac{100\%}{100\% - \alpha}.$$

- а. Люди, получившие данную вакцину, подвержены заражению COVID-19

$$\text{в } \frac{100\%}{100\% - \alpha_3} = \frac{100\%}{100\% - 80\%} = 5 \text{ раз меньше, чем невакцинированные.}$$

- б. Люди, получившие данную вакцину, подвержены тяжелому течению COVID-19

$$\text{в } \frac{100\%}{100\% - \alpha_{TT}} = \frac{100\%}{100\% - 85\%} = 6,67 \text{ раз меньше, чем невакцинированные.}$$

- в. Люди, получившие данную вакцину, подвержены смерти от COVID-19

$$\text{в } \frac{100\%}{100\% - \alpha_C} = \frac{100\%}{100\% - 95\%} = 20 \text{ раз меньше, чем невакцинированные.}$$

2. Для удобства введем следующие обозначения:

V – число вакцинированных жителей,

N – число невакцинированных жителей региона,

V_{Γ} – число вакцинированных жителей, госпитализированных с COVID-19,

N_{Γ} – число невакцинированных жителей, госпитализированных с COVID-19.

По определению, эффективность рассматриваемой вакцины против госпитализации составляет

$$\alpha_{\Gamma} = \frac{N_{\Gamma}/N - V_{\Gamma}/V}{N_{\Gamma}/N} \cdot 100\%.$$

Поскольку, по определению,

- доля вакцинированных среди всего населения

$$\omega = V/(V + N),$$

- доля вакцинированных среди всех госпитализированных с COVID-19 людей

$$\delta = V_r/(V_r + N_r),$$

то, выражая число невакцинированных,

$$N = (1 - \omega)V/\omega,$$

$$N_r = (1 - \delta)V_r/\delta,$$

можем записать величину N_r/N через V_r/V :

$$N_r/N = (1 - \delta)\omega/((1 - \omega)\delta) \cdot V_r/V.$$

Тогда эффективность вакцины против госпитализации равна:

$$\alpha_r = \frac{(1-\delta)\omega/((1-\omega)\delta)V_r/V - V_r/V}{(1-\delta)\omega/((1-\omega)\delta)V_r/V}$$

$$\alpha_r = \frac{(1-\delta)\omega/((1-\omega)\delta) - 1}{(1-\delta)\omega/((1-\omega)\delta)}$$

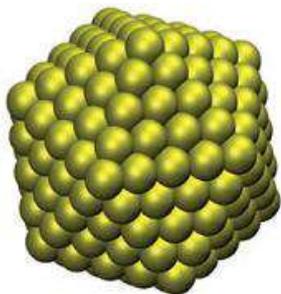
$$\alpha_r = \frac{(1-\delta)\omega - (1-\omega)\delta}{(1-\delta)\omega}$$

$$\alpha_r = \frac{\omega - \delta}{(1-\delta)\omega}$$

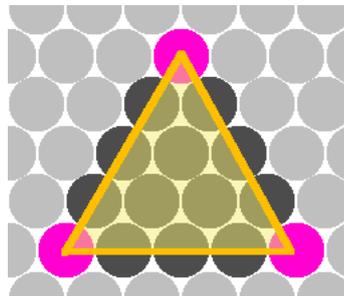
$$\alpha_r = \frac{0,6 - 0,2}{(1 - 0,2)0,6} \cdot 100\% \approx 83\%.$$



Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 7. Полые металлические кластеры как луковица



а) Пример ПМК в форме икосаэдра.



б) Схематичное изображение грани ПМК как фрагмента листа плотноупакованных атомов металла. На ребро этой грани приходится 5 атомов металла.

Рис. 1. Полый металлический кластер (ПМК) представляет собой металлическую оболочку толщиной в один атом, имеющую форму многогранника.

Рассмотрим такие ПМК, все грани которых являются правильными треугольниками (рис. 1б). Предположим, что два ПМК одинаковой формы, но с разным количеством атомов металла, приходящихся на его ребро (n_1 и n_2 , где $n_1 < n_2$) можно вложить друг в друга¹.

1. Выведите формулу зависимости расстояния¹ d между треугольными гранями двух вложенных друг в друга ПМК от n_1 , n_2 и диаметра атома металла D для:
 - а. тетраэдра,
 - б. треугольной бипирамиды,
 - в. октаэдра,
 - г. пятиугольной бипирамиды²,
 - д. икосаэдра².

(5 баллов)

Будем называть плотноупакованной луковицей такую последовательность вложенных друг в друга ПМК, для которой все атомы металла любой нижележащей оболочки будут касаться атомов металла вышележащей оболочки.

2. Выразите расстояние d_0 между соседними слоями¹ в плотноупакованной луковице через диаметр атома металла D . **(2 балла)**
3. Сопоставив d и d_0 , определите, могут ли ПМК в форме
 - а. тетраэдра,
 - б. треугольной бипирамиды,
 - в. октаэдра,

г. пятиугольной бипирамиды,

д. икосаэдра

образовывать плотноупакованную луковицу? Если да, чему в этом случае для нее равен шаг длины ребра $\Delta = n_2 - n_1$ между двумя соседними слоями? **(5 баллов)**

¹При вложении друг в друга центры ПМК совмещаются. Расстоянием между слоями во вложенных ПМК считать расстояние между двумя плоскостями, проходящими через центры атомов, формирующих треугольные грани ПМК, отвечающие каждому из слоев.

²Необходимые стереометрические формулы для этих двух многогранников можно взять из справочных источников.

Всего – 12 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Решение задачи 7. Полые металлические кластеры как луковица

1. Примем n_1 равным y , а $n_2 - n_1 = \Delta$ атомов металла.

Зная длину ребра многогранника, сформированного плоскостями, проходящими через центры атомов граней ПМК, на ребро которого приходится y атомов металла диаметром D ,

$$L = D(y - 1),$$

можно рассчитать радиус сферы, вписанный в этот многогранник:

$$r(y) = AD(y - 1),$$

где A – коэффициент, определяемый типом многогранника.

Тогда расстояние между слоями, на ребро которых приходится y и $y + \Delta$ атомов металла, соответственно, равно разности радиусов сфер, вписанных в отвечающие им многогранники:

$$\begin{aligned} d &= r(y + \Delta) - r(y) \\ d &= AD(y + \Delta - 1) - AD(y - 1) \\ d &= AD(y + \Delta - 1 - y + 1) \\ d &= A \cdot D \cdot \Delta \\ d &= AD(n_2 - n_1) \end{aligned}$$

Рассмотрим полые металлические кластеры заданной формы.

Для начала, выведем формулу радиуса сферы, вписанной в тетраэдр, чтобы найти соответствующее ему значение величины A . Для этого рассмотрим тетраэдр $ABCD$ с ребром длиной L .

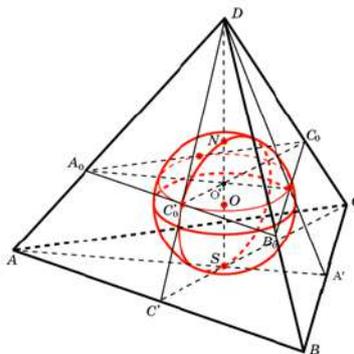


Рис. 1. Тетраэдр $ABCD$ со вписанной в него сферой радиуса $r = OS = OC'_0$.

Для начала рассмотрим $\Delta DSC'$.

Высота грани тетраэдра $DC' = \frac{\sqrt{3}}{2}L$.

Радиус окружности, вписанной в правильный ΔABC , $SC' = \frac{\sqrt{3}}{6}L$.

Тогда высота тетраэдра $DS = \frac{\sqrt{6}}{3}L$.

Теперь рассмотрим подобные по двум углам прямоугольные треугольники $\Delta DC'S'$ и $\Delta DC'O$:

$$\begin{aligned} DC':DO &= SC':OC'_0 \\ DC':(DS - SO) &= SC':OC'_0 \\ DC' \cdot OC'_0 &= SC'(DS - SO) \\ \frac{\sqrt{3}}{2}L \cdot r &= \frac{\sqrt{3}}{6}L \left(\frac{\sqrt{6}}{3}L - r \right) \\ r &= \frac{\sqrt{6}}{12}L \\ A &= \frac{\sqrt{6}}{12}. \end{aligned}$$

Теперь найдем значения **A**, отвечающие равносторонним **n**-угольным бипирамидам с **n** = 3, 4, 5. Для этого в общем виде выведем формулу радиуса сферы, вписанной в такую бипирамиду, исходя из свойств касательных к окружности:

$$r = h \cdot p / q = p \sqrt{q^2 - p^2} / q$$

h = $\sqrt{q^2 - p^2}$ – высота правильной **n**-угольной пирамиды с ребром длиной **L**,
p – радиус окружности, вписанной в правильный **n**-угольник с ребром длиной **L**,
q – высота равностороннего треугольника с ребром длиной **L**.

Следовательно, для **n**-угольных бипирамид коэффициент **A** равен

$$A = \frac{p \sqrt{q^2 - p^2}}{q \cdot L}.$$

Рассчитаем значение **A** для каждого из **n**.

- Треугольная бипирамида (**n** = 3)

$$\begin{aligned} p &= \frac{\sqrt{3}}{6}L, \\ q &= \frac{\sqrt{3}}{2}L, \\ \sqrt{q^2 - p^2} &= \frac{\sqrt{6}}{3}L, \\ A &= \frac{\sqrt{3}}{6} \cdot \frac{\sqrt{6}}{3} / \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{6}}{9}. \end{aligned}$$

- Октаэдр (**n** = 4)

$$\begin{aligned} p &= 0,5L, \\ q &= \frac{\sqrt{3}}{2}L, \\ \sqrt{q^2 - p^2} &= \frac{\sqrt{2}}{2}L, \\ A &= 0,5 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} / \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{6}}{6}. \end{aligned}$$

- Пятиугольная бипирамида (**n** = 5)

$$p = \frac{\sqrt{5}\sqrt{5+2\sqrt{5}}}{10}L,$$

$$q = \frac{\sqrt{3}}{2}L,$$

$$\sqrt{q^2 - p^2} = \frac{\sqrt{5-\sqrt{5}}}{\sqrt{10}}L,$$

$$A = \frac{\sqrt{5}\sqrt{5+2\sqrt{5}}}{10} \cdot \frac{\sqrt{5-\sqrt{5}}}{\sqrt{10}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{6}\sqrt{3+\sqrt{5}}}{6\sqrt{5}}.$$

Подводя итог, запишем формулы зависимости расстояния **d** между треугольными гранями двух вложенных друг в друга ПМК от **n₁**, **n₂** и диаметра атома металла **D** для:

- а. тетраэдра $d = \frac{\sqrt{6}}{12}D(n_2 - n_1)$;
- б. треугольной бипирамиды $d = \frac{\sqrt{6}}{9}D(n_2 - n_1)$;
- в. октаэдра $d = \frac{\sqrt{6}}{6}D(n_2 - n_1)$;
- г. пятиугольной бипирамиды $d = \frac{\sqrt{6}\sqrt{3+\sqrt{5}}}{6\sqrt{5}}D(n_2 - n_1)$;
- д. икосаэдра

$$A = \frac{3+\sqrt{5}}{4\sqrt{3}} \text{ (формула из справочника),}$$

$$d = \frac{3+\sqrt{5}}{4\sqrt{3}}D(n_2 - n_1).$$

2. Искомое расстояние равно высоте тетраэдра, сформированного тремя атомами металла из нижележащего «луковичного» слоя и одним атомом из вышележащего слоя. Длина ребра такого тетраэдра составляет **D** (диаметр атома металла)

$$d_0 = \frac{\sqrt{6}}{3}D.$$

3. ПМК могут образовывать плотноупакованные луковичи тогда и только тогда, когда условию $d = d_0$ отвечает целое число атомов (то есть, $\Delta \in N$). Рассчитаем данную величину для каждого из многогранников.

Преобразуя условие $d = d_0$, получаем:

$$A\Delta = \frac{\sqrt{6}}{3}D$$

$$A\Delta = \frac{\sqrt{6}}{3}$$

$$\Delta = \frac{\sqrt{6}}{3A}$$

Рассмотрим конкретные ПМК:

- а. тетраэдр $\Delta = \frac{\sqrt{6}}{3} \cdot \frac{12}{\sqrt{6}} = 4$;
- б. треугольная бипирамида $\Delta = \frac{\sqrt{6}}{3} \cdot \frac{9}{\sqrt{6}} = 3$;

в. октаэдр $\Delta = \frac{\sqrt{6}}{3} \cdot \frac{6}{\sqrt{6}} = 2;$

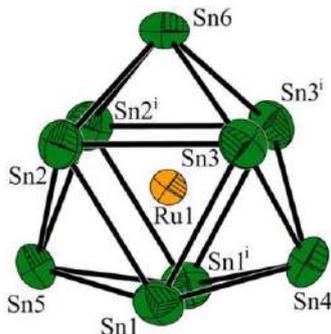
г. пятиугольная бипирамида $\Delta = \frac{\sqrt{6}}{3} \cdot \frac{6\sqrt{5}}{\sqrt{6}\sqrt{3+\sqrt{5}}} \approx 1,95;$

д. икосаэдр $\Delta = \frac{\sqrt{6}}{3} \cdot \frac{4\sqrt{3}}{3+\sqrt{5}} \approx 0,84.$

Поскольку $\Delta \in N$, а для ПМК в форме пятиугольной бипирамиды и икосаэдра данная величина не является целым числом, то эти ПМК не могут образовывать плотноупакованные луковичи. То есть, широко распространенные нанокластеры металлов в форме икосаэдра не имеют плотной шаровой упаковки.



Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 8. Геометрия нанокластера $RuSn_9$



*Рис. Схематичное изображение структуры нанокластера $RuSn_9$.
 Центры атомов Sn образуют многогранник Sn_9 .*

Рассмотрим такое взаимное расположение атомов олова Sn, при котором все грани многогранника Sn_9 (см. рис.) являются правильными треугольниками (многогранник **X**).

1. Назовите самые маленькие правильные многогранники, на которые может быть разбит **X**. **(1 балл)**
2. Внутри образованного атомами Sn многогранника **X** поместим атом Ru так, чтобы все грани **X** оставались правильными треугольниками и получившийся при этом нанокластер имел минимальный размер. В предположении атомов-жестких шаров рассчитайте:
 - а. расстояние между центрами ближайших атомов Sn; **(4 балла)**
 - б. размер¹ такого нанокластера $RuSn_9$. **(2 балла)**
 - в. Какие атомы при этом будут касаться друг друга? Приведите их обозначения согласно рисунку. **(1 балл)**

Многогранник Sn_9 , отвечающий реальному нанокластеру $RuSn_9$ (многогранник **Y**), является вытянутым вдоль поворотной оси третьего порядка многогранником **X**. При этом атом Ru касается максимально возможного числа атомов Sn, а также максимально возможное число атомов Sn касается друг друга.

3. Рассчитайте длину всех ребер **(3 балла)** многогранника **Y**. Рассчитайте размер¹ рассматриваемого нанокластера $RuSn_9$. **(2,5 балла)** Какие атомы при этом будут касаться друг друга, а какие – нет? **(1,5 балла)** Ответ подтвердите расчетом.

Считать $r(Sn) = 0,157$ нм и $r(Ru) = 0,113$ нм.

¹Как минимальный диаметр сферы, внутри которой находятся все атомы нанокластера.

Всего – 15 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Решение задачи 8. Геометрия нанокластера RuSn₉

1. Многогранник **X** может быть представлен как правильная треугольная призма, на боковые грани-квадраты которой помещены три правильных квадратных пирамиды. Такой многогранник носит название «трижды наращённая треугольная призма» и имеет 9 вершин, 14 граней в форме правильных треугольников и 21 ребро.
2. Минимальный размер будет иметь нанокластер в форме трижды наращенной треугольной призмы, в котором атом Ru, расположенный в центре, будет касаться шести атомов олова, формирующих «центральную» призму, Sn₁–Sn₃ⁱ.

а.

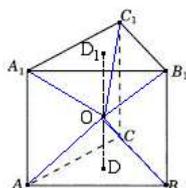


Рис. 1. Равносторонняя треугольная призма **ABCA₁B₁C₁**.

Чтобы найти длину ребра трижды наращенной треугольной призмы, рассмотрим равностороннюю призму **ABCA₁B₁C₁** (рис. 1), вершины которой отвечают положению центров атомов Sn₁ –Sn₃ⁱ, а центр – положению центра атома Ru (точка **O**). Ребро данной призмы **A** и будет ребром искомого многогранника, то есть, расстоянием между центрами ближайших атомов Sn.

Отрезки, соединяющие вершины призмы с ее центром, равны

$$B = r(\text{Sn}) + r(\text{Ru}) = 0,157 + 0,113 = 0,27 \text{ нм.}$$

Рассмотрим треугольную пирамиду **ABCO**, имеющую основание с длиной ребра **A** и боковые ребра с длиной **B**.

С одной стороны, высота этой треугольной пирамиды равна половине высоты треугольной призмы:

$$OD = 0,5DD_1 = 0,5AA_1 = 0,5A.$$

С другой, ее можно вычислить по теореме Пифагора для ΔBDO :

$$OD^2 = OB^2 - DB^2,$$

где $DB = A\sqrt{3}/3$ – радиус окружности, описанной вокруг ΔABC .

$$(0,5A)^2 = B^2 - (A\sqrt{3}/3)^2$$

$$A^2/4 + A^2/3 = B^2$$

$$7A/12 = B^2$$

$$A = \sqrt{12/7}B$$

$$A = \sqrt{12/7} \cdot 0,27 = \underline{0,354 \text{ нм.}}$$

- б. В случае многогранника **X** на ограничивающей сфере будут лежать только вершины трех пирамид-«надстроек» (центры атомов Sn₄, Sn₅ и Sn₆), остальные же шесть вершин, формирующие правильную треугольную призму, будут лежать внутри такой сферы.

Таким образом, радиус ограничивающей сферы **R** будет складываться из

- высоты правильной квадратной пирамиды со стороной **A**, $a = (\sqrt{2}/2)A$,
- и расстояния от центра призмы до центра ее квадратных граней, равного радиусу окружности, вписанной в равносторонний треугольник со стороной **A**, $b = (\sqrt{3}/6)A$:

$$R = a + b$$

$$R = 0,5(\sqrt{2} + \sqrt{3}/3)A$$

$$R = 0,5(\sqrt{2} + \sqrt{3}/3)0,354 = 0,352 \text{ нм.}$$

Тогда диаметр сферы, ограничивающей нанокластер RuSn₉ (с учетом размера атома Sn), равен:

$$D = 2(R + r(\text{Sn})),$$

$$D = 2(0,352 + 0,157) = 1,018 \text{ нм.}$$

- в. Атом Ru, расположенный в центре трижды наращенной треугольной призмы, касается шести атомов олова, формирующих треугольную призму, Sn₁–Sn₃ⁱ.

Поскольку расстояние между центрами ближайших атомов Sn (0,354 нм) больше, чем удвоенный радиус атома олова (2·0,157 = 0,314 нм), то атомы Sn в нанокластере в форме трижды наращенной треугольной призмы не касаются друг друга.

Расстояние между центром атома Ru и центрами атомов Sn₄, Sn₅, Sn₆ (0,352 нм) больше, чем удвоенный радиус атома олова (2·0,157 = 0,314 нм), то есть, атом Ru не касается атомов Sn₄, Sn₅, Sn₆.

3. Если взять трижды наращенную треугольную призму с ребром равным 2r(Sn) (все атомы олова касаются друг друга) и увеличить в ней только высоту «внутренней» призмы, образованной шестью атомами Sn₁–Sn₃ⁱ так, чтобы в ее «внутреннюю полость» поместился атом Ru (касаясь всех атомов этой призмы), то изменится длина всего трех ребер, задающих высоту этой призмы (Sn₁–Sn₁ⁱ (**AA**₁, см. рис. 1), Sn₂–Sn₂ⁱ (**BB**₁), Sn₃–Sn₃ⁱ (**CC**₁)), а длина остальных 18-ти ребер многогранника останется неизменной.

Такая структура отвечает сохранению максимального числа касаний (сохраняются попарные касания остальных атомов Sn между собой, то есть, **AB** = **BC** = **CA** = **A**_{1**B**₁ = **B**_{1**C**₁ = **C**_{1**A**₁ = **A** = 2r(Sn) = 0,314 нм, также данной величине равна длина всех боковых ребер четырехугольных пирамид).}}}

Обозначим неизвестную нам длину **AA**₁ как **C**, тогда отрезки, соединяющие вершины призмы с ее центром, равны

$$\mathbf{B} = \mathbf{OB} = \sqrt{OD^2 + DB^2},$$

$$\mathbf{B} = \sqrt{(0,5C)^2 + (A\sqrt{3}/3)^2}.$$

Поскольку (по условию максимального числа касаний в пределах нанокластера) минимально необходимая длина **B** составляет $r(\text{Sn}) + r(\text{Ru})$, то

$$\mathbf{C} = 2\sqrt{B^2 - A^2/3},$$

$$\mathbf{C} = 2\sqrt{(r(\text{Sn}) + r(\text{Ru}))^2 - 4/3 \cdot r^2(\text{Sn})},$$

$$\mathbf{AA}_1 = \mathbf{C} = 0,4 \text{ нм}.$$

В случае многогранника **Y** на ограничивающей сфере будут лежать только вершины трех пирамид-«надстроек» (центры атомов Sn₄, Sn₅ и Sn₆), остальные же шесть вершин, формирующие треугольную призму, будут лежать внутри такой сферы.

Высоту прямоугольной пирамиды Sn₄Sn₁Sn₁ⁱSn₃ⁱSn₃ в многограннике **Y** находим по теореме Пифагора:

$$\mathbf{a} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}}{2}A\right)^2 - \left(\frac{C}{2}\right)^2},$$

$$\mathbf{a} = 0,5\sqrt{3A^2 - C^2},$$

$$\mathbf{a} = 0,5\sqrt{3A^2 - 4(B^2 - A^2/3)},$$

$$\mathbf{a} = \sqrt{13/12 \cdot A^2 - B^2}.$$

Расстояние от центра призмы до центра ее четырехугольных граней равно радиусу окружности, вписанной в равносторонний треугольник со стороной **A**,

$$\mathbf{b} = \sqrt{3}/6A.$$

Тогда радиус сферы, ограничивающей его, равен

$$\mathbf{R} = \mathbf{a} + \mathbf{b}$$

$$\mathbf{R} = \sqrt{\frac{13}{12}A^2 - B^2} + \frac{\sqrt{3}}{6}A$$

$$\mathbf{R} = \sqrt{\frac{13}{3}r(\text{Sn})^2 - (r(\text{Sn}) + r(\text{Ru}))^2} + \frac{\sqrt{3}}{3}r(\text{Sn})$$

$$\mathbf{R} = 0,275 \text{ нм}.$$

Тогда диаметр сферы, ограничивающей нанокластер RuSn₉ (с учетом размера атома олова), равен

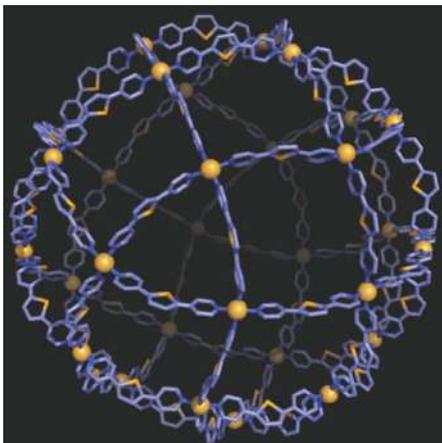
$$\mathbf{D} = 2(\mathbf{R} + r(\text{Sn})),$$

$$\mathbf{D} = 2(0,275 + 0,157) = 0,864 \text{ нм}.$$

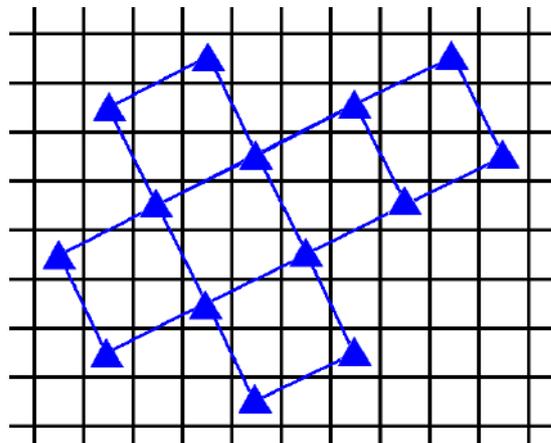
В структуре нанокластера RuSn₉, имеющего форму многогранника **Y**, пары касающихся атомов Sn образуют треугольные грани призмы и боковые ребра четырехугольных пирамид (то есть, касания нет только в парах Sn₁-Sn₁ⁱ, Sn₂-Sn₂ⁱ, Sn₃-Sn₃ⁱ). Атом Ru, расположенный в центре многогранника **Y**, касается шести атомов олова, формирующих треугольную призму, Sn₁-Sn₃ⁱ, а также почти касается атомов Sn₄, Sn₅ и Sn₆ (**R** = 0,275 нм лишь немногим больше **B** = 0,27 нм).



Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 9. Четырехвалентные многогранники Гольдберга



а) Схематичное изображение каркаса **A**: два типа элементов – атомы металла (желтые шарики) и органические «мостики» (фиолетовые «цепочки»).



б) Развертка многогранника, отвечающего каркасу **A**. Треугольным значком отмечены ячейки, при «склеивании» ребер развертки формирующие треугольные грани.

*Рис. 1. Пример молекулярной каркасной структуры Г – каркас **A**.*

Многогранники Гольдберга представляют собой высокосимметричные выпуклые многогранники, составленные из треугольников и квадратов, сходящихся в каждой вершине по четыре. Рассмотрим соответствующие этим многогранникам каркасные структуры (Г), в которых вершинам многогранников соответствуют атомы металла, а ребрам – органические «мостики», как показано на примере каркаса **A** (рис. 1а).

Развертку любого четырехвалентного многогранника Гольдберга можно построить на сетке из квадратов, как показано на рисунке 1б.

1. В вершинах какого многогранника лежат треугольные грани Г? **(0,5 балла)**
2. Развертку любого каркаса Г можно однозначно задать на сетке из квадратов при помощи двух целочисленных параметров – **(a, b)**. По рисунку 1б найдите их значения для каркаса **A**. **(1 балл)**
3. Выведите в общем виде зависимость числа атомов металла **M** в каркасе Г от **(a, b)**. **(2 балла)** Рассчитайте **M** для каркаса **A**. **(1 балл)**
4. Воспользовавшись теоремой Эйлера для выпуклых многогранников, выведите, как число треугольных **F₃** и квадратных **F₄** граней в каркасе Г зависит от **(a, b)**. **(3 балла)** Рассчитайте **F₃** и **F₄** для каркаса **A**. **(1 балл)**
5. Основываясь на полученных ранее формулах, определите, могут ли существовать каркасы Г и соответствующие им четырехвалентные многогранники Гольдберга, содержащие:
 - а. **M** = 2022 атома металла?
 - б. **L** = 2022 органических молекулы?

в. $F_3 = 2022$ треугольных грани?

г. $F_4 = 2022$ квадратных грани?

д. $F = 2022$ грани суммарно?

Если да, найдите все возможные пары (a, b) для таких каркасов. **(6,5 баллов)**

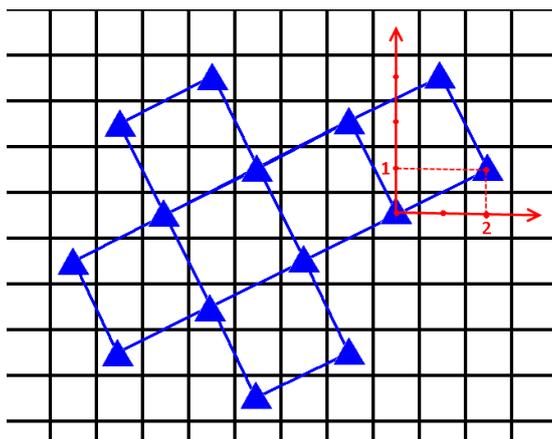
При решении считать, что $a > b$.

Всего – 15 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 9. Четырехвалентные многогранники Гольдберга

1. Развертка каркаса Г состоит из шести квадратов, то есть, представляет собой развертку поверхности куба с вершинами в точках, отмеченных треугольниками (рис. 1б условия).
2. Чтобы задать развертку куба, достаточно однозначно определить одно из его ребер в прямоугольной системе координат, связанной с сеткой квадратов, образованных атомами металла, соединенными органическими «мостиками»:



Ребро каркаса **A** задается параметрами (2, 1).

3. Обозначим длину единичного отрезка, задающего сетку квадратов, как r . Тогда длину стороны квадратной грани развертки можно рассчитать по теореме Пифагора как гипотенузу прямоугольного треугольника с катетами ar и br :

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

Площадь развертки каркаса Г, в свою очередь, представляет собой сумму площадей шести квадратов со стороной K :

$$S = 6K^2 = 6(\sqrt{a^2 + b^2} r)^2 = 6(a^2 + b^2)r^2.$$

В тоже время, на площадь одного квадрата сетки $S_1 = r^2$ приходится $4 \cdot 1/4 = 1$ атом металла, лежащий в вершинах квадратов сетки.

Следовательно, общее число атомов металла, приходящееся на развертку каркаса Г, составляет

$$M = S/S_1 = 6(a^2 + b^2).$$

Для каркаса **A** общее число атомов металла равно

$$M(2, 1) = 6(2^2 + 1^2) = 30.$$

Или, по рис. 1б условия: на каждый квадрат развертки приходится 5 атомов металла, всего таких квадратов 6. Таким образом, общее число атомов металла в каркасе **A** равно $M = 5 \cdot 6 = 30$.

4. Запишем теорему Эйлера для выпуклых многогранников:

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

где для многогранника, составленного из треугольников и квадратов, сходящихся в каждой вершине по четыре,

$$\begin{aligned} \text{число вершин } V &= 3/4F_3 + 4/4F_4, \\ \text{число ребер } E &= 3/2F_3 + 4/2F_4 = 2V, \\ \text{число граней } F &= F_3 + F_4. \end{aligned}$$

Тогда

$$\begin{aligned} 3/4F_3 + 4/4F_4 - 3/2F_3 - 4/2F_4 + F_3 + F_4 &= 2 \\ 1/4F_3 &= 2 \\ F_3 &= 8 \end{aligned}$$

Выведем из формулы Эйлера значение **F** и запишем его через параметры (**a**, **b**) для каркаса:

$$\begin{aligned} F &= 2 - V + E = 2 - V + 2V = 2 + V \\ F &= 2 + M = 2 + 6(a^2 + b^2) \end{aligned}$$

Тогда

$$F_4 = F - F_3 = 2 + M - 8 = M - 6 = 6(a^2 + b^2) - 6.$$

Следовательно, для каркаса **A**

$$\begin{aligned} F_3 &= 8, \\ F_4 &= 6(2^2 + 1^2) - 6 = 24. \end{aligned}$$

5. Поскольку $M = 6(a^2 + b^2)$, следовательно, одно из главных условий проверки существования каркаса **Г** – это проверка делимости **M** на 6.

а. $M = 2022 = 6 \cdot 337$, что отвечает каркасу **Г** с параметрами (16, 9):

$$337 = 16^2 + 9^2.$$

б. $L = 2022$, $M = 0,5L = 1011$, не делится на 6 – такой каркас не существует.

в. $F_3 = 2022$, не существует, поскольку в каркасе **Г** строго 8 треугольных граней.

г. $F_4 = 2022$, $M = F_4 + 6 = 2028 = 6 \cdot 338$,

что отвечает двум вариантам каркаса **Г**, с параметрами (15, 13) и (17, 7):

$$338 = 15^2 + 13^2 = 17^2 + 7^2.$$

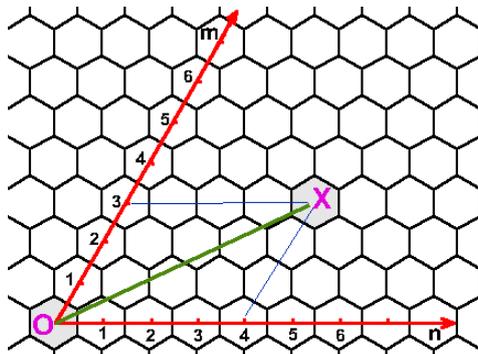
д. $F = 2022$, $M = F - 2 = 2020$, не делится на 6 – такой каркас не существует.



Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)

Задача 10. Необычные углеродные структуры

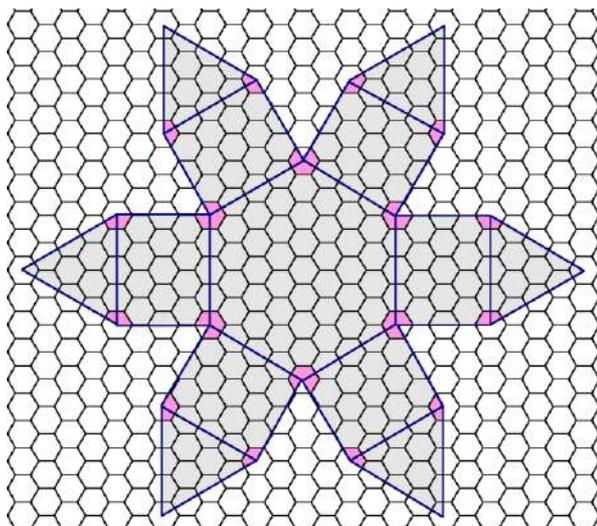
Графен – двумерный материал, образованный атомами углерода, соединенными в сетку из правильных шестиугольников. Задавая взаимное расположение отдельных шестиугольников на этой сетке (рис. 1), мы можем создавать развертки самых разнообразных каркасных углеродных структур, таких как, например, фуллерены или нанотрубки.



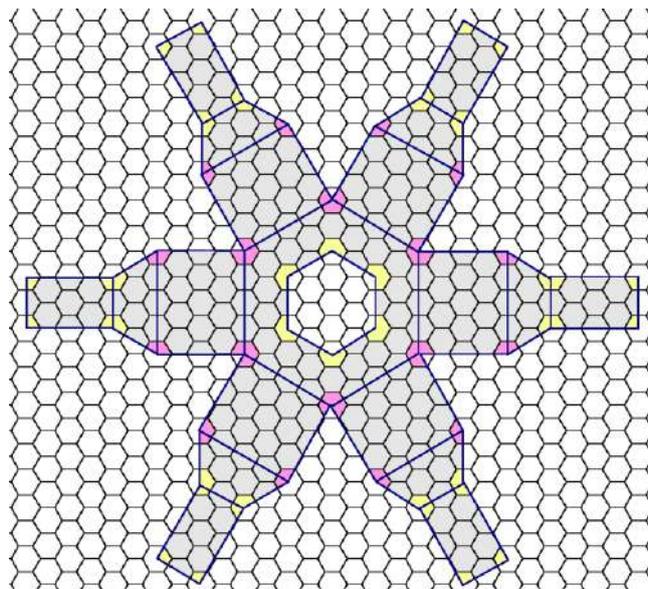
*Рис. 1. Любую пару шестиугольников (точка **O** и точка **X**) на графеновом листе можно описать двумя натуральными числами (**n**, **m**), которые являются координатами центра одного из них относительно центра другого в косоугольной системе координат.
Пример для (4, 3).*

Рассмотрим четыре типа углеродных структур, отличающиеся друг от друга формой развертки (рис. 2). Каждый из типов определяется своим набором независимых параметров $[(n_i, m_i)]$.

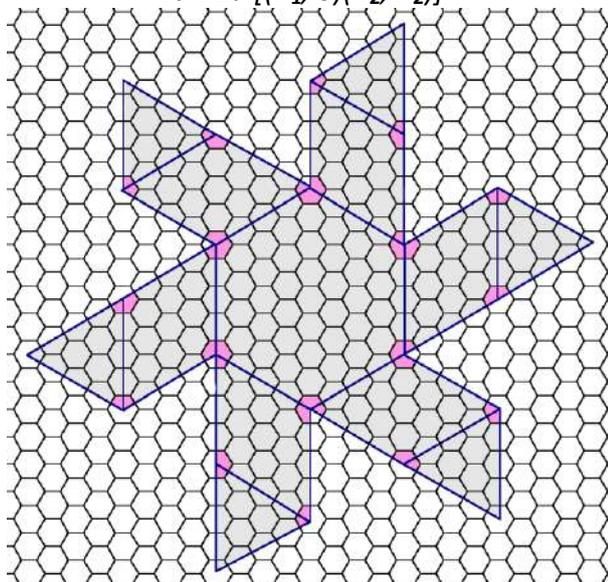
1. Для каждой из структур, развертки которых представлены на рисунке 2:
 - а. установите, какие многоугольники образуются в местах склейки, отмеченных розовым и желтым цветом; **(1 балл)**
 - б. в вершинах каких многогранников лежат эти многоугольники? **(1 балл)**
 - в. какие из отрезков однозначно задают развертку структуры? Отметьте эти отрезки на рисунке либо дайте их описание в терминах многогранника (п. 1б); **(2 балла)**
 - г. найдите значение параметров (n_i, m_i) , задающих отрезки из п. 1в. **(2 балла)**
2. Для каждого из четырех типов углеродных структур выведите зависимость общего числа атомов **N** в ней от параметров $[(n_i, m_i)]$. **(2 балла)** Рассчитайте **N** для каждой из представленных на рис. 2. углеродных структур. **(1 балл)**
3. Оцените размер углеродной структуры Типа 2б, развертка которой представлена на рис. 2, как диаметр сферы, описанной вокруг многогранника (п. 1б). Атомы углерода считать точечными, расстояние между ними равным $a = 0,14$ нм. **(4 балла)**



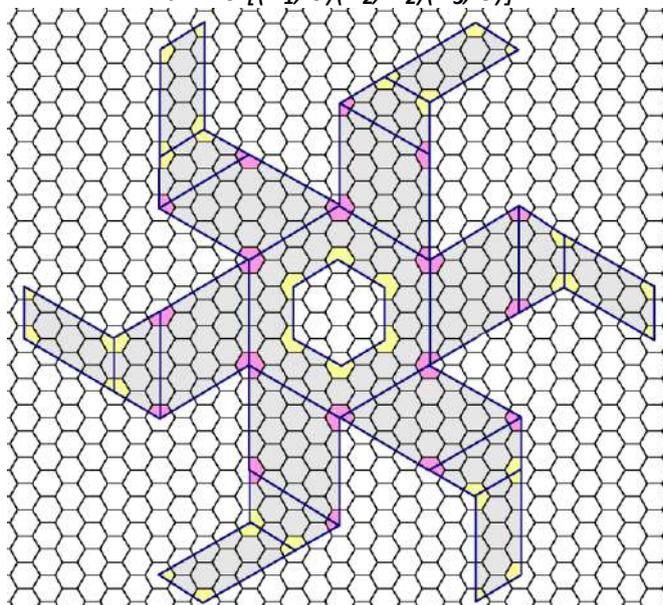
Тип 1а $[(n_1, 0)(n_2, n_2)]$



Тип 1б $[(n_1, 0)(n_2, n_2)(n_3, 0)]$



Тип 2а $[(n_1, 0)(n_2, 0)]$



Тип 2б $[(n_1, 0)(n_2, 0)(n_3, 0)]$

Рис. 2. Примеры разверток углеродных структур четырех типов и отвечающие им $[(n_i, m_i)]$.

Всего – 13 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Решение задачи 10. Необычные углеродные структуры

1.

- а. В местах склейки, отмеченных розовым цветом, образуются пятиугольники, а в местах, отмеченных желтым – семиугольники.
- б. В типах 1а и 1б пятиугольники лежат в вершинах шестиугольной призмы, в типах 2а и 2б – в вершинах равносторонней (на примере из условия) шестиугольной антипризмы. Семиугольники в типе 1б лежат в вершинах шестиугольной призмы, в типе 2б – в вершинах шестиугольной антипризмы. Таким образом, тип 1б представляет собой шестиугольную призму, соосно к которой удалена меньшая по размеру шестиугольная призма, а тип 2б, соответственно, шестиугольную антипризму, соосно к которой удалена меньшая по размеру шестиугольная антипризма. Типы 1б и 2б представляют собой углеродные торы.
- в. Поскольку шестиугольная призма (антипризма) является симметричным многогранником, то для того, чтобы ее однозначно задать, необходимо два параметра: длина ребра, соединяющего соседние вершины шестиугольного основания, – отрезок с параметрами $(n_1, 0)$, и длина ребра, соединяющего две ближайшие вершины разных оснований, – отрезок с параметрами (n_2, n_2) (для антипризмы $(n_2, 0)$). В случае углеродных торов (типы 1б и 2б) добавляется еще один параметр – длина ребра «малой» шестиугольной призмы (антипризмы), отрезок с параметрами $(n_3, 0)$. Высота в этом случае совпадает с высотой большего многогранника и поэтому не является независимым параметром. Схематично упомянутые отрезки отмечены на рисунке (рис. 1).

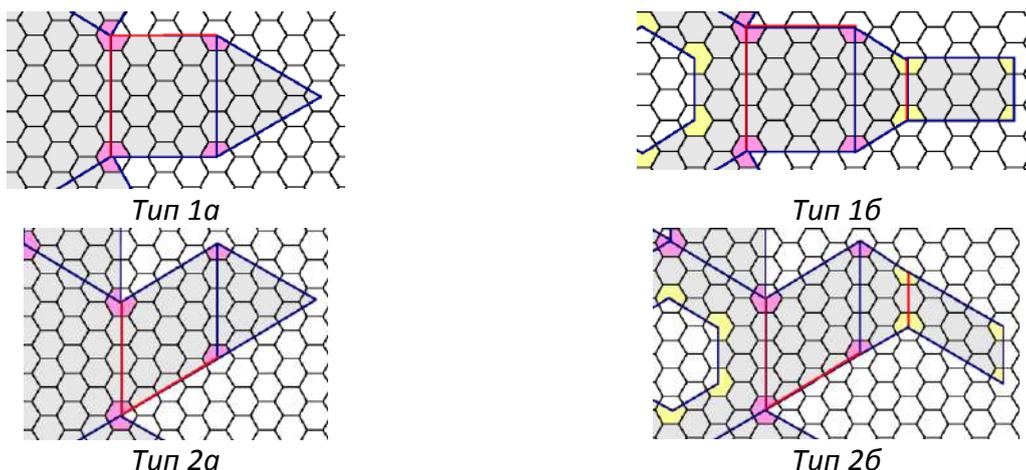


Рис. 1. Красным отмечены отрезки, однозначно задающие развертки соответствующих углеродных структур.

- г. Тип 1а $(4, 0)(2, 2)$, тип 1б $(4, 0)(2, 2)(2, 0)$, тип 2а $(4, 0)(4, 0)$, тип 2б $(4, 0)(4, 0)(2, 0)$.

2. Общее число атомов в каркасной углеродной структуре **N** равно отношению площади ее поверхности к площади, приходящейся на один атом углерода в графене, равной

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

где **a** – длина связи C–C.

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

- Любой равносторонний треугольник со стороной, задаваемой на графеновой сетке парой индексов (**n**, 0), имеет площадь

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

где **R_{n,0}** = **n** – длина стороны такого треугольника в косоугольной системе координат.

Тогда общее число атомов углерода, приходящихся на такой треугольник, составляет

$$T_{n,0} = \frac{S_{n,0}}{S_c} = \frac{0,5(R_{n,0}a\sqrt{3})^2 \sin 60^\circ}{0,5(a\sqrt{3})^2 \sin 60^\circ} = R_{n,0}^2 = n^2.$$

- В свою очередь, на шестиугольник, задаваемой на графеновой сетке парой индексов (**n**, 0), приходится **6T_{n,0}** атомов углерода.
- Тогда на трапецию, основания которой задаются на графеновой сетке индексами (**n₁**, 0) и (**n₂**, 0), **n₁**>**n₂**, приходится **Tr_{(n1,0)(n2,0)} = T_{n1,0} – T_{n2,0}** атомов углерода.
- Площадь прямоугольника, стороны которого задаются на графеновой сетке индексами (**n₁**, 0) и (**n₂**, **n₂**), можно записать как

$$S_{(n1,0)(n2,n2)} = (R_{n1,0}a\sqrt{3})(R_{n2,n2}a\sqrt{3}) = \sqrt{n_1^2} \sqrt{3n_2^2} (a\sqrt{3})^2 = 3\sqrt{3}n_1n_2a.$$

Тогда общее число атомов углерода, приходящихся на него,

$$P_{(n1,0)(n2,n2)} = \frac{S_{(n1,0)(n2,n2)}}{S_c} = \frac{3\sqrt{3}n_1n_2a^2}{0,5(a\sqrt{3})^2 \sin 60^\circ} = 4n_1n_2.$$

- Площадь параллелограмма, стороны которого задаются индексами (**n₁**, 0) и (**n₂**, 0), можно записать как

$$S_{(n1,0)(n2,0)} = (R_{n1,0}a\sqrt{3})(R_{n2,0}a\sqrt{3}) \sin 60^\circ.$$

Тогда общее число атомов углерода, приходящихся на него,

$$PI_{(n1,0)(n2,0)} = \frac{S_{(n1,0),(n2,0)}}{S_C} = \frac{(R_{n1,0}a\sqrt{3})(R_{n2,0}a\sqrt{3})\sin 60^\circ}{0,5(a\sqrt{3})^2 \sin 60^\circ} = 2R_{n1,0}R_{n2,0} = 2n_1n_2.$$

Общее число атомов в зависимости от типа составляет:

- $N_{1a} = 2 \cdot 6T_{n1,0} + 6 \cdot P_{(n1,0)(n2,n2)} = 2 \cdot 6n_1^2 + 6 \cdot 4n_1n_2$
 $N_{1a} = 12n_1^2 + 24n_1n_2$
- $N_{16} = 12 \cdot Tr_{(n1,0)(n3,0)} + 6 \cdot P_{(n1,0)(n2,n2)} + 6 \cdot P_{(n2,n2)(n3,0)} = 12 \cdot (n_1^2 - n_3^2) + 6 \cdot 4n_1n_2 + 6 \cdot 4n_2n_3$
 $N_{16} = 12(n_1^2 - n_3^2) + 24n_1n_2 + 24n_2n_3$
- $N_{2a} = 2 \cdot 6T_{n1,0} + 6 \cdot PI_{(n1,0)(n2,0)} = 2 \cdot 6n_1^2 + 6 \cdot 2n_1n_2$
 $N_{2a} = 12n_1^2 + 12n_1n_2$
- $N_{26} = 12 \cdot Tr_{(n1,0)(n3,0)} + 6 \cdot PI_{(n1,0)(n2,0)} + 6 \cdot PI_{(n2,0)(n3,0)} = 12 \cdot (n_1^2 - n_3^2) + 6 \cdot 2n_1n_2 + 6 \cdot 2n_2n_3$
 $N_{26} = 12(n_1^2 - n_3^2) + 12n_1n_2 + 12n_2n_3$

Рассчитаем значение **N** для каждой из представленных на рис. 2 условия углеродных структур:

- тип 1а: $N_{1a} (4, 0)(2, 2) = 12 \cdot 4^2 + 24 \cdot 4 \cdot 2 = 384$;
- тип 1б: $N_{16} (4, 0)(2, 2)(2, 0) = 12(4^2 - 2^2) + 24 \cdot 4 \cdot 2 + 24 \cdot 2 \cdot 2 = 432$;
- тип 2а: $N_{2a} (4, 0)(4, 0) = 12 \cdot 4^2 + 12 \cdot 4 \cdot 4 = 384$;
- тип 2б: $N_{26} (4, 0)(4, 0)(2, 0) = 12(4^2 - 2^2) + 12 \cdot 4 \cdot 4 + 12 \cdot 4 \cdot 2 = 432$.

Как можно видеть, при условии $n_1(1a) = 2n_2(1a) = n_1(2a) = n_2(2a)$ структуры типов 1а и 2а имеют равное число атомов углерода.

Для типов 1б и 2б условием равенства числа атомов будет $n_1(1б) = 2n_2(1б) = 2n_3(1б) = n_1(2б) = n_2(2б) = 2n_3(2б)$.

3. Рассчитаем диаметр сферы, описанной вокруг равносторонней шестиугольной антипризмы.

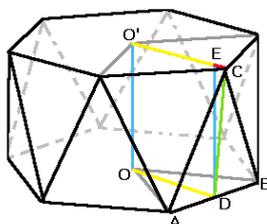


Рис. 2. Равносторонняя шестиугольная антипризма с дополнительными построениями, необходимыми для вычисления радиуса описанной вокруг нее сферы.

Введем обозначение для высоты равносторонней шестиугольной антипризмы (рис. 2) $H = OO'$, а также для длины ее ребер $AB = AC = BC = A$. Отметим, что из построения следуют следующие факты:

$$\begin{aligned} ED = OO' &= H, \\ O'C &= AB = A. \end{aligned}$$

Рассмотрим прямоугольный $\triangle CDE$.

Его гипотенуза DC равна высоте правильного треугольника $\triangle ABC$:

$$DC = h = 0,5A\sqrt{3}.$$

В то же время, из построения,

$$DC = OD = EO'.$$

Отсюда находим

$$CE = O'C - EO' = A - 0,5A\sqrt{3} = 0,5A(2 - \sqrt{3}) = b.$$

Тогда

$$H = \sqrt{h^2 - b^2} = \sqrt{0,75A^2 - 0,25A^2(2 - \sqrt{3})^2} = A\sqrt{\sqrt{3} - 1}.$$

В свою очередь, диаметр описанной сферы составляет

$$\begin{aligned} D &= 2\sqrt{OC^2 + (OO'/2)^2} \\ D &= 2\sqrt{A^2 + 0,25H^2} \\ D &= 2A\sqrt{1 + (\sqrt{3} - 1)^2} \\ D &= 2A\sqrt{5 - 2\sqrt{3}} \\ D &\approx 2,48A \end{aligned}$$

Для углеродной структуры типа 2б:

$$\begin{aligned} A &= \sqrt{3}an_1, \\ D &= 2,48 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,14 \cdot 4 \approx 2,41 \text{ нм}. \end{aligned}$$

Расчет с использованием приближенной оценки $H \approx h$, приводящий к ответу $D \approx 2,11$ нм, оценивается неполным баллом.



Физика. Отборочный этап

Физика

Категория участников: школьники 7-11 классов

Блок теоретических заданий отборочного этапа по **физике для школьников 7-11 классов** включает задачи разной сложности. Для повышения вероятности прохождения на заключительный этап желательно решить задачи не только по физике, но и по математике, биологии, химии, чтобы набрать больше баллов. Дополнительные баллы (50%) будут добавлены за прохождение **тестов ЗНТШ** по [химии](#), [физике](#), [математике](#), [биологии](#).

Перед отправкой заявки, пожалуйста, внимательно ознакомьтесь с [инструкцией по загрузке работ](#).

Задания

1. Костный имплант

Одним из перспективных направлений в лечении переломов костей является использование композитных материалов, состоящих из соединений, близких по составу к костной ткани, и наночастиц пьезоэлектриков (или пьезоэлектрических слоёв нанометровой толщины)...

2. Масс-спектр фуллерена

Для определения количества атомов углерода в фуллерене можно использовать метод, основанный на расщеплении молекул C_x на отдельные заряженные фрагменты (ионизированная молекула тоже считается фрагментом) с последующим анализом их массы...

3. Разделение углеводов

Герметичный сосуд при $t = 27^\circ\text{C}$ разделён на две части плотной непроницаемой заслонкой и пористой мембраной площадью $S = 10 \text{ см}^2$ и толщиной $h = 200 \text{ мкм}$ со сквозными цилиндрическими порами радиусом $r = 40 \text{ нм}$, расположенными перпендикулярно поверхности мембраны...

4. Эпитаксия нанослоя

Молекулярно-лучевая эпитаксия позволяет наносить на подложки очень тонкие слои (толщиной от монослоя до единиц и десятков нанометров). Для роста тонкого слоя AlAs на подложке GaAs используются навески чистого Al и As, которые помещаются в отдельные ячейки...

5. Нанонити для термоэлектричества

Термоэлектрический эффект позволяет преобразовывать теплоту непосредственно в электричество. В ряде теоретических работ показано, что в наноразмерных нитях эффективность преобразования тепловой энергии в электрическую выше, чем в объемных материалах...

6. Наночастица в живой ткани

Полупроводниковые и диэлектрические наночастицы имеют возможное практическое применение в биомедицине в качестве светоизлучающих маркеров или в качестве наноконтейнеров для адресной доставки лекарств. В научной литературе считается...

7. Ионное травление

Для формирования наноструктур иногда применяется метод реактивного ионного травления. В ходе этого процесса в вакуумную камеру напускается небольшое количество газа, который ионизируется, а далее под действием приложенного электрического поля ионы летят...

8. Наноробот

Так называемые нанороботы активно разрабатываются из-за перспективы их применения в области адресной доставки лекарств к небольшим участкам тканей и даже отдельных клеток. К нанороботам относятся различные наноразмерные объекты, траекторией движения которых можно управлять...

9. Нанопинцет

Для манипулирования наноструктурами в процессе их исследования была разработана наноразмерная электромеханическая система – нанопинцет на основе углеродных нанотрубок диаметром около 50 нм. Электропроводящие и механически прочные углеродные нанотрубки были прикреплены...

10. «Эффект миража»

Измерение зависимости коэффициента поглощения от частоты падающего излучения в тонких пленках толщиной 100-200 нм из оптически непрозрачного материала может быть реализовано методом термо-оптической спектроскопии. Явление, лежащее в основе данного метода...



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)

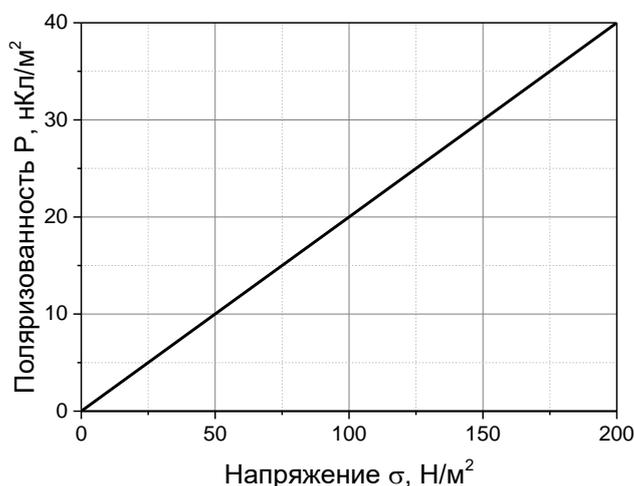
Задача 1. Костный имплант

Одним из перспективных направлений в лечении переломов костей является использование композитных материалов, состоящих из соединений, близких по составу к костной ткани, и наночастиц пьезоэлектриков (или пьезоэлектрических слоёв нанометровой толщины). Благодаря такому сочетанию, имплант способен создавать локальные электрические поля, способствующие активному протеканию биохимических реакций и, следовательно, росту собственной костной ткани в месте перелома или микротрещины.



Рис. 1. Костная ткань с наноимплантом

1. Что такое пьезоэлектрик? **(1 балл)**
2. Оцените относительную деформацию ϵ импланта пяточной кости человека массой $m = 70$ кг, когда он стоит на одной ноге, содержащей этот имплант. Модуль Юнга импланта $E_u = 2$ ГПа, площадь его сечения $S = 4.9$ см². Нагрузку считать приложенной только к импланту и распределённой равномерно. **(3 балла)**
3. На рисунке ниже представлен график зависимости поляризованности P некоторой пьезоэлектрической наночастицы от механического напряжения σ . Определите её пьезоэлектрический коэффициент d , то есть коэффициент пропорциональности, связывающий поляризованность и механическое напряжение. **(2 балла)**



4. Можно ли использовать такую наночастицу в составе костного импланта (и если можно, то в каком диапазоне механических напряжений), если лечебный эффект проявляется при поляризованности наночастицы не менее $0,1 \text{ мКл/м}^2$, а различие в деформациях наночастицы и материала импланта более чем в 20 раз приводит к болевым ощущениям? Модуль Юнга наночастицы $E_n = 20 \text{ ГПа}$, модуль Юнга импланта $E_u = 2 \text{ ГПа}$, предел прочности импланта $\sigma_{max} = 10 \text{ МПа}$. Ответ подтвердите расчётами. **(4 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 1. Костный имплант

1. Пьезоэлектрик – это материал, в котором под действием приложенного механического напряжения возникает поляризация.
2. Согласно закону Гука

$$\sigma = E\varepsilon,$$

где σ – механическое напряжение (Н/м^2), E – модуль Юнга (Па), ε – относительная деформация.

Сила, приложенная к импланту, составит

$$F = mg,$$

где m – масса человека (кг), g – ускорение свободного падения (м/с^2). Тогда механическое напряжение составит

$$\sigma = F/S,$$

где S – площадь сечения импланта (м^2).

Следовательно,

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{F}{SE} = \frac{mg}{SE} = \frac{70 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{4,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 2 \cdot 10^9 \text{ Па}} = 7 \cdot 10^{-4} = 0,07\%.$$

3. Судя по графику, зависимость поляризованности наночастицы от механического напряжения линейная, причём напряжению 100 Н/м^2 соответствует поляризованность 20 нКл/м^2 . Следовательно, пьезоэлектрический коэффициент равен

$$P = d\sigma$$

$$d = \frac{P}{\sigma}$$

$$d = \frac{20 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}}{100 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}} = 2 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{Н}}$$

4. Чтобы наночастица с пьезоэлектрическим коэффициентом $2 \cdot 10^{-10} \text{ Кл/Н}$ имела поляризованность $0,1 \text{ мКл/м}^2$, необходимо механическое напряжение

$$\sigma = \frac{P}{d}$$

$$\sigma = \frac{1 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}}{2 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{Н}}} = 500000 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 0,5 \text{ МПа}$$

Это меньше предела прочности. Значит, наночастицу можно использовать, если не будет болевых ощущений. При таком напряжении деформация наночастицы ε_n равна

$$\varepsilon_n = \frac{\sigma}{E_n}$$
$$\varepsilon_n = \frac{5 \cdot 10^5 \text{ Па}}{20 \cdot 10^9 \text{ Па}} = 2,5 \cdot 10^{-5},$$

а деформация импланта ε_u равна

$$\varepsilon_u = \frac{5 \cdot 10^5 \text{ Па}}{2 \cdot 10^9 \text{ Па}} = 2,5 \cdot 10^{-4}.$$

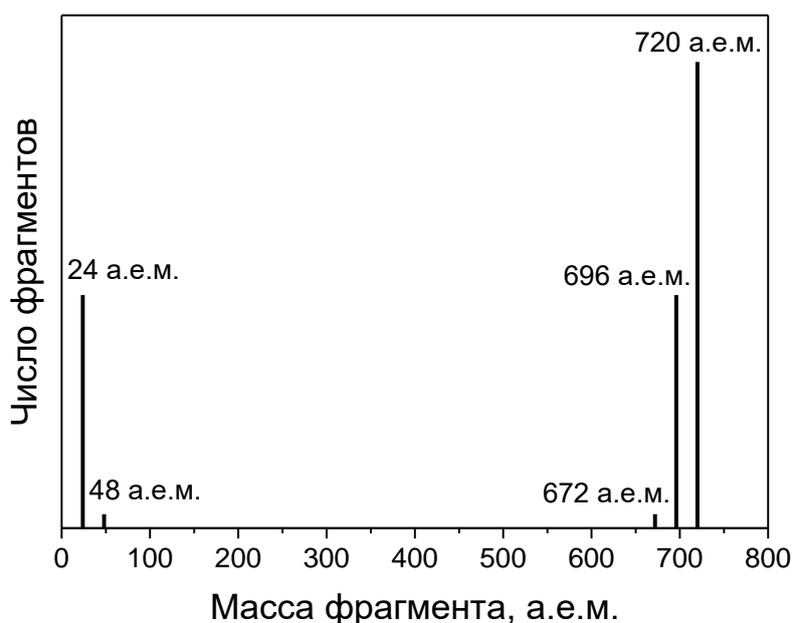
Поскольку деформации отличаются в 10 раз (что меньше порога, вызывающего болевые ощущения), то такие наночастицы использовать можно, причём нижний предел напряжений составляет 0,5 МПа (когда поляризованность наночастиц достигает требуемого значения, иначе лечебного эффекта не будет), а верхний предел напряжений будет определяться пределом прочности импланта и составит 10 МПа.



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Задача 2. Масс-спектр фуллерена

Для определения количества атомов углерода в фуллерене можно использовать метод, основанный на расщеплении молекул C_x на отдельные заряженные фрагменты (ионизированная молекула тоже считается фрагментом) с последующим анализом их массы с помощью времяпролётного масс-анализатора. Такой метод позволяет разделять ионы по времени, которое им необходимо для преодоления камеры анализатора, и, следовательно, детектировать все присутствующие частицы по отдельности.

Для эксперимента фуллерен C_x был расщеплён на положительно заряженные фрагменты, которые были ускорены однородным электростатическим полем с разностью потенциалов $U = 2$ кВ и направлены в камеру масс-анализатора, где напряжённость электрического поля и магнитная индукция равны нулю. Полученный масс-спектр приведён на рисунке.



1. Используя масс-спектр, определите количество атомов углерода в молекуле изученного фуллерена. Ответ обоснуйте. **(4 балла)**
2. Сколько наносекунд составляет разница во времени между обнаружением фрагментов массами 696 и 720 а.е.м.? Длина камеры масс-анализатора $L = 20$ см, все частицы имеют заряд $q = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл. **(4 балла)**
3. Можно ли описанным методом различить фрагменты, состоящие из одинакового числа атомов углерода, но имеющие заряд $1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл и $3.2 \cdot 10^{-19}$ Кл? Ответ обоснуйте. **(2 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 2. Масс-спектр фуллерена

1. В масс-спектре присутствуют 5 пиков, соответствующих различным фрагментам исходной молекулы фуллерена. При этом суммарная масса частиц, характеризующихся пиками с одинаковой интенсивностью, составляет 720 а.е.м., что равно массе частицы с наибольшей интенсивностью и пиком, не имеющим пары. Поскольку масса 720 а.е.м. соответствует 60 атомам углерода, то в масс-анализатор попали ионизированный фуллерен C_{60} и его ионизированные осколки C_2 , C_4 , C_{56} , C_{58} . Таким образом, количество атомов углерода в изученном фуллерене равно 60.
2. Потенциальная энергия заряженной частицы, ускоренной в электростатическом поле, равна

$$E_p = qU,$$

где q – заряд частицы (Кл), U – разность потенциалов (В).

После попадания в камеру масс-анализатора (где электростатическое поле равно нулю), частица продолжит движение с постоянной скоростью, причём её кинетическая энергия равна

$$E_k = \frac{mv^2}{2},$$

где m – масса частицы (кг), v – её скорость (м/с). По закону сохранения энергии

$$\begin{aligned} E_k &= E_p \\ qU &= \frac{mv^2}{2} \\ v &= \sqrt{\frac{2qU}{m}} \end{aligned}$$

Поскольку движение происходит с постоянной скоростью, то

$$t = \frac{L}{v}$$

где L – длина камеры масс-анализатора (м), t – время, за которое частица пролетает камеру (с). Следовательно,

$$t = L \sqrt{\frac{m}{2qU}}$$

Таким образом, интервал времени между регистрируемыми событиями составляет

$$\Delta t = t_{720} - t_{696} = \frac{L}{\sqrt{2qU}} (\sqrt{m_{720}} - \sqrt{m_{696}})$$

$$\Delta t = \frac{20 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2000}} \cdot \left(\sqrt{720 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}} - \sqrt{696 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}} \right) = 1,45 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 145 \text{ нс}$$

3. Из решения предыдущего пункта следует, что время, за которое фрагмент преодолевает камеру масс-анализатора, прямо пропорционально корню из массы и обратно пропорционально корню из заряда:

$$t = \frac{L}{\sqrt{2U}} \sqrt{\frac{m}{q}}$$

Следовательно, время, за которое фрагменты с равными массами, но с зарядами $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл и $3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл преодолеют камеру масс-анализатора, отличается в $\sqrt{2}$ раз. Таким образом, подобные фрагменты различить можно.

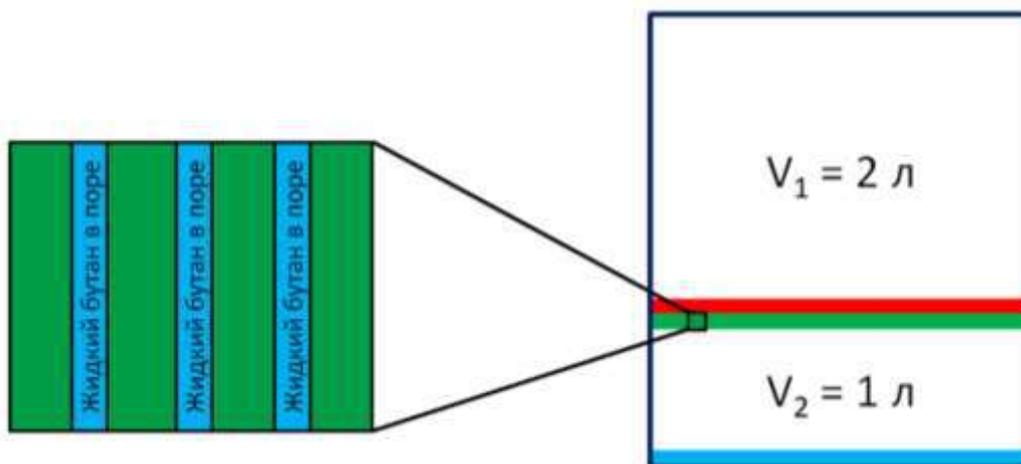


Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 3. Разделение углеводородов

Герметичный сосуд при $t = 27^\circ\text{C}$ разделён на две части плотной непроницаемой заслонкой и пористой мембраной площадью $S = 10 \text{ см}^2$ и толщиной $h = 200 \text{ мкм}$ со сквозными цилиндрическими порами радиусом $r = 40 \text{ нм}$, расположенными перпендикулярно поверхности мембраны. Верхняя часть сосуда имеет объём $V_1 = 2 \text{ л}$ и заполнена чистым газообразным бутаном под давлением $p_1 = 0.1 \text{ атм}$. Нижняя часть сосуда имеет объём $V_2 = 1 \text{ л}$ и содержит $V_L = 12 \text{ мл}$ жидкого бутана, находящегося в равновесии со своим паром, и газообразный метан с парциальным давлением $p_2 = 3 \text{ атм}$. Кроме того, в результате адсорбции и капиллярной конденсации поры мембраны целиком заполнены конденсатом бутана.

Справочные данные:

Плотность жидкого бутана $\rho = 601.3 \text{ кг/м}^3$, коэффициент поверхностного натяжения бутана $\sigma = 11.3 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$, молярная масса бутана $M_1 = 5.8 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}$, молярная масса метана $M_2 = 1.6 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}$, при температуре $t = 27^\circ\text{C}$ давление насыщенного пара бутана $p_0 = 2.53 \text{ атм}$, метан при температуре $t = 27^\circ\text{C}$ не конденсируется.



Красная линия – непроницаемая заслонка, зелёная линия – пористая мембрана, синяя линия – жидкий бутан. На увеличении слева – поры мембраны, заполненные конденсатом

1. Почему жидкий бутан не вытекает из поры? Ответ подтвердите расчётом. **(2 балла)**
2. Какой из углеводородов будет преимущественно проникать через мембрану в начальный момент времени после удаления непроницаемой заслонки? Ответ обоснуйте. **(2 балла)**
3. Определите массу жидкого бутана, сконденсировавшегося в порах мембраны, если поры занимают $\omega = 20\%$ от её объёма. **(2 балла)**
4. Определите парциальное давление бутана p в сосуде после удаления непроницаемой заслонки и установления равновесия в системе. **(4 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Решение задачи 3. Разделение углеводородов

1. На конденсат, находящийся в порах мембраны, помимо силы тяжести действует сила поверхностного натяжения. Масса жидкого бутана, содержащегося в одной поре, равна

$$m = \rho V$$

$$m = \rho \pi r^2 h$$

Значит, сила тяжести составляет

$$F_T = mg$$

$$F_T = \rho \pi r^2 h g$$

$$F_T = 601,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 3,14 \cdot 40 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2 \cdot 200 \cdot 10^{-6} \text{ м} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 5,9 \cdot 10^{-15} \text{ Н}$$

Сила поверхностного натяжения:

$$F_H = \sigma L$$

$$F_H = 2\pi r \sigma$$

где L – длина окружности, ограничивающей мениск жидкости.

$$F_H = 2 \cdot 3,14 \cdot 40 \cdot 10^{-9} \text{ м} \cdot 11,3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м}} = 2,8 \cdot 10^{-9} \text{ Н}$$

Поскольку сила поверхностного натяжения значительно превышает силу тяжести, жидкий бутан не будет вытекать из поры.

2. В начальный момент времени поры мембраны заполнены конденсатом, который будет препятствовать проникновению метана. Напротив, жидкий бутан, заполняющий поры, будет испаряться в верхней части сосуда, где его давление ниже давления насыщенных паров. Следовательно, в начальный момент времени преимущественно будет проникать бутан, конденсируясь в порах мембраны со стороны нижней части сосуда и испаряясь из пор в верхней части сосуда. Диффузия метана будет сильно ограничена его растворимостью в жидком бутане.
3. Объем мембраны равен

$$V = Sh$$

Так как поры занимают лишь 20% от объема мембраны, то их суммарный объем равен

$$V_{\Pi} = Sh\omega$$

Поскольку жидкий бутан целиком заполняет поры, объем конденсата равен объему пор, а масса жидкого бутана равна

$$m = \rho V_{\Pi}$$

$$m = \rho Shw$$

$$m = 601,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 200 \cdot 10^{-6} \text{ м} \cdot 0,2 = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ кг} = 24 \text{ мг.}$$

4. Определим количество бутана в сосуде. Оно складывается из газообразного бутана в верхней части сосуда (v_1), газообразного бутана в нижней части сосуда (насыщенных паров, v_2), конденсата на дне сосуда (v_3) и конденсата в порах мембраны (v_4). По уравнению Клапейрона-Менделеева

$$pV = \nu RT$$

$$\nu = \frac{pV}{RT}$$

$$\nu_1 = \frac{p_1 V_1}{RT} = \frac{0,1 \cdot 101325 \text{ Па} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot (27 + 273) \text{ К}} = 0,0081 \text{ моль}$$

$$\nu_2 = \frac{p_0 (V_2 - V_L)}{RT} = \frac{2,53 \cdot 101325 \text{ Па} \cdot (1 - 0,012) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot (27 + 273) \text{ К}} = 0,1016 \text{ моль}$$

При расчёте ν_2 учтено, что давление газообразного бутана равно давлению насыщенных паров (2,53 атм), а объём, занимаемый газом, равен объёму нижней части сосуда за вычетом объёма, занимаемого жидкостью.

Количество жидкого бутана на дне сосуда определим, рассчитав его массу.

$$\nu_3 = \frac{m}{M} = \frac{\rho V_L}{M}$$

$$\nu_3 = \frac{601,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 12 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{5,8 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 0,1244 \text{ моль}$$

Аналогично найдём количество жидкого бутана, содержащегося в порах мембраны.

$$\nu_4 = \frac{2,4 \cdot 10^{-5} \text{ кг}}{5,8 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = 0,0004 \text{ моль}$$

Следовательно, суммарное количество бутана равно

$$\nu = \nu_1 + \nu_2 + \nu_3 + \nu_4$$

$$\nu = 0,0081 + 0,1016 + 0,1244 + 0,0004 = 0,2345 \text{ моль}$$

Суммарный объём сосуда равен

$$V = V_1 + V_2$$

$$V = 2 \text{ л} + 1 \text{ л} = 3 \text{ л} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

По уравнению Клапейрона-Менделеева

$$p = \frac{\nu RT}{V}$$

$$p = \frac{0,2345 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 300\text{К}}{3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 194870 \text{ Па} = 1,92 \text{ атм}$$

Рассчитанное давление меньше давления насыщенных паров бутана, значит, эта величина и есть искомое давление после установления равновесия.



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 4. Эпитаксия нанослоя

Молекулярно-лучевая эпитаксия позволяет наносить на подложки очень тонкие слои (толщиной от монослоя до единиц и десятков нанометров).

Для роста тонкого слоя AlAs на подложке GaAs используются навески чистого Al и As, которые помещаются в отдельные ячейки с нагревательным элементом.

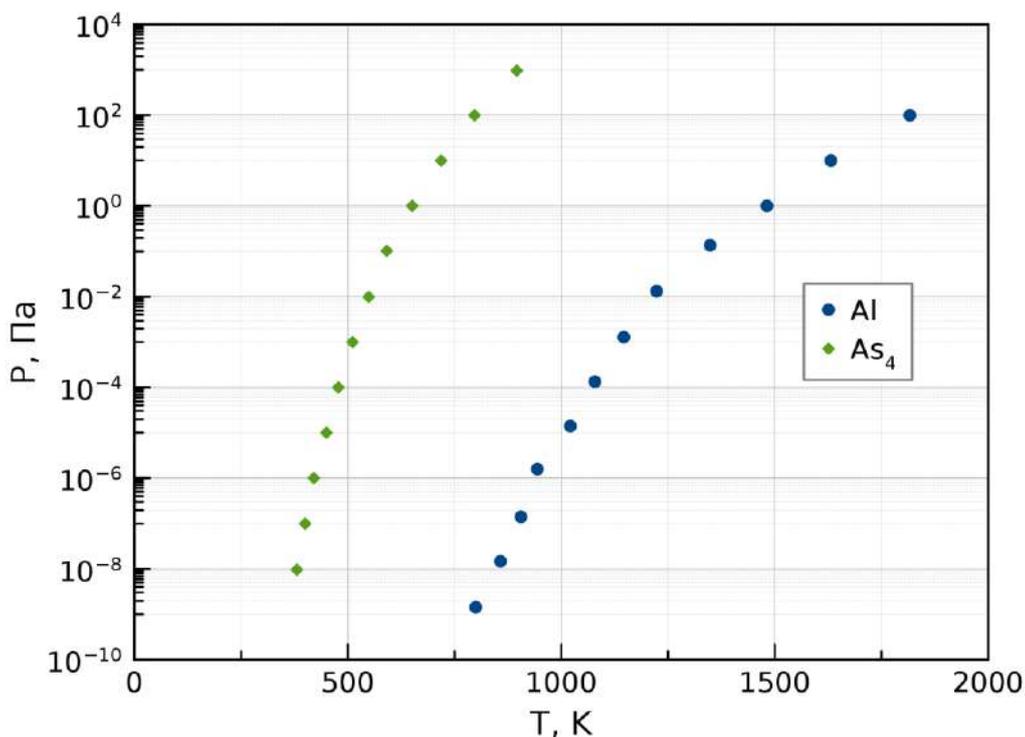


Рис. 1. Зависимость давления насыщенных паров Al, As₄ от температуры

Давление в камере напыления $p = 10^{-6}$ Па.

1. Зачем в камере нужно поддерживать столь низкое давление? **(1 балл)**
2. Оцените общее количество молекул воздуха при таком давлении и комнатной температуре в камере объемом $V = 22$ л. **(1 балл)**
3. Какие мощности должны иметь нагревательные элементы, чтобы за время $\tau = 1$ мин довести навески Al и As до состояния интенсивного испарения? Масса каждой навески $m = 5$ г. **(4 балла)**
4. Чему равны среднеквадратичные скорости испарившихся атомов Al и молекул As₄? **(4 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Решение задачи 4. Эпитаксия нанослоя

1. Низкое давление необходимо для увеличения длины свободного пробега молекул распыляемого вещества.
2. Общее число молекул найдем, выразив объемную концентрацию по формуле

$$p = nkT$$

$$N = \frac{p}{kT} V = \frac{10^{-6} \text{ Па}}{1.3 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 293 \text{ К}} 22 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \approx 5.4 \cdot 10^{12}$$

3. Интенсивное испарение при столь низком давлении будет происходить без плавления, т. е. вещества будут возгоняться. Данная в условии зависимость давления насыщенных паров от температуры позволяет определить точку при которой начнется интенсивное испарение. Для As $T_{As} \approx 420 \text{ К}$, а для Al $T_{Al} \approx 940 \text{ К}$. При указанных температурах давление насыщенных паров этих веществ сравнивается с давлением воздуха в камере. Чтобы найти тепловую энергию, необходимую для нагрева навесок (кусочков) этих веществ, найдем табличные значения удельной теплоемкости и запишем Q_{As} и Q_{Al} :

$$Q = cm\Delta T$$

$$Q_{As} = 328 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot (420\text{К} - 293\text{К}) \approx 208\text{Дж}$$

$$Q_{Al} = 904 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot (940\text{К} - 293\text{К}) \approx 2911\text{Дж}$$

$$P_{As} = \frac{Q_{As}}{\tau} = 3 \text{ Вт}$$

$$P_{Al} = \frac{Q_{Al}}{\tau} = 48 \text{ Вт}$$

4. Среднеквадратичные скорости молекул найдем, используя теорему о равнораспределении энергии по степеням свободы:

$$\frac{3kT}{2} = \frac{4m_{As}\langle V_{As}^2 \rangle}{2}$$

$$\frac{3kT}{2} = \frac{m_{Al}\langle V_{Al}^2 \rangle}{2}$$

$$\langle V_{As} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{4m_{As}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 420\text{К}}{2 \cdot 74 \cdot 1.6 \cdot 10^{-27} \text{ кг}}} \approx 185 \text{ м/с}$$

$$\langle V_{Al} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_{Al}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 940\text{К}}{26 \cdot 1.6 \cdot 10^{-27} \text{ кг}}} \approx 938 \text{ м/с}$$



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 5. Нанонити для термоэлектричества

Термоэлектрический эффект позволяет преобразовывать теплоту непосредственно в электричество. В ряде теоретических работ показано, что в наноразмерных нитях эффективность преобразования тепловой энергии в электрическую выше, чем в объемных материалах.



Рис. 1. Микрофотография нанонитей SnSe

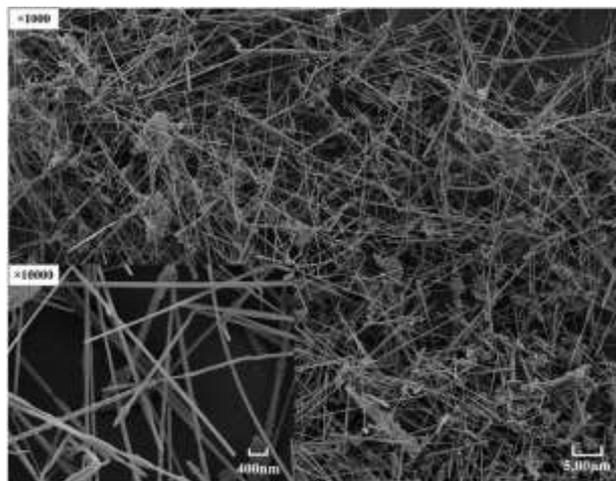


Рис. 2. Микрофотография нанонитей SiC

1. Рассмотрим нанонить селенида олова (SnSe), имеющую цилиндрическую форму. Диаметр основания нити $D = 20$ нм, а высота $h = 200$ нм. Один конец нити находится при комнатной температуре, а другой при повышенной температуре. Рассчитайте коэффициент теплопроводности λ_1 такой нанонити, если за время $\tau = 1$ с через нанонить SnSe проходит количество теплоты $Q_1 = 65$ нДж. Установившаяся разность температур на концах нити SnSe составляет $\Delta T = 600$ К. **(3 балла)**
2. Рассчитайте коэффициент теплопроводности λ_2 нанонити карбида кремния (SiC), если через нанонить SiC проходит количество теплоты $Q_2 = 30$ мкДж. Нить имеет диаметр основания $D = 20$ нм, и высоту $h = 1$ мкм. Установившаяся разность температур на концах нити SiC составляет $\Delta T = 1000$ К. **(3 балла)**
3. Сравните результаты, полученные в пунктах 1 и 2, и сделайте вывод о том, какие нанонити лучше использовать в термоэлектрических элементах. **(2 балла)**
4. Какие свойства наноразмерных нитей обуславливают высокую эффективность преобразования тепловой энергии в электрическую по сравнению с объемными материалами? **(2 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Решение задачи 5. Нанонити для термоэлектричества

1. Поток тепла Φ в случае установившегося распределения температуры связан с перепадом температур ΔT на концах как раз через коэффициент теплопроводности λ :

$$\Phi = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta l}$$

$$\lambda_1 = \frac{Q \Delta l}{S \tau \Delta T} = \frac{65 \text{ нДж}}{\pi \cdot 10^2 \text{ нм}^2 \cdot 1 \text{ сек}} \frac{200 \text{ нм}}{600 \text{ К}} = 0,068 \text{ Вт}/(\text{мК})$$

2. Аналогично п.1:

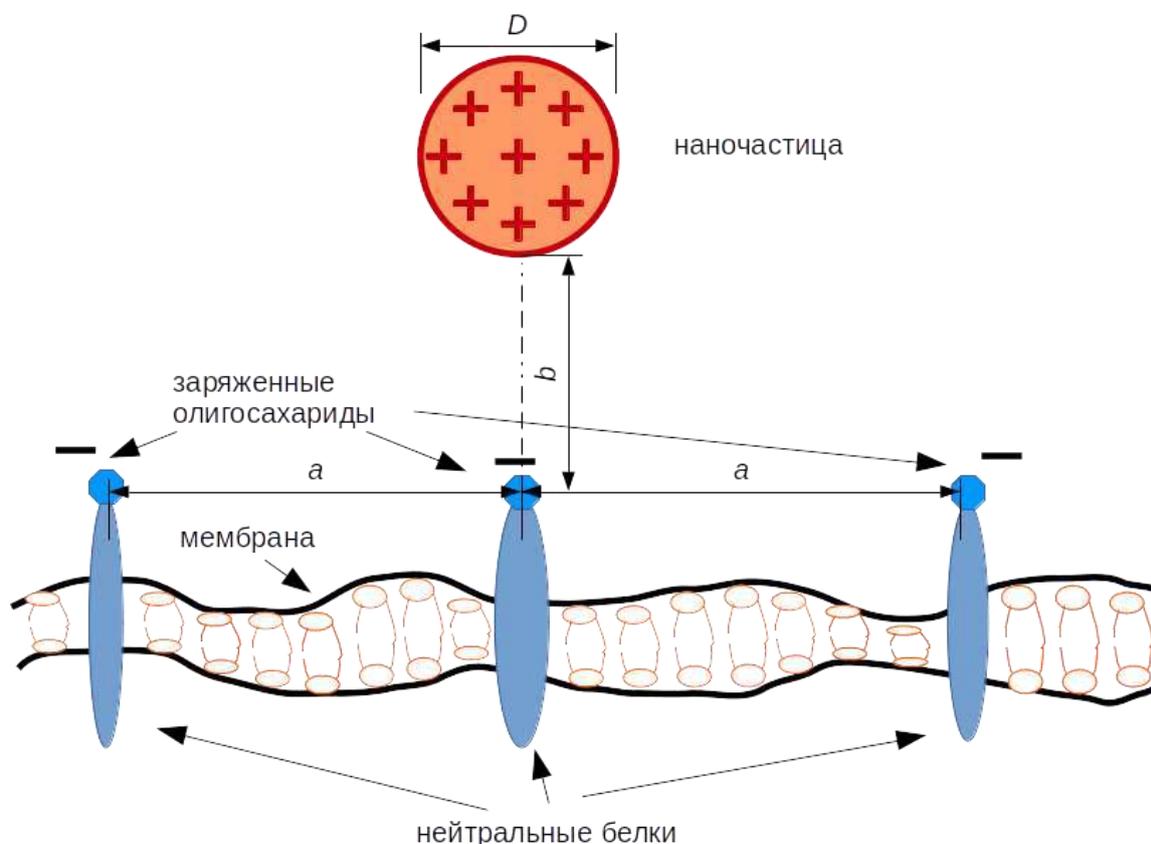
$$\lambda_2 = \frac{Q \Delta l}{S \tau \Delta T} = \frac{30 \text{ мкДж}}{\pi \cdot 100^2 \text{ нм}^2 \cdot 1 \text{ сек}} \frac{1 \text{ мкм}}{1000 \text{ К}} = 95 \text{ Вт}/(\text{мК})$$

3. Для использования в термоэлектрических элементах следует выбрать нанонити SnSe, т. к. они обладают меньшим коэффициентом теплопроводности.
4. Более низкая теплопроводность нанонитей по сравнению с объемным материалом обеспечивает более высокую эффективность преобразования тепловой энергии в электрическую. При этом нанонити должны обладать высокой электропроводностью.



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 6. Наночастица в живой ткани

Полупроводниковые и диэлектрические наночастицы имеют возможное практическое применение в биомедицине в качестве светоизлучающих маркеров или в качестве наноконтейнеров для адресной доставки лекарств. В научной литературе считается, что физико-химические свойства наночастиц определяют их взаимодействие с клетками живой ткани. Определяющим в этом взаимодействии является поверхностный заряд наночастицы. Считается, что положительно заряженные наночастицы лучше захватываются клетками, чем нейтральные или отрицательно заряженные. Причина – это благоприятное электростатическое взаимодействие с отрицательно заряженной клеточной мембраной. Диэлектрическую проницаемость межклеточного пространства будем считать равной $\epsilon = 1$.



1. На рисунке изображена наночастица вблизи мембраны. Наночастица равномерно заряжена с плотностью заряда $\rho = 0.15 \cdot 10^9$ Кл/м³, заряды олигосахаридов $q = -2 \cdot 10^{-9}$ нКл, расстояние $a = 50$ нм, $b = 80$ нм, диаметр $D = 40$ нм. Отрицательные заряды считайте точечными. Найдите заряд наночастицы Q . **(1 балл)**
2. Найдите энергию электростатического взаимодействия W положительно заряженной наночастицы и трёх отрицательно заряженных олигосахаридов. **(4 балла)**
3. Как изменится энергия взаимодействия W , если наночастица будет покрыта сплошным слоем отрицательно заряженных белковых молекул толщиной $d = 5$ нм? Плотность заряда белкового слоя по модулю равна плотности заряда наночастицы. **(5 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Решение задачи 6. Наночастица в живой ткани

1. Заряд наночастицы

$$Q = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho = \frac{4}{3}\pi (20 \cdot 10^{(-9)} \text{ м})^3 \cdot 0.15 \cdot 10^9 \text{ Кл/м}^3 \approx 5.0 \cdot 10^{-15} \text{ Кл}$$

($R = D/2$).

2. Энергия взаимодействия:

$$W = q(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3) = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r_1} + \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r_2} + \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r_3} = \frac{q\rho R^3}{3\epsilon_0} \left(\frac{1}{R+b} + \frac{2}{\sqrt{(R+b)^2 + a^2}} \right) \approx$$

$$\approx -2.45 \cdot 10^{-15} \text{ Дж},$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – потенциалы в точках, где расположены отрицательные заряды олигосахаридов.

3. Если наночастица будет покрыта заряженным слоем, то полный заряд наночастицы и оболочки будет равен:

$$Q_N = \frac{4}{3}\pi\rho R^3 - \frac{4}{3}\pi\rho((R+d)^3 - R^3) = \frac{4}{3}\pi\rho(2R^3 - (R+d)^3) \approx 2,35 \cdot 10^{-16} \text{ Кл}$$

4. Энергия взаимодействия:

$$W = \frac{qQ_N}{4\pi\epsilon_0 r_1} + \frac{qQ_N}{4\pi\epsilon_0 r_2} + \frac{qQ_N}{4\pi\epsilon_0 r_3} = -0.11 \cdot 10^{-15} \text{ Дж}$$

По модулю она уменьшится приблизительно в 22 раза.



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 7. Ионное травление

Для формирования наноструктур иногда применяется метод реактивного ионного травления. В ходе этого процесса в вакуумную камеру напускается небольшое количество газа, который ионизируется, а далее под действием приложенного электрического поля ионы летят к поверхности подложки, которая подлежит ионному травлению. Для удержания плазмы может использоваться магнитное поле.

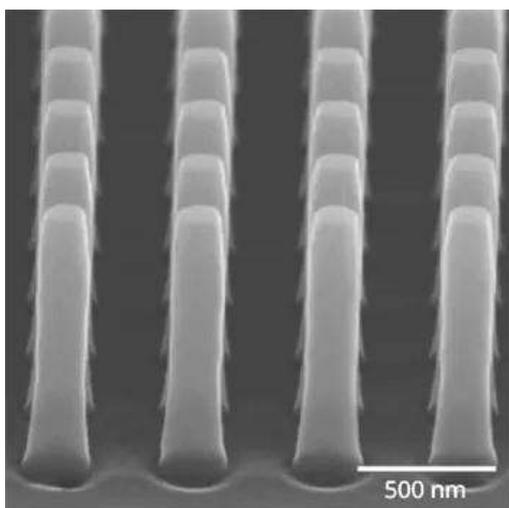


Рис. 1. Наноструктуры, полученные реактивным ионным травлением

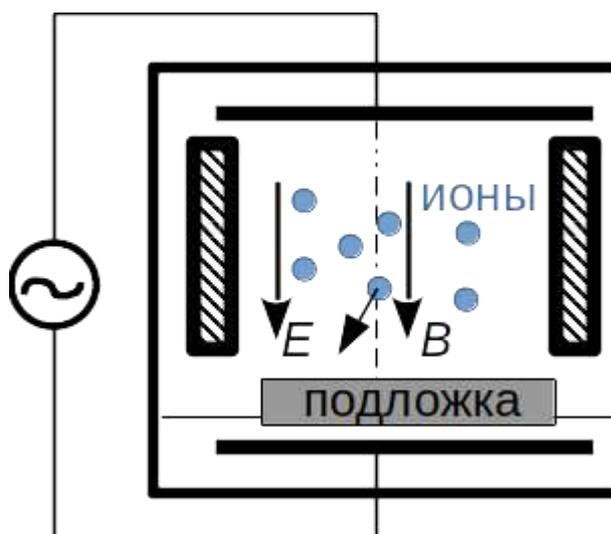


Рис. 2. Схема эксперимента

1. В камеру напускают аргон, который ионизируют, и ионы плазмы под действием переменного электрического поля начинают совершать колебательные движения. Поле меняется по закону $E(t) = E_0 \cos(\omega t)$, $E_0 = 0.05$ В/м. При какой частоте ω однозарядный ион аргона, который находился строго посередине камеры и не имел начальной скорости, коснется подложки? Расстояние от середины камеры до подложки $l = 50$ см. Считайте, что ионы не взаимодействуют друг с другом. **(5 баллов)**
2. В камере выключают переменное электрическое поле и включают постоянное магнитное поле. Вектор индукции $B = 1$ мТл направлен вдоль осевой линии. На каком расстоянии от осевой линии ударится ион о подложку, если находясь строго посередине камеры, он имеет скорость $v_0 = 100$ м/с, и она направлена под углом $\alpha = 30^\circ$ к осевой линии? **(4 балла)**
3. Какова траектория движения ионов в магнитном поле? **(1 балл)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Решение задачи 7. Ионное травление

1. По второму закону Ньютона:

$$ma_y = qE_0 \cos(\omega t)$$

Скорость и координата также изменяются по гармоническому закону, поэтому:

$$A\omega^2 = \frac{qE_0}{m}$$

где $A = l$, следовательно

$$\omega = \sqrt{\frac{qE}{lm}} = \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 0,05 \text{ В/м}}{0,5 \text{ м} \cdot 40 \cdot 1,6 \cdot 10^{-27} \text{ кг}}} = 500 \text{ рад/с}$$

2. Когда ион находится только в магнитном поле:

$$m\vec{a} = q[\vec{v}\vec{B}] \Rightarrow \frac{mv_x^2}{r} = qv_x B$$

$$r = \frac{mv \sin(30^\circ)}{qB} = \frac{40 \cdot 1,6 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 100 \text{ м/с} \cdot \sin(30^\circ)}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 10^{-3} \text{ Тл}} = 2 \text{ см.}$$

Максимальное расстояние — это диаметр $D = 4 \text{ см.}$

3. Движение ионов в магнитном поле происходит по спирали.



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Задача 8. Наноробот

Так называемые нанороботы активно разрабатываются из-за перспективы их применения в области адресной доставки лекарств к небольшим участкам тканей и даже отдельных клеток. К нанороботам относятся различные наноразмерные объекты, траекторией движения которых можно управлять с помощью света, магнитного или электрического поля. [Группа ученых под руководством Фана](#) разработала золотые нанонити, на поверхность которых прикрепляются карбоксильные (-COOH) или аминогруппы (-NH₂). При помещении этих нанонитей в воду эти группы ионизируются, что обуславливает появление отрицательного (COO⁻) или положительного (NH₃⁺) заряда. Движением таких нанороботов можно управлять с помощью электрического поля.

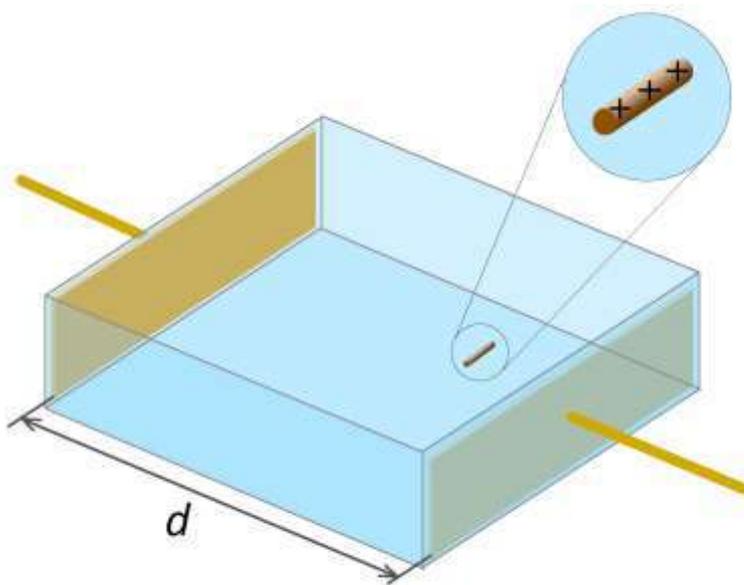


Рис. 1. Схема расположения электродов, управляющих движением нанонити

Золотые нанонити с диаметром основания $D = 300$ нм, длиной $\ell = 6$ мкм и зарядом $q = 8$ пКл, модифицированные аминогруппами, помещены в ванночку с водой и медленно оседают с установившейся постоянной скоростью $v = 10$ нм/с.

1. Определите коэффициент вязкого трения, возникающего при движении нанонити в воде. **(5 баллов)**
2. На плоскопараллельные электроды, находящиеся на расстоянии $d = 1$ см, подают напряжение $U = 2$ В. Найдите установившуюся через некоторое время постоянную скорость движения v' нанонитей под действием электрического поля. **(5 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Решение задачи 8. Наноробот

1. 2 закон Ньютона:

$$mg - F_A - rv = 0$$

$$F_A \ll mg \Rightarrow mg - rv = 0$$

$$r = \frac{mg}{v} = \frac{\rho V g}{v} = \frac{\rho \cdot \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 l \cdot g}{v}$$

$$r = \frac{19,32 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot \left(\frac{300 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^2 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \cdot 9,8}{10 \cdot 10^{-9}} \approx 8 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$$

2. 2 закон Ньютона:

$$qE - rv' = 0$$

Плоскопараллельные электроды – однородное э/с поле , следовательно

$$E = \frac{U}{d}$$

$$q \frac{U}{d} - rv' = 0$$

$$v' = \frac{qU}{dr}$$

$$v' = \frac{8 \cdot 10^{-12} \cdot 2}{1 \cdot 10^{-2} \cdot 8 \cdot 10^{-6}} \approx 200 \text{ мкм/с}$$



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 9. Нанопинцет

Для манипулирования наноструктурами в процессе их исследования была разработана наноразмерная электромеханическая система – нанопинцет на основе углеродных нанотрубок диаметром около 50 нм. Электропроводящие и механически прочные углеродные нанотрубки были прикреплены к независимым электродам, изготовленным на вытянутых стеклянных микропипетках. При приложении напряжения к электродам на нанотрубках появляются разноименные заряды. Вследствие электростатического взаимодействия заряженные нанотрубки притягиваются и смыкаются.

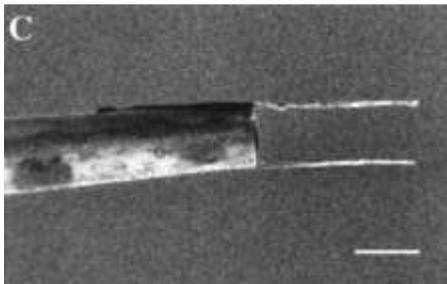


Рис. 1. Нанопинцет из углеродных нанотрубок. Масштабный отрезок 2 мкм

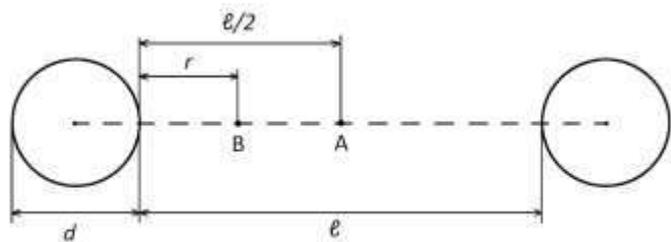


Рис. 2. Схематическое представление заряженных нанотрубок

Нанотрубки при приложении к ним напряжения можно считать параллельными заряженными цилиндрами с линейной плотностью заряда $\lambda = 0.088 \cdot 10^{-19}$ Кл/нм. Нанотрубки заряжены разноименно.

1. Определите напряженность электрического поля в точке А, находящейся посередине между нанотрубками (рис. 2). Расстояние между углеродными нанотрубками $l = 2$ мкм, диаметр нанотрубок $d = 50$ нм. **(5 баллов)**
2. Определите напряженность электрического поля в точке В, находящейся на оси, соединяющей центры нанотрубок, на расстоянии $r = 400$ нм от одной из них. **(5 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Решение задачи 9. Нанопинцет

1. По теореме Гаусса для одного заряженного цилиндра напряженность поля на расстоянии $r > d/2$:

$$E(r) \cdot 2\pi r \cdot h = \frac{\lambda \cdot h}{\epsilon_0}$$

$$E(r) = \frac{\lambda}{2\pi r \epsilon_0}$$

Напряженность поля обоих цилиндров в точке А:

$$E(A) = \frac{2\lambda}{2\pi \frac{l+d}{2} \epsilon_0} = \frac{2\lambda}{\pi(l+d)\epsilon_0}$$

$$E(A) = \frac{2 \cdot 0,088 \cdot 10^{-19} \cdot 10^9}{\pi \cdot (2 \cdot 10^{-6} + 50 \cdot 10^{-9}) \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \approx 0,31 \frac{\text{МВ}}{\text{м}}$$

2. Напряженность поля в точке В:

$$E(B) = E_1(B) + E_2(B) = \frac{\lambda}{2\pi \left(\frac{d}{2} + r\right) \epsilon_0} + \frac{\lambda}{2\pi \left(\frac{d}{2} + l - r\right) \epsilon_0}$$

$$= \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0} \left(\frac{1}{\frac{d}{2} + r} + \frac{1}{\frac{d}{2} + l - r} \right)$$

$$E(B) = \frac{0,088 \cdot 10^{-19} \cdot 10^9}{2 \cdot \pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \left(\frac{1}{\frac{50 \cdot 10^{-9}}{2} + 400 \cdot 10^{-9}} + \frac{1}{\frac{50 \cdot 10^{-9}}{2} + 2 \cdot 10^{-6} - 400 \cdot 10^{-9}} \right) \approx 0,47 \frac{\text{МВ}}{\text{м}}$$



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 10. «Эффект миража»

Измерение зависимости коэффициента поглощения от частоты падающего излучения в тонких пленках толщиной 100-200 нм из оптически непрозрачного материала может быть реализовано методом термо-оптической спектроскопии. Явление, лежащее в основе данного метода, в литературе иногда называют «эффектом миража». Пленка поглощает излучение от монохроматического источника и нагревается, нагревая также тонкий приповерхностный слой окружающей жидкости. Из-за нагрева, который зависит от коэффициента поглощения пленки, в данной области меняется показатель преломления жидкости. Лазерный луч, направленный вдоль поверхности образца, преломляется и отклоняется от первоначального направления. Таким образом, по отклонению луча можно получить информацию о коэффициенте поглощения тонкой пленки образца.

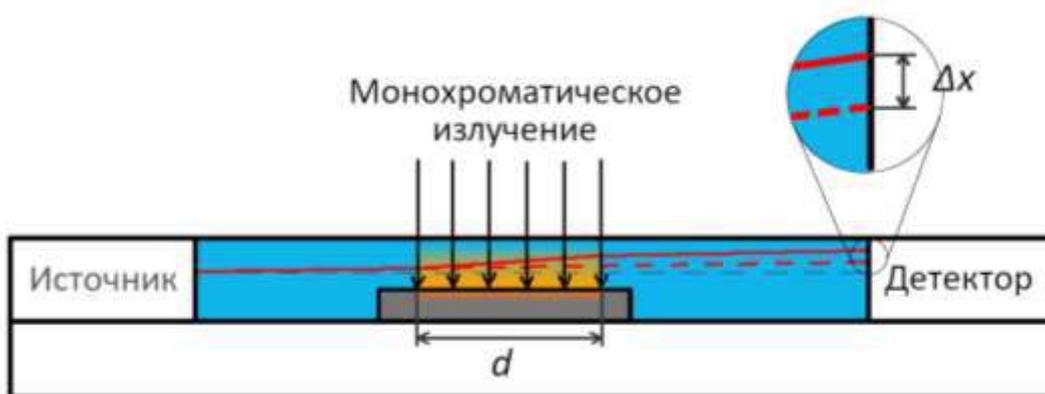


Рис. 1. Схема эксперимента

Закон зависимости коэффициента преломления n от температуры T жидкости выглядит следующим образом:

$$n = n_0 - a(T - T_0),$$

где n_0 – показатель преломления при комнатной температуре T_0 , а коэффициент a зависит от типа жидкости. В таблице представлены значения n_0 и a для различных жидкостей.

Жидкость	n_0	$a, 10^{-4} \text{ K}^{-1}$
Вода	1.333	0.9
Метанол	1.3284	4.3

1. На какую величину Δx сместится луч на экране детектора, направленный под углом $\alpha_0 = 1^\circ$ к горизонтальной поверхности тонкой титановой пленки, погруженной в воду, если в результате поглощения падающего излучения приповерхностный слой жидкости над облучаемой областью нагрелся на $T - T_0 = 90^\circ \text{C}$? Ширина облучаемой области $d = 1 \text{ см}$. Считайте границы раздела нагретой и «холодной» жидкостей резкими, а слой жидкости над облучаемой областью равномерно нагретым. **(6 баллов)**
2. Как изменится Δx , если вместо воды использовать метанол? **(2 балла)**

3. Можно ли использовать какую-то из этих жидкостей в таком эксперименте, чтобы обнаружить изменение температуры в 90 °С, если детектор представляет собой матрицу с размером пикселя 2.5 мкм? **(2 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Решение задачи 10. «Эффект миража»

1.

$$\Delta x = d(\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\alpha_0) \approx d(\sin\alpha - \sin\alpha_0)$$

Закон Снеллиуса:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\alpha_0} = \frac{n_0}{n}$$

$$\sin\alpha = \sin\alpha_0 \cdot \frac{n_0}{n}$$

$$\Delta x = d \left(\sin\alpha_0 \cdot \frac{n_0}{n} - \sin\alpha_0 \right) = d \sin\alpha_0 \frac{n_0 - n}{n}$$

$$n = n_0 - a(T - T_0)$$

$$\Delta x = d \sin\alpha_0 \frac{a(T - T_0)}{n_0 - a(T - T_0)} \approx d \alpha_0 \frac{a(T - T_0)}{n_0 - a(T - T_0)}$$

$$\Delta x = 1 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \frac{0,9 \cdot 10^{-4} \cdot 90}{1,333 - 0,9 \cdot 10^{-4} \cdot 90} \approx 1 \text{ мкм}$$

2.

$$\Delta x = 1 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \frac{4,3 \cdot 10^{-4} \cdot 90}{1,3284 - 4,3 \cdot 10^{-4} \cdot 90} \approx 5 \text{ мкм}$$

3. Воду использовать нельзя, так как смещение луча на $\Delta x = 1$ мкм меньше размера пикселя в матрице детектора, и оно может быть не зарегистрировано.

Метанол использовать можно благодаря тому, что в этом случае смещение луча $\Delta x = 5$ мкм в 2 раза превышает размер пикселя в матрице.



Химия. Отборочный этап

Химия

Категория участников: школьники 7-11 классов

Блок теоретических заданий отборочного этапа по **химии для школьников 7-11 классов** включает задачи разной сложности. Для повышения вероятности прохождения на заключительный этап желательно решить задачи не только по химии, но и по математике, биологии, физике, чтобы набрать больше баллов. Дополнительные баллы (50%) будут добавлены за прохождение **тестов ЗНТШ** по [химии](#), [физике](#), [математике](#), [биологии](#).

Перед отправкой заявки, пожалуйста, внимательно ознакомьтесь с [инструкцией по загрузке работ](#).

Задания

1. Материалы для химических источников тока

Элемент X – один из наиболее часто используемых элементов в химических источниках тока. При взаимодействии простого вещества X с кислородом образуется вещество А белого цвета, принадлежащее к классу соединений I. Элементы, находящиеся в одной группе с элементом X...

2. Оксид графена

Графеном называют двумерный слой, плоскость, отделенную от кристалла графита. Известно химическое соединение, которое называется оксид графита (ОГ). Оно образуется в результате химической реакции графита со смесью перманганата калия и серной кислоты...

3. Кремниевые нановискеры

В результате взаимодействия тетрахлорида кремния с водородом, взятых в стехиометрическом соотношении, были синтезированы кремниевые нановискеры диаметром 50 нм, при этом количество водорода уменьшилось в 4 раза...

4. Масса мембраны

Мембраны из оксида алюминия можно получить анодным окислением алюминиевой пластинки, в результате которого пористая оксидная плёнка растёт непосредственно на самой металлической заготовке. Однако для дальнейшего применения таких мембран необходимо...

5. Сложный оксид

В результате обжига в инертной атмосфере при 1200°C смеси оксалата двухвалентного металла А (белый порошок) и оксалата двухвалентного металла В (розовый порошок), взятых в мольном соотношении 9:1, был синтезирован зелёный порошок соединения С...

6. Новое соединение

В химическую лабораторию для подтверждения элементного состава поступил новый образец, представляющий собой белые пластинчатые кристаллы размером до нескольких миллиметров. Согласно заявке, образец представляет собой новое соединение...

7. Нанонити

С помощью метода гидротермального синтеза учеными был синтезирован новый материал с удельной площадью поверхности более 50 м²/г. Электронная микроскопия образца показала, что частицы имеют форму нанонитей длиной более 1 см, толщиной 3-5 мкм...

8. Дружелюбные белки

Белки выполняют самые разнообразные функции в организме. В ряде случаев они образуют наноразмерные комплексы с представителями других классов биологически важных молекул, причем способность к комплексообразованию, во многом, определяется свойствами боковых заместителей...

9. Наночастицы на целлюлозе

Для синтеза наночастиц металла **X** на поверхности целлюлозы можно использовать восстановитель **Y** – вещество белого цвета, растворимое в воде и нерастворимое в эфире. Раствор **Y** в воде неустойчив, и при хранении из него выделяется легкий горючий газ. Этот процесс можно ускорить...

10. Превращения наночастиц

Синтез сферических наночастиц **X** проводили путем взаимодействия бесцветной жидкости **A** с водно-этанольным раствором. В ходе реакции концентрация этанола в растворе повысилась, хотя выделения газов не наблюдалось. В результате реакции образовался коллоидный раствор...



Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)

Задача 1. Материалы для химических источников тока

Элемент X – один из наиболее часто используемых элементов в химических источниках тока. При взаимодействии простого вещества X с кислородом образуется вещество А белого цвета, принадлежащее к классу соединений I. Элементы, находящиеся в одной группе с элементом X, взаимодействуют с кислородом с образованием веществ других классов: элемент Y образует соединение В бледно-желтого цвета, принадлежащее к классу II, остальные элементы образуют соединения оранжевого или коричневого цвета, принадлежащие к классу III.

1. Определите неизвестные элементы и вещества, запишите уравнения описанных реакций, укажите названия упомянутых классов соединений. **(4,5 балла)**

Соединение С элемента X, принадлежащее к классу II, является перспективным материалом для химических источников тока из-за рекордного напряжения батареи и высокой плотности энергии. Однако, данное вещество является диэлектриком, поэтому электрохимические реакции могут проходить лишь на поверхности электрода. Возможным решением данной проблемы является создание проводящей суспензии наночастиц вещества С. Для исследования они были синтезированы следующим способом: простое вещество X массой 0,282 г растворили в 400 мл 96%-го этилового спирта (реакция 1), после чего в полученный раствор резко вливали 3 мл 37%-й перекиси водорода (реакция 2). После окончания реакции растворитель удаляли при помощи вакуумной перегонки.

2. Определите соединение С. Запишите общее уравнение реакции, проходящей при разряде такого металл-кислородного аккумулятора. **(1 балл)**
3. Запишите уравнения реакций 1 и 2. **(1,5 балла)**
4. Почему в синтезе наночастиц предпочтительнее перегонка при пониженном давлении? **(1 балл)**
5. Найдите массу полученного в результате синтеза вещества С. Выход примите равным 100%. **(0,5 балла)**
6. Рассчитайте ЭДС реакции из п. 2, если известно, что электрохимическая ячейка с таким количеством вещества С может запастись энергией в 11,42 кДж. **(1,5 балла)**

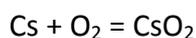
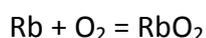
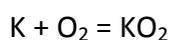
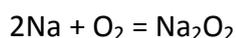
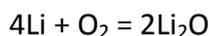
Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 1. Материалы для химических источников тока

1. Представленное разнообразие продуктов реакций простых веществ с кислородом имеют только щелочные металлы. По цветам соединений можно определить неизвестные вещества: А – Li_2O , В – Na_2O_2 . Отсюда элемент Х – Li, элемент Y – Na. Остальные вещества – надпероксиды калия, рубидия и цезия.

Уравнения реакций:



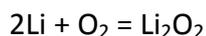
Классы соединений:

I – оксиды, II – пероксиды, III – надпероксиды (супероксиды).

(5 реакций по **0,5 балла**, за каждое из двух веществ – по **0,5 балла**, за каждый из 2 элементов – по **0,25 балла**, **0,5 балла** за указание всех трех классов соединений, **0,25** – если не указан один из них).

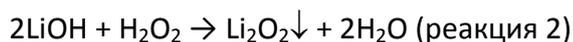
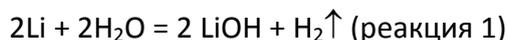
2. Поскольку С является соединением лития и принадлежит к классу II, это – пероксид лития Li_2O_2 .

Уравнение реакции:



(указано соединение С – **0,25 балла**, написана реакция – **0,75 балла**)

3. Уравнения реакций:



(**0,75 балла** за каждое уравнение)

4. При высоких температурах наночастицы склонны к агрегации. При пониженном давлении жидкости кипят при более низких температурах, поэтому процесс агрегации не будет протекать.

(указано, что при пониженном давлении нужна температура ниже – **0,5 балла**, указано, что из-за этого не идёт агрегация – **0,5 балла**)

5. Найдём количество лития: $0,282(\text{г}) / 7(\text{г/моль}) = 0,04$ моль. Количество пероксида лития в 2 раза меньше (видно из уравнения реакции) и равно 0,02 моль. Масса получаемого пероксида равна $0,02 \text{ моль} * 46 (\text{г/моль}) = 0,92 \text{ г}$.
6. Найдём изменение энергии Гиббса в ходе реакции. Количество получаемого пероксида лития равно 0,02 моль. Изменение энергии Гиббса в расчете на моль пероксида: $-11,42 \text{ кДж} / 0,02 \text{ моль} = -571 \text{ кДж} / \text{моль}$. Воспользуемся формулой для связи энергии Гиббса и ЭДС реакции: $\Delta G = -nFE$. $n = 2$, так как в реакции участвуют два электрона, отсюда $E = -\Delta G/2F = 2,96 \text{ В}$.



Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)

Задача 2. Оксид графена

Графеном называют двумерный слой, плоскость, отделенную от кристалла графита. Известно химическое соединение, которое называется оксид графита (ОГ). Оно образуется в результате химической реакции графита со смесью перманганата калия и серной кислоты. Твердый оксид графита имеет приблизительную формулу CO_xH_y , где $x = 0,3-0,6$, $y = 0,05-0,2$.

1. Водный раствор CO_xH_y называют раствором оксида графена. Почему? Почему не существует водного раствора графена? **(1 балл)**
2. Твердый CO_xH_y – это порошок, состоящий из сферических частиц радиусом 1 мкм. Частицы сохраняют слоистую структуру графита. Расстояние между слоями – 10 Å. Плотность материала составляет $d = 2 \text{ г/см}^3$. Какую максимальную концентрацию оксида графена (размерность концентрации: «число 2D-структур»/л) можно получить, если растворить в 10 мл воды 5 мг CO_xH_y ?
 Какова средняя площадь получающихся двумерных структур?
 Какова будет концентрация 2D структур средней площади? **(4 балла)**

ОГ в водном растворе способен сорбировать катионы металлов, например, Pb^{2+} , Fe^{3+} и, таким образом, очищать воду. На рисунке ниже показано возможное расположение кислородсодержащих групп на поверхности оксида графена (модель Лерфа-Клиновского).

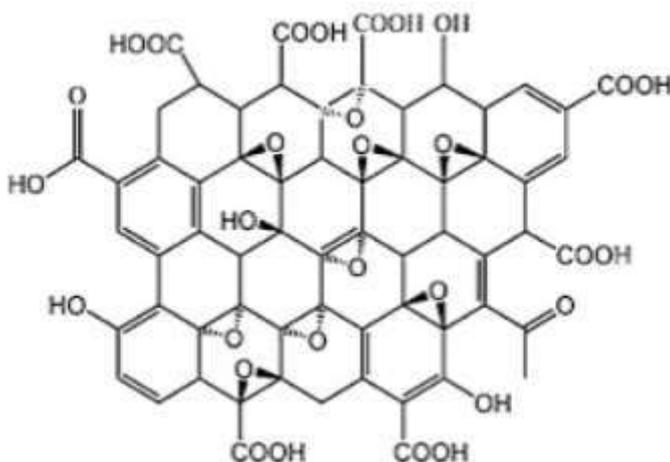


Рис. 1. Модель оксида графена

3. Как может связываться катион Pb^{2+} с поверхностью оксида графена? Укажите три возможных типа присоединения.
 Как влияет на сорбцию катиона свинца pH водного раствора?
 Влияние pH раствора на сорбцию является термодинамическим или кинетическим фактором? **(3 балла)**
4. Количество сорбированного катиона $\alpha(\text{Fe}^{3+})$, по экспериментальным данным, пропорционально концентрации 2D-структур в растворе, c_{2D} , при низких концентрациях. При увеличении концентрации зависимость становится более сложной – степенной: $\alpha(\text{Fe}^{3+}) \sim c_{2D}^x$, где $1 < x < 2$. Объясните подобное явление. **(2 балла)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 2. Оксид графена

- Наличие кислородосодержащих групп делает оксид графита гидрофильным. При взаимодействии с водой твердый ОГ полностью распадается на двумерные слои. Продукт растворения ОГ вполне обоснованно называют водным раствором оксида графена. Графит гидрофобен и не растворяется в воде.
- Предположим, что ОГ полностью рассыпался на плоскости. Объем одной частицы порошка:

$$V = 4/3 \cdot \pi R^3 = 4.2 \cdot (1 \cdot 10^{-6})^3 = 4.2 \cdot 10^{-18} \text{ м}^3.$$

Количество сферических кристаллитов находим через общий объем вещества:

$$V_{\text{ОГ}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ г} / 2 \text{ г/см}^3 = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3 = 2.5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3,$$

$$n_{\text{сф}} = V_{\text{ОГ}} / V = 2.5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3 / 4.2 \cdot 10^{-18} \text{ м}^3 = 6 \cdot 10^8.$$

Количество 2D-структур в каждом кристаллите:

$$n = 2 \cdot 10^{-6} \text{ м} / 10^{-9} \text{ м} = 2000$$

Общее число 2D-структур в 10 мл раствора и их концентрация равны:

$$n_{2\text{D}} = 2000 \cdot 6 \cdot 10^8 = 1.2 \cdot 10^{12},$$

$$c_{2\text{D}} = 1.2 \cdot 10^{12} / 0.01 \text{ л} = 1.2 \cdot 10^{14} \text{ л}^{-1}.$$

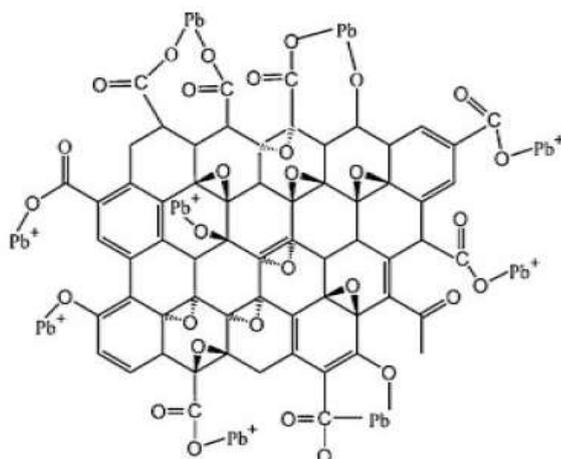
Средняя площадь 2D-структур:

$$S_{\text{ср}} = \pi(R/2)^2 = 7.85 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2.$$

Каждый кристаллит при растворении даст две 2D-структуры такого размера. Поэтому концентрация 2D-структур средней площади равна:

$$c_{2\text{D,ср}} = (6 \cdot 10^8) \cdot 2 / 0.01 \text{ л} = 1.2 \cdot 10^{11} \text{ л}^{-1}.$$

- Возможные типы связывания катиона Pb^{2+} приведены на рисунке.



Увеличение pH приводит к отрыву H^+ от кислородосодержащих групп, что способствует сорбции. С другой стороны, высокая концентрация OH^- приводит к образованию $Pb(OH)^+$ и $Pb(OH)_2$ в растворе, что затрудняет сорбцию или делает ее невозможной. Для подбора оптимальных условий сорбции нужен расчет равновесного состава раствора с использованием констант равновесия всех возможных химических реакций. pH раствора влияет на сорбцию в условиях равновесия, а не на скорость сорбции. В данном случае, pH – термодинамический фактор.

4. С увеличением концентрации 2D-структур в растворе растет число образований, состоящих из 2-х плоскостей оксида графена. Катион металла сорбируется между двумя плоскостями, образуя более прочные связи. Концентрация подобных «сэндвичевых» структур растет пропорционально квадрату концентрации оксида графена. При низких концентрациях ОГ катион металла сорбируется только на отдельные 2D-структуры. При увеличении концентрации вклад в сорбцию начинает вносить сорбция на «сэндвичи». Зависимость $\alpha(Fe^{3+}) \sim c_{2D}$ превращается в $\alpha(Fe^{3+}) \sim c_{2D}^x$, где $1 < x < 2$.



Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)

Задача 3. Кремниевые нановискеры

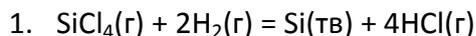
В результате взаимодействия тетрахлорида кремния с водородом, взятых в стехиометрическом соотношении, были синтезированы кремниевые нановискеры диаметром 50 нм, при этом количество водорода уменьшилось в 4 раза, а давление в камере реактора объёмом 1 л увеличилось на 5 кПа. Температура в течение всего процесса составляла 363°C.

1. Напишите уравнение реакции синтеза кремниевых нановискеров. **(2 балла)**
2. Определите массу синтезированных нановискеров. **(5 баллов)**
3. Рассчитайте суммарную длину всех нановискеров. Плотность кремния 2,33 г/см³. Нановискеры можно считать идеальными цилиндрами. **(3 балла)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 3. Кремниевые нановискеры



2. По уравнению реакции, из 3 молей газов образуются 1 моль Si и 4 моля газа. Т.е., количество вещества кремния в точности равно увеличению количества вещества в газовой фазе. Последнюю величину можно найти по уравнению Клапейрона-Менделеева:

$$\Delta v(\text{г}) = \frac{\Delta p V}{RT} = \frac{5 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot (363 + 273) \text{ К}} = 9,46 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

$$v(\text{Si}) = 9,46 \cdot 10^{-4} \text{ моль},$$

$$m(\text{Si}) = 28 \cdot 9,46 \cdot 10^{-4} = 0,0265 \text{ г.}$$

3. При расчёте суммарной длины нановискеров их можно рассматривать как один длинный цилиндр радиусом $r = 50/2 = 25$ нм и длиной L . Объём такого цилиндра равен:

$$V = \pi r^2 L = m / \rho,$$

откуда

$$L = \frac{m}{\rho \pi r^2} = \frac{0,0265}{2,33 \cdot 3,14 \cdot (25 \cdot 10^{-7})^2} = 5,8 \cdot 10^8 \text{ см} = 5800 \text{ км.}$$



Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)

Задача 4. Масса мембраны

Мембраны из оксида алюминия можно получить анодным окислением алюминиевой пластинки, в результате которого пористая оксидная плёнка растёт непосредственно на самой металлической заготовке. Однако для дальнейшего применения таких мембран необходимо удалять металлический алюминий, который остаётся в виде подложки после завершения процесса окисления. Для этого часто используют селективное растворение алюминия в присутствии его оксида.

1. Что из перечисленного можно использовать для селективного удаления алюминия?

- a. 12%-й раствор NaOH
- b. 9%-й раствор HCl
- c. 6%-ный раствор CuCl_2
- d. 3%-й раствор Br_2

Ответ обоснуйте, запишите уравнения соответствующих химических реакций.
(5 баллов)

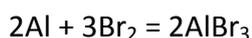
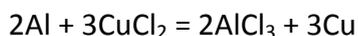
2. Для экспериментов синтезировали две мембраны из оксида алюминия. Обе представляют собой плёнки площадью $S = 2 \text{ см}^2$ и толщиной $H = 200 \text{ мкм}$, которые пронизаны сквозными цилиндрическими порами. Число пор в единице объёма обеих мембран одинаково и составляет $n = 98$ пор на 1 мкм^3 , однако диаметр пор в первой мембране равен $d_1 = 20 \text{ нм}$, а во второй $d_2 = 50 \text{ нм}$. Определите, во сколько раз отличаются плотности этих мембран. **(5 баллов)**

Всего – 10 баллов

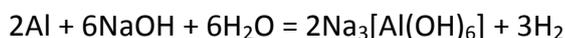
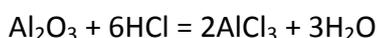
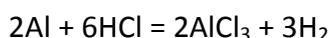


Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 4. Масса мембраны

1. Из предложенных растворов можно использовать только 6%-й раствор CuCl_2 (ответ *c*) и 3%-й раствор Br_2 (ответ *d*), так как эти вещества взаимодействуют с алюминием, но не реагируют с оксидом алюминия:



Соляная кислота и раствор гидроксида натрия для селективного удаления алюминия не подходят, так как они взаимодействуют также и с оксидом алюминия:



2. С одной стороны, масса мембраны равна

$$m = \rho_m V_m,$$

где ρ_m – плотность пористой мембраны, V_m – объём пористой мембраны.

С другой стороны, масса мембраны равна массе сплошного непористого оксида, из которого она состоит, поскольку масса пор равна нулю:

$$m = \rho_o V_o,$$

где ρ_o – плотность сплошного оксида, V_o – его объём.

Так как объём мембраны складывается из объёма сплошного оксида и объёма всех пор V_p , то

$$V_m = V_o + V_p.$$

Следовательно,

$$\rho_m V_m = \rho_o V_o$$

$$\rho_m V_m = \rho_o (V_m - V_p)$$

$$\rho_m = \rho_o \left(1 - \frac{V_p}{V_m} \right)$$

Объём мембраны равен

$$V_m = SH,$$

где S – площадь, H – толщина мембраны.

Объём всех пор равен

$$V_n = vN = shN = \pi r^2 hN = \pi r^2 HN,$$

где v – объём одной поры, N – число пор в мембране, s – площадь основания цилиндра, являющегося порой, h – высота цилиндра, являющаяся толщиной мембраны, r – радиус цилиндра, являющегося порой. Следовательно, плотности мембран равны:

$$\rho_{м,1} = \rho_o \left(1 - \frac{\pi r_1^2 HN}{SH} \right) = \rho_o \left(1 - \frac{\pi r_1^2 N}{S} \right),$$

$$\rho_{м,2} = \rho_o \left(1 - \frac{\pi r_2^2 N}{S} \right).$$

Отношение плотностей:

$$\frac{\rho_{м,1}}{\rho_{м,2}} = \frac{1 - \frac{\pi r_1^2 N}{S}}{1 - \frac{\pi r_2^2 N}{S}} = \frac{1 - \pi r_1^2 n}{1 - \pi r_2^2 n} = \frac{1 - 3,14 \cdot (10 \cdot 10^{-3} \text{мкм})^2 \cdot 98 \text{мкм}^{-2}}{1 - 3,14 \cdot (25 \cdot 10^{-3} \text{мкм})^2 \cdot 98 \text{мкм}^{-2}} = 1,2$$

Таким образом, плотность первой мембраны в 1,2 раза больше плотности второй мембраны.



Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)

Задача 5. Сложный оксид

В результате обжига в инертной атмосфере при 1200°C смеси оксалата двухвалентного металла А (белый порошок) и оксалата двухвалентного металла В (розовый порошок), взятых в мольном соотношении 9:1, был синтезирован зелёный порошок соединения С, состоящий из шарообразных наночастиц радиуса 30 нм. Известно, что из 2,0240 г исходной смеси оксалатов образовалось 1,0699 г вещества С, а молярная масса оксалата металла А в 1,8998 раза больше молярной массы соединения С.

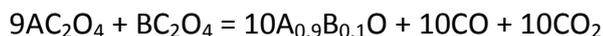
1. Определите металлы А и В, а также состав соединения С. Ответ подтвердите расчётом. **(6 баллов)**
2. Напишите уравнение реакции обжига с образованием наночастиц вещества С. **(1 балл)**
3. Рассчитайте площадь поверхности всего полученного порошка, если плотность соединения С равна 5,65 г/см³. **(3 балла)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 5. Сложный оксид

1. В результате обжига в инертной атмосфере при 1200°C оксалаты разложились до соответствующих оксидов металлов А и В, которые образовали соединение С, то есть сложный оксид состава $A_{0,9}B_{0,1}O$, так как по условию задачи соотношение оксалатов было 9:1. Уравнение реакции:



Чтобы найти атомные массы металлов А (a) и В (b), а также массы оксалатов (x и y), составим систему уравнений, исходя из условий задачи и стехиометрии реакции:

$$\begin{cases} \frac{x}{9(a+12 \cdot 2+16 \cdot 4)} = \frac{y}{b+12 \cdot 2+16 \cdot 4} \\ \frac{x}{9(a+12 \cdot 2+16 \cdot 4)} = \frac{1,0699}{10(0,9a+0,1b+16)} \\ x+y=2,0240 \\ \frac{a+12 \cdot 2+16 \cdot 4}{0,9a+0,1b+16} = 1,8998 \end{cases}$$

Решая систему, находим:

$$x = 1,8293 \text{ г,}$$

$$y = 0,1947 \text{ г,}$$

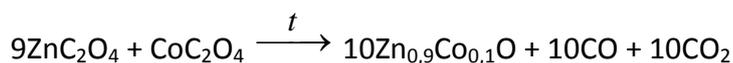
$$a = 65,39 \text{ г/моль,}$$

$$b = 58,90 \text{ г/моль.}$$

Найденные атомные массы соответствуют цинку и кобальту (58,90 г/моль близко также к никелю, но его оксалат имеет зеленоватую, а не розовую окраску).

Таким образом, металл А – Zn, металл В – Co, соединение С – $Zn_{0,9}Co_{0,1}O$.

2. Уравнение реакции:



3. Определим площадь поверхности порошка. Площадь поверхности одной наночастицы равна площади поверхности шара:

$$S_1 = 4\pi R^2$$

Площадь поверхности N таких частиц равна

$$S = 4\pi R^2 N$$

Аналогично, суммарный объём N шарообразных наночастиц равен:

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 N = \frac{m}{\rho} .$$

Следовательно,

$$N = \frac{3m}{4\pi R^3 \rho} .$$

Значит,

$$S = 4\pi R^2 \cdot \frac{3m}{4\pi R^3 \rho} = \frac{3m}{R\rho} = \frac{3 \cdot 1,0699 \text{ г}}{30 \cdot 10^{-7} \text{ см} \cdot 5,65 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}} = 1,89 \cdot 10^5 \text{ см}^2 = 18,9 \text{ м}^2 .$$



Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)

Задача 6. Новое соединение

В химическую лабораторию для подтверждения элементного состава поступил новый образец, представляющий собой белые пластинчатые кристаллы размером до нескольких миллиметров. Согласно заявке, образец представляет собой новое соединение, о котором известно, что оно устойчиво на воздухе в сухих условиях, однако при контакте с этанолом или водой кристаллы окисляются воздухом.

Был проведен рентгенофазовый анализ, показавший весьма сложный вид дифрактограммы для образца. Состав соединения установлен не был.

Образец был термически разложен в токе кислорода. При этом термическая обработка 1,000 мг образца до температуры 500°C привела к образованию черного продукта массой 0,356 мг. Черный осадок не растворяется в воде, однако растворяется в серной кислоте при нагревании, окрашивая раствор в голубой цвет. Остальные элементы, входящие в состав соединения, были удалены в виде газообразных продуктов. Масса элемента с $A_r = 80$ в составе газообразных продуктов составила 0,537 мг.

Образец исходного вещества растворили в концентрированной серной кислоте. Реакция растворения прошла бурно. Образовалась пена, а раствор окрасился в коричневый цвет. Взбалтывание раствора с несколькими каплями бензола приводит к окрашиванию слоя бензола в коричневый цвет и обесцвечиванию водной фазы.

В ЯМР спектре ^{15}N исходного соединения имеется единственный пик при 148 ppm, а в ЯМР на ядрах ^{13}C – три пика: при 146,2 ppm, 142,1 ppm и 127,1 ppm.

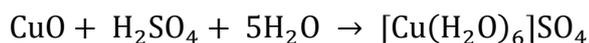
1. Назовите соединение, которое принесли на анализ. Приведите его брутто-формулу. Запишите реакции окисления и термического разложения соединения. **(7 баллов)**
2. Предложите способ синтеза данного соединения. Запишите уравнения реакций, укажите условия их протекания (растворитель, атмосфера, иные условия). **(3 балла)**

Всего – 10 баллов

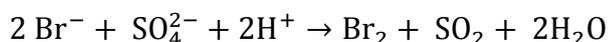


Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 6. Новое соединение

1. Используя информацию о термическом окислении соединения в токе кислорода можно сделать вывод о том, что соединение содержит бром, имеющий молекулярную массу 80. Вторым присутствующим в соединении элементом является медь, образующая твердый продукт черного цвета CuO, взаимодействующий с серной кислотой с образованием раствора голубого цвета, согласно реакции:



При взаимодействии с серной кислотой протекает окисление бромид-иона до брома, выглядящее как «вскипание» раствора, приводящее к окрашиванию раствора в коричневый цвет. Ионное уравнение процесса имеет вид:



При взаимодействии с бензолом происходит экстракция брома в неполярный растворитель с окрашиванием последнего в красновато-коричневый цвет.

Рассчитаем мольное отношение брома и меди, используя информацию о потере массы образцом при испарении брома и массу оксида меди(II):

$$n(\text{Br}):n(\text{Cu}) = \frac{0,000537 \text{ г}}{79,9 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} : \frac{0,000356 \text{ г}}{79,5 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 3 : 2$$

Рассчитаем массу оставшихся элементов:

$$1,0 - 0,537 - 63,5 \cdot 0,356 / 79,5 = 0,179 \text{ мг} = 0,000179 \text{ г.}$$

В составе бромида медь может присутствовать в степенях окисления +1 или +2. В случае Cu⁺² заряд частицы [Cu₂Br₃] будет составлять +1. В случае Cu⁺¹ частица будет анионом с зарядом -1.

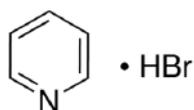
Известно, что соединение содержит азот. В этой связи логично предположить, что речь о катионе с зарядом +1, тогда анионом был бромocupрат Cu₂Br₃⁻. По стехиометрии количество катиона в 3 раза меньше количества брома, откуда находим молярную массу органического катиона:

$$M = \frac{0,000179}{\frac{0,000537}{79,9} / 3} = 80 \text{ г/моль}$$

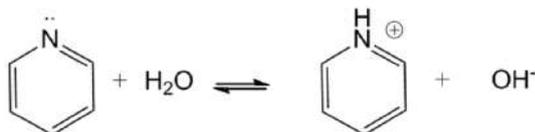
Если речь об первичном алифатическом амине RNH₃⁺, то молекулярная масса радикала R составит 63 г/моль, что соответствует C₅H₃, структуру которого описать сложно. Кроме того, данные спектроскопии ЯМР указывают на присутствие одного типа азота и трех типов углерода в структуре соединения.

Катионом может быть катион пиридиния состава C₅H₅NH⁺.

Соответствующий бромид имеет строение:



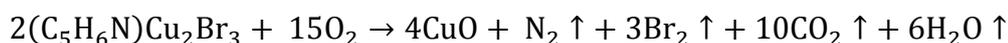
Катион пиридиния образуется при гидролизе согласно реакции:



Гидролиз усиливается в кислой среде, создаваемой бромоводородной кислотой.

Итак, неизвестное соединение – бромocupрат(I) пиридиния $(C_5H_6N)Cu_2Br_3$.

Соединение окисляется избытком кислорода воздуха по реакции:



2. Вещество можно синтезировать реакцией соединения двух бромидов согласно уравнению:



Такая реакция может протекать в инертной атмосфере, в среде абсолютированного этанола, метанола, или иного растворителя, допускающего растворение обоих компонентов. Раствор должен быть подкислен концентрированной HBr. Синтез необходимо проводить в среде инертного газа (аргона) при умеренном нагревании (до 50-60°C).



Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)

Задача 7. Нанонити

С помощью метода гидротермального синтеза учеными был синтезирован новый материал с удельной площадью поверхности более $50 \text{ м}^2/\text{г}$. Электронная микроскопия образца показала, что частицы имеют форму нанонитей длиной более 1 см, толщиной 3-5 мкм (рис. 1). Образец нанонитей имеет желтоватый цвет (рис. 1, вставка).

Для проведения химического анализа навеску вещества попробовали растворить в азотной кислоте, однако она растворилась не полностью, образовав бледно-желтый раствор. Полное растворение произошло лишь при добавлении перекиси водорода, при этом процесс сопровождался бурным выделением газа и изменением цвета раствора на бордовый. Анализ показал присутствие единственного металла в составе материала.

При постепенном нагревании образца материала в токе воздуха до температуры 700°C было показано, что при 370°C потеря массы образцом составляет 4,71% за счет паров воды. Выше 500°C нанонити спекаются, образуя более крупные частицы, однако изменения массы не происходит. При температурах выше 600°C образец приобретает более темную окраску, что может быть вызвано изменением стехиометрии соединения, сопровождающегося постепенной потерей массы за счет удаления кислорода.

При проведении последнего эксперимента был выбран алундовый тигель, так как новый материал способен при нагревании бурно реагировать с алюминием с выделением тепла.

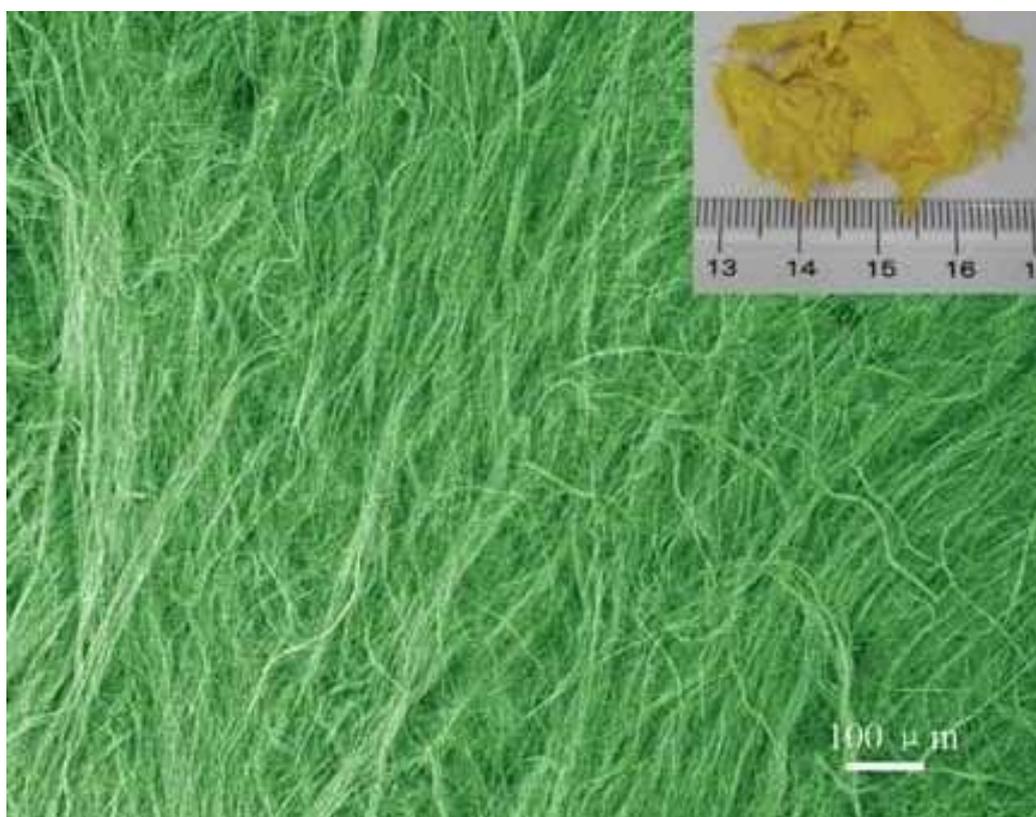


Рис. 1. Микрофотография нанонитей. На вставке – фотография образца материала

1. Предположите состав соединения. Ответ подтвердите расчетом. (4 балла)

2. Напишите уравнения всех упомянутых химических реакций. **(3 балла)**
3. Может ли полученный материал быть перспективен для применения в литий-ионных аккумуляторах? Ответ обоснуйте. **(2 балла)**
4. Предложите возможное практическое применение для нанонитей, покрытых наночастицами золота. **(1 балл)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Решение задачи 7. Нанонити

1. Из условия известно, что при нагревании до 370°C из образца удаляется вода. Рассчитаем молекулярную массу $\text{MX} \cdot \text{H}_2\text{O}$:

$$M = 18 / 0,0471 = 382 \text{ г/моль}$$

Отметим, что вещество обладает окислительными свойствами, так как способно реагировать с алюминием при нагревании. Таким поведением обладают высшие оксиды ряда металлов, а также полигалогениды. Очевидно, что полигалогениды не подходят, так как их разрушение при нагревании происходит в диапазоне температур, где удаляется только структурная вода. В числе оксидов, способных окислить алюминий при повышенных температурах, большое число металлов (см. Алюмотермия или Алюминотермия).

Из условия известно, что оксид медленно растворяется в азотной кислоте, приводя к раствору бледно-желтого цвета. Окрашивание раствора может быть связано с образованием катиона металла. Многие металлы, высшие оксиды которых могут восстанавливаться методом алюмотермии, окрашивают водный раствор за счет образования аква-комплексов.

Важной является информация о том, что растворимость образца повышается при добавлении перекиси водорода, приводящей к образованию бордового раствора. Комплексные соединения с пероксид-анионом O_2^{2-} характерны лишь для нескольких металлов, при этом яркое окрашивание дают титан, ванадий, хром.

Высший оксид ванадия V_2O_5 способен взаимодействовать с перекисью водорода таким образом, что протекает частичное восстановление желтого V(V) до синего V(IV), что и приводит к окрашиванию раствора в бордовые и коричневые цвета. $M(\text{V}_2\text{O}_5) = 182 \text{ г/моль}$. Молярная масса 382 г/моль соответствует 2 молям V_2O_5 и 1 молю воды. Состав нанонитей соответствует формуле $2\text{V}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ или $\text{V}_2\text{O}_5 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$.

2. Растворение гидратированного оксида ванадия протекает по реакции:

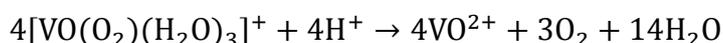


при этом образуется катион VO_2^+ , окрашивающий раствор в желтый цвет.

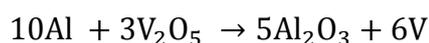
Реакция оксида ванадия с перекисью водорода приводит к образованию комплексного катиона (упрощенная формула VO_3^+):



который в сильноокислой среде восстанавливается до катиона ванадила VO^{2+} :



При взаимодействии нанонитей оксида ванадия с алюминием возможно протекание следующей реакции:



При термической обработке выше 650°C оксид разлагается, что сопровождается изменением цвета и выделением кислорода:



3. В состав продукта гидротермального синтеза нанонитей $V_2O_5 \cdot 0.5H_2O$ входит вода, присутствие которой недопустимо в ячейке. Взаимодействие воды с литиевым электродом приводит к реакции с выделением водорода и теплоты и пассивации анода. По этой причине нанонити не могут применяться в литий-ионных аккумуляторах в полученном виде. В то же время, возможно применение обезвоженного продукта.
4. В химической промышленности продукт дегидратации нанонитей, декорированный наночастицами золота, может быть актуален в процессах конверсии углеводов в реакциях окисления и аммонолиза.

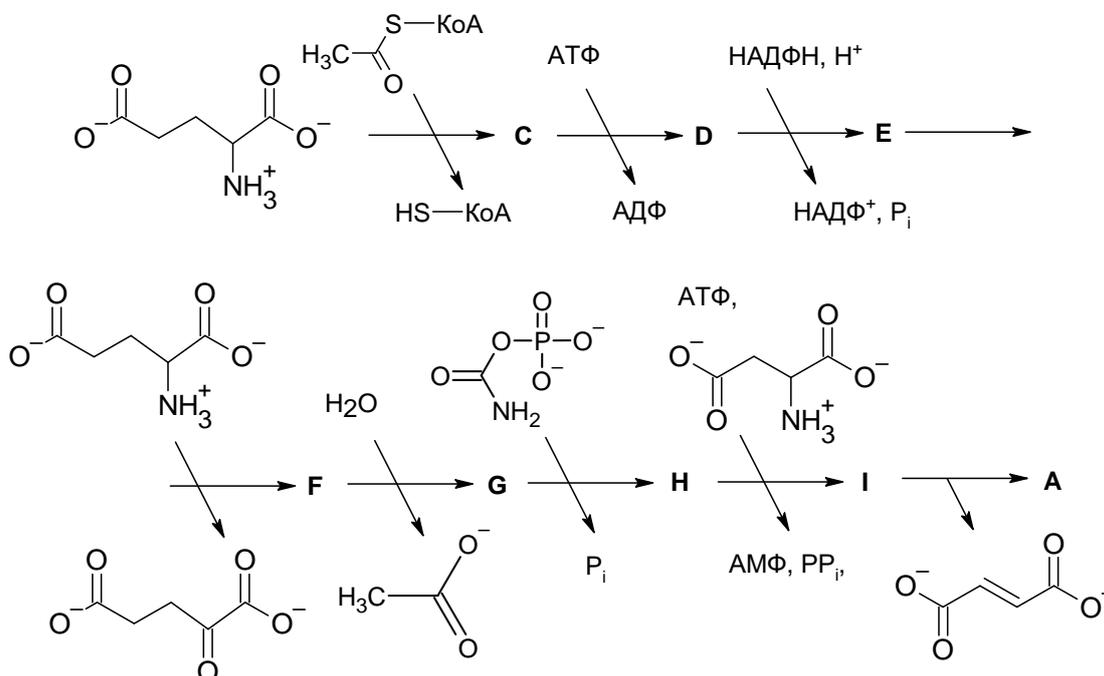


Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)

Задача 8. Дружелюбные белки

Белки выполняют самые разнообразные функции в организме. В ряде случаев они образуют наноразмерные комплексы с представителями других классов биологически важных молекул, причем способность к комплексообразованию, во многом, определяется свойствами боковых заместителей аминокислотных остатков, входящих в состав белка.

Остатки канонических α -аминокислот **A** и **B** входят в состав белков, способствующих правильной упаковке полимерных биомолекул (ПБ), содержащих в своем составе азотистые основания. Путь биосинтеза **A** из глутамата (аниона глутаминовой кислоты) представлен ниже:



1. (4.5 балла) Изобразите структуры **A – I**, если известно, что:

- АТФ, АДФ и АМФ – аденозинтри-, ди- и монофосфат, NADP^+ NADPH – окисленная и восстановленная формы никотинамидадениндинуклеотидфосфата, соответственно, P_i – неорганический фосфат, KoA-SH – кофермент А;
- в **C** присутствует амидная связь;
- в **D** присутствует ангидридная связь;
- фосфорилирование **C** необходимо для активации группы, вступающей в реакции на последующей стадии;
- **G** - неканоническая α -аминокислота, являющаяся гомологом **B** (содержит на одну CH_2 -группу меньше);
- **H** – трикарбоновая аминокислота.

2. **G** может быть получена из **A** в результате одностадийного процесса. Запишите данную реакцию. (0.5 балла)

3. В каком типе взаимодействий участвуют боковые заместители **A** и **B** при образовании комплекса с ПБ? **(0.5 балла)**

Белки, содержащие остатки **A** и **B**, образуют белковый октамер (БО) за счет гидрофобных взаимодействий между субъединицами. БО в первом приближении можно представить в виде куба, который может быть вписан в сферу радиусом 7 нм. При комплексообразовании ПБ «накручивается» на БО, делая 1,8 витка вокруг минимального сечения куба октамера.

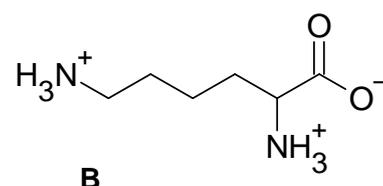
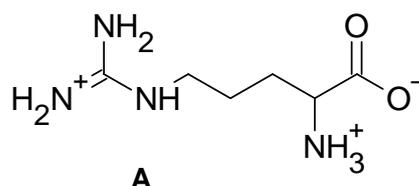
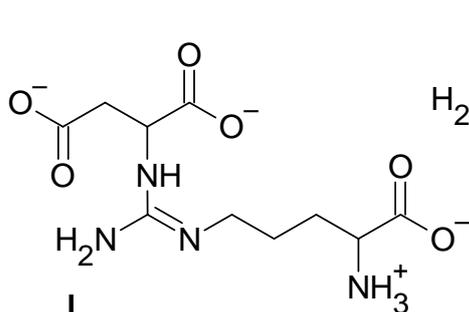
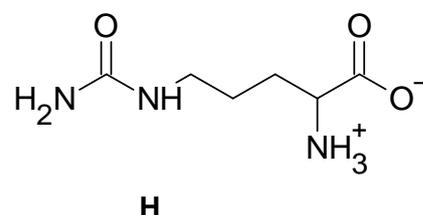
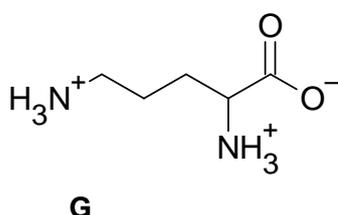
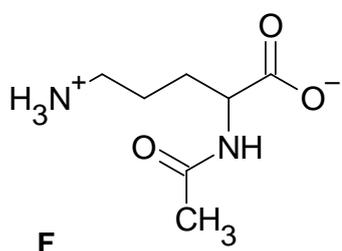
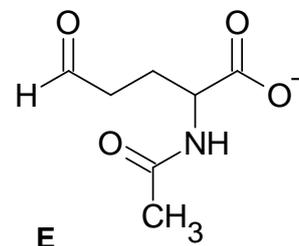
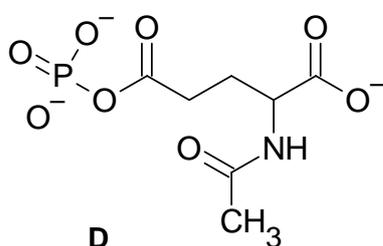
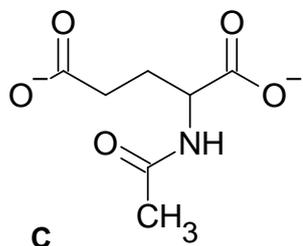
4. Рассчитайте количество контактов между группами ПБ и одного БО, если длина мономерного остатка в ПБ составляет 0.35 нм. **(2 балла)**
5. Помимо взаимодействия с боковыми заместителями остатков **A** и **B**, ПБ контактирует с группами основной цепи белка. Укажите тип связи данных контактов. **(0.5 балла)**
6. Как повлияет на прочность всего комплекса БО и ПБ внесение в систему все возрастающих количеств изопропанола? **(1 балл)**
7. Изобразите общую формулу мономерного звена ПБ (обозначьте азотистое основание как **N**), если при биосинтезе мономера требуются восстановительные эквиваленты NADPH вне зависимости от азотистого основания. **(1 балл)**

Всего – 10 баллов



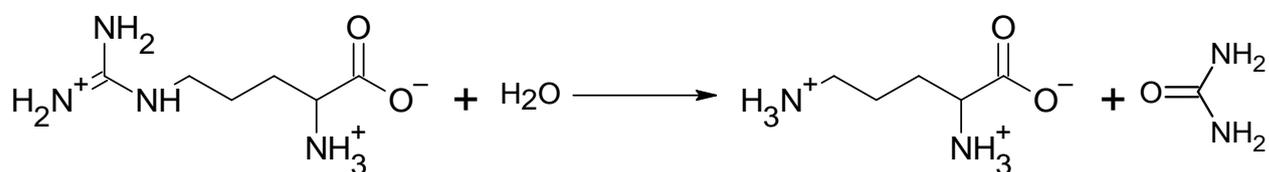
Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Решение задачи 8. Дружелюбные белки

1.



По 1 баллу за структуры A и B, по 0.5 балла за структуры C – I.

2.



3. Электростатическое взаимодействие – образование солевого мостика, ионной пары.

4. Найдем прямоугольное сечение куба, проходящее через два центральносимметричных ребра. Обозначим сторону куба x .

Диагональ грани равна $(2x^2)^{1/2}$. Сечение – прямоугольник со сторонами x и $(2x^2)^{1/2}$. Диагональ этого прямоугольника – диаметр сферы.

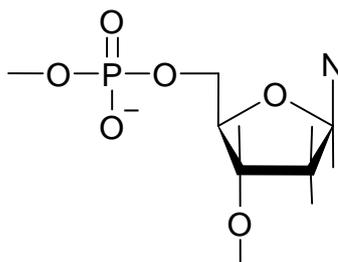
Тогда $2x^2 + x^2 = 196$, $x^2 = 65.3$, $x = 8.1$ нм.

1,8 оборота вокруг сечения: $8.1 \cdot 4 \cdot 1.8 = 58.2$ нм.

Количество контактов равно: $58.2 \text{ нм} / 0.35 \text{ нм} = 166$.

Принимается любой другой разумный расчет.

5. Водородные связи между группами пептидной связи белка и ОН-группами остатка дезоксирибозы.
6. Влияние будет многоплановым. Связи электростатической природы (ионные пары и водородные связи) будут упрочняться, а гидрофобные взаимодействия ослабевать. При какой-то концентрации изопропанола произойдет разрушение октамера и/или разворачивание субъединиц белка, при этом неупорядоченные структуры, поддерживающиеся за счет связей электростатической природы, сохранятся. При определенной концентрации возможно выпадение комплекса в осадок в результате компенсации зарядов при образовании связей ПБ с разными ОБ.
7. Вне зависимости от типа основания, при биосинтезе мономера происходит восстановление. Единственный разумный с точки зрения метаболизма процесс – восстановление D-рибозы до 2'-дезоксид-рибозы, то есть ПБ – ДНК, а белки – гистоны:





Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)

Задача 9. Наночастицы на целлюлозе

Для синтеза наночастиц металла **X** на поверхности целлюлозы можно использовать восстановитель **Y** – вещество белого цвета, растворимое в воде и нерастворимое в эфире. Раствор **Y** в воде неустойчив, и при хранении из него выделяется легкий горючий газ. Этот процесс можно ускорить металлическими катализаторами и использовать в топливных элементах.

Синтез наночастиц проводят так: бумажную салфетку вымачивают в растворимой соли металла **X**, затем промывают в этиловом спирте и помещают в водный раствор вещества **Y**.

Соль металла **X** можно получить растворением 2,00 г металлического **X** в избытке 50%-го раствора азотной кислоты. При этом из полученного раствора максимально можно выделить 3,15 г соли.

Вещество **Y** получают из бесцветной жидкости **Z**, сгорающей на воздухе зеленым пламенем, и гидрида натрия. Массовая доля самого тяжелого элемента в **Y** составляет чуть больше 60%.

1. Определите неизвестные вещества **X**, **Y**, **Z**. Подтвердите расчетами. **(6 баллов)**
2. Запишите уравнения всех описанных реакций. **(3 балла)**
3. Для каких целей может быть использована целлюлоза с нанесенными на нее наночастицами **X**? **(1 балл)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Решение задачи 9. Наночастицы на целлюлозе

1. Из 2,00 г металла можно получить 3,15 г нитрата состава $X(NO_3)_m$.

Из условия $n(M) = n(X(NO_3)_m)$ легко получить:

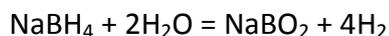
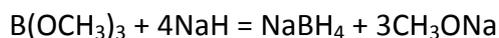
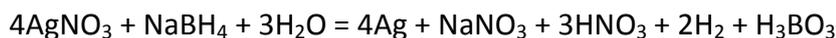
$$M(X) = 107,8m, m = 1, X = Ag.$$

Y – сильный восстановитель, который при взаимодействии с водой выделяет водород. Очевидно, это – один из гидридов. Из условия на массовую долю делаем вывод, что Y – $NaBH_4$. Действительно, $\omega(Na) = 23 / 38 = 0,605 > 60\%$.

Z – триалкилборат $B(OR)_3$, где R = CH_3 или C_2H_5 .

По **2 балла** за каждое вещество (**0 баллов**, если формулы X и Y не подтверждены расчетом).

2. Уравнения реакций (по **0,75 балла**)



3. Целлюлоза с нанесенными на нее наночастицами серебра может быть использована для обеззараживания воды. Засчитывается любое другое разумное применение.



Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)

Задача 10. Превращения наночастиц

Синтез сферических наночастиц **X** проводили путем взаимодействия бесцветной жидкости **A** с водно-этанольным раствором. В ходе реакции концентрация этанола в растворе повысилась, хотя выделения газов не наблюдалось. В результате реакции образовался коллоидный раствор (золь) наночастиц **X** размером от 10 до 100 нм. Полученный золь смешали с водным раствором сахарозы. Полученную смесь обработали ультразвуком, тщательно перемешали и высушили. Сухой остаток представлял собой белый порошок **B**. Его нагревали в атмосфере аргона до тех пор, пока его масса не перестала изменяться. В результате прокаливании порошок приобрел черную окраску (порошок **B**). Его поместили в индукционную вакуумную печь, где нагревали до 700 °С в течение двух часов. Затем порошок отожгли на воздухе при этой же температуре, в результате чего его цвет стал серым. Полученный порошок состоит из наночастиц вещества **Y**.

Вещество **Y** устойчиво к действию большинства кислот, но переходит в раствор под действием смеси азотной и плавиковой кислот. Если к полученный раствор нейтрализовать гидроксидом калия, наблюдается выделение кристаллов **Z**, содержащих 35,45 % самого тяжелого элемента по массе.

1. Определите неизвестные вещества **A**, **B**, **X**, **Y**, **Z**. Подтвердите расчетом. **(5 баллов)**
2. Запишите уравнения всех описанных реакций. **(3 балла)**
3. С чем связано изменение окраски порошка при его отжиге на воздухе? **(0,5 балла)**
4. В каком массовом отношении надо взять сахарозу и порошок **X**, чтобы синтез прошел количественно? **(1 балл)**
5. Для каких целей используют вещество **Y**? **(0,5 балла)**

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Решение задачи 10. Превращения наночастиц

1. Очевидно, что А – этиловый эфир, потому что в ходе реакции с водой количество этанола в растворе растёт. В задаче описан способ синтеза наночастиц SiO₂ (вещество X) из тетраэтоксисилана Si(OC₂H₅)₄ (вещество А). Порошок В – наночастицы SiO₂ на графите, SiO₂/С. При прокаливании углерод восстанавливает SiO₂ до карбида кремния SiC (вещество D). При растворении карбида кремния в смеси азотной и плавиковой кислот образуется кремнийфтороводородная кислота H₂SiF₆, вещество Z – ее калиевая соль K₂SiF₆. Проверяем по массовой доле самого тяжелого элемента:

$$\omega(K) = 2 \cdot 39 / 220 = 0,3545 = 35,45\%,$$

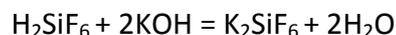
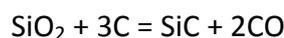
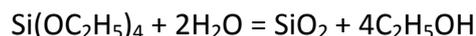
что полностью соответствует условию.

Итого:



(по **1 баллу** за формулу)

2. Уравнения реакций:



(по **1 баллу** за первые три реакции, четвертая не оценивается).

3. При нагревании на воздухе происходит полное выгорание углерода.
4. Для полного восстановления отношение на 1 моль SiO₂ (60 г) надо взять 3 моля C, которые содержатся в 0.25 моль C₁₂H₂₂O₁₁ (85,5 г). Отношение масс 60 : 85,5 0,7 = 7 : 10. То есть, для полного восстановления нужно взять смесь 7 массовых частей SiO₂ и 10 частей сахарозы.
5. SiC (вещество Y) – абразивный материал, наночастицы Y – модифицирующие нанодобавки для чугунов.



Гениальные мысли

Гениальные мысли

Категория участников: школьники 5-11 классов

Конкурс **школьных проектных работ**. Победители отборочного этапа будут приглашены для презентации своего проекта на заключительный этап, который пройдет в рамках Весенней Проектной Школы-конференции (ВПШ'2022) в дистанционном формате. Победители и призеры заключительного этапа будут 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. 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 редактируемого [шаблона в формате docx](#) (файл 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 проходит в 2 этапа:

1. Отборочный - с 1 декабря 2021 по 25 января 2022 включительно

Заочный отбор по результатам оценивания жюри представленного участником автореферата школьного проекта. Объявление победителей отборочного этапа – до 15 февраля 2022.

2. Заключительный - с 10 по 12 марта 2022

Конкурсное (дистанционное) выступление на Весенней Проектной Школе-конференции (ВПШ'2022) с отбором победителей и призеров. Партнер ВПШ'2022 – [Фонд инфраструктурных и образовательных программ](#).

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

Перед отправкой заявки, пожалуйста, внимательно ознакомьтесь с [инструкцией по загрузке работ](#).



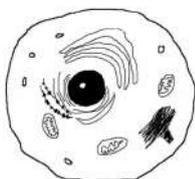


Тест ЗНТШ. Биология

Биология

Категория участников: школьники 5-11 классов

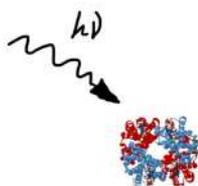
Вопрос №1



Какая клеточная органелла является основным источником активных форм кислорода в клетке?

- Рибосома
- Эндоплазматический ретикулум
- Ядро
- Митохондрия
- Аппарат Гольджи
- Центриоль

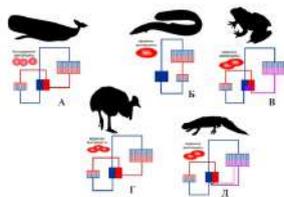
Вопрос №2



Какой свет отражает молекула гемоглобина?

- Фиолетовый
- Синий
- Зеленый
- Желтый
- Оранжевый
- Красный

Вопрос №3



Какая из картинок изображена с ошибкой?

- А
- Б
- В
- Г
- Д

Вопрос №4



Женщина, у отца которого была III группа крови, а у матери – I группа крови, вышла замуж за мужчину с IV группой крови. Какова вероятность того, что от этого брака родится ребенок с IV группой крови (известно, что она существует и не равна нулю)?

- 25%
- 33%
- 50%
- 67%
- 100%

Вопрос №5



С каким процессом связано голубоватое свечение одной очень известной медузы?

Окисление субстрата люциферина ферментом люциферазой и последующее излучение им света.

Связывание белком экворином ионов кальция, переход его простетической группы - целентразина - в возбужденное состояние.

Возбуждение флуоресценции зеленого флуоресцентного белка (GFP) солнечным светом.

Отражение рассеянного в верхних слоях воды голубого света.

Дифракция света на миниатюрных гребных пластинках.

Рассеяние солнечного света на микроскопических включениях карбоната кальция.

Вопрос №6



Какой процесс связан с затратой энергии, полученной в результате расщепления молекулы АТФ?

- Перенос ионов кальция внутрь клетки
- Поглощение света молекулой хлорофилла
- Флуоресценция зеленого флуоресцентного белка
- Присоединение молекулы кислорода гемоглобином
- Окисление в цикле трикарбоновых кислот (цикле Кребса)
- Световая стадия фотосинтеза
- Темновая стадия фотосинтеза (цикл Кальвина)
- Перенос ионов натрия внутрь клетки
- Связывание молекулы ацетилхолина с ацетилхолиновым рецептором

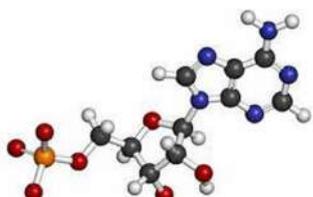
Вопрос №7



При помощи какого метода можно исследовать внутриклеточные сигнальные процессы, связанные с изменением концентрации ионов Ca^{2+} ?

- Сканирующая электронная микроскопия
- Просвечивающая электронная микроскопия
- Иммуноцитохимическое окрашивание клеток антителами
- Флуоресцентная микроскопия со специальными сенсорами
- Наблюдение клеток в отраженном свете

Вопрос №8



Какие клетки получают АТФ преимущественно в результате окислительного фосфорилирования?

Клетки печени

Нейроны
Раковые клетки
Эндотелиальные клетки сосудов
Бактерии, живущие в кишечнике человека

Вопрос №9



Приспособление к полету у летучего дракона *Draco volans* и летучей рыбы *Cheilopogon heterurus* является примером:

гомотопии
гомологии
анalogии
анизоморфизма

Вопрос №10



Метаногенез архей это:

хемосинтез
аэробное дыхание
анаэробное дыхание
брожение



Тест ЗНТШ. Биология (отборочный этап) Решение

1. Ответ: митохондрия

Основной источник активных форм кислорода в клетках – это митохондрии. В условиях, когда в дыхательной цепи замедляется электронный транспорт, возможен перенос электрона с первого или третьего комплексов на кислород с образованием супероксид-анион радикала (O_2^-), который в дальнейшем переходит в перекись водорода H_2O_2 и другие активные формы кислорода.

2. Ответ: красный

Гемоглобин поглощает свет в синей и зеленой областях видимого спектра и совсем не поглощает красный свет (отражает его), поэтому мы видим раствор гемоглобина, эритроциты и кровь красного цвета.

3. Ответ: Д

Д, потому что на этом рисунке изображены кровеносная система рептилии и животное тритон, а тритоны – земноводные.

4. Ответ: 25%

Женщина имеет группу крови III (B0) (у ее отца группа крови B0 или BB, у матери – 00, соответственно при третьей группе крови у женщины генотип может быть только B0). Рассчитываем возможные генотипы ее детей, если у мужа группа крови AB (IV группа): AB (25%), B0 (25%), BB (25%) и A0 (25%). То есть с вероятностью 25% родится ребенок с IV группой крови (генотип AB), с вероятностью 50% - ребенок с III группой крови (генотипы BB и B0) и с вероятностью 25% - ребенок со II группой крови (генотип A0).

5. Ответ: связывание белком экворинном ионов кальция, переход его простетической группы - целентразина - в возбужденное состояние

Свечение этой медузы – эквореи *Aequorea victoria* – связано с тем, что в ее белке экворине содержится простетическая группа целентеразин, которая при связывании ионов Ca^{2+} испытывает конформационный переход и внутримолекулярно окисляется гидропероксидом до CO_2 и целентерамида, испускающего свет в синей области, что и определяет голубое свечение медузы.

6. Ответ: темновая стадия фотосинтеза (цикл Кальвина)

Из всех перечисленных вариантов только во время темновой фазы фотосинтеза происходят процессы, требующие энергию АТФ – это цикл реакций (цикл Кальвина), в результате которых осуществляется фиксация CO_2 с образованием углеводов. Остальные перечисленные процессы протекают или без затраты АТФ, или связаны с образованием АТФ.

7. Ответ: флуоресцентная микроскопия со специальными сенсорами

Исследование процессов перераспределения ионов Ca^{2+} в цитоплазме и изменения содержания Ca^{2+} возможно только при помощи низкомолекулярных флуорофоров, связывающих Ca^{2+} , или при помощи белков-сенсоров, которые избирательно связывают Ca^{2+} , изменяя при этом спектр поглощения и/или спектр флуоресценции.

8. Ответ: нейроны

Из всех перечисленных клеток именно нейроны требуют максимального количества АТФ для обеспечения своих функций. Такое количество АТФ могут обеспечить только митохондрии, в которых АТФ образуется в результате окислительного фосфорилирования.

9. Ответ: аналогии

По определению, аналогия – это сходство каких-либо структур или функций, не имеющих общего происхождения. Приспособления к полету у летучего дракона и летучей рыбы появились в результате процессов независимой эволюции для приспособления к такому типу перемещения.

10. Ответ: анаэробное дыхание

Метаногенез – это процесс образования метана анаэробными археями, сопряжённый с переносом электронов по электронтранспортной цепи с получением энергии в виде трансмембранного градиента протонов или ионов натрия, который в дальнейшем переводится в энергию связей АТФ с использованием Н-транспортирующей АТФ-синтазы или Na-зависимой АТФ-синтазы. Метаногенез называют анаэробным дыханием, поскольку транспорт электронов идет по цепи переносчиков электронов (как и при «дыхании» в митохондриях), но при этом конечным акцептором электронов является не молекула O_2 , а CO_2 или различные низкомолекулярные органические соединения (например, метанол, ацетат, метиламины и др.).

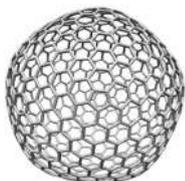


Тест ЗНТШ. Математика

Математика

Категория участников: школьники 5-11 классов

Вопрос №1



Сколько шестиугольников в фуллерене 2022?

20

30

60

1000

1001

2002

2022

среди ответов нет правильного

Вопрос №2



Как изменится величина удельной площади поверхности некоторого материала при уменьшении размера составляющих его кубических частиц от 1 см до 50 нм?

уменьшится в 200 тысяч раз

уменьшится в 500 тысяч раз

уменьшится в 2 миллиона раз

увеличится в 200 тысяч раз

увеличится в 500 тысяч раз

увеличится в 2 миллиона раз

не изменится

среди ответов нет правильного

Вопрос №3

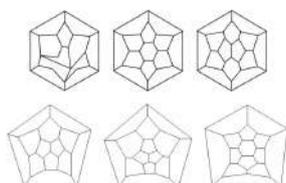


Сколько вариантов последовательности аминокислотных остатков имеет полипептид, в котором 3 аминокислотных остатка представлены аминокислотой А, а 2 – аминокислотой В? Рассматривать полипептид как строчку, имеющую начало и конец.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10

среди ответов нет правильного

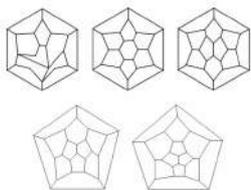
Вопрос №4



На рисунке представлены 6 проекций Шлегеля для некоторых многогранников. Сколько из них отвечают фуллеренам?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- все
- ни одна

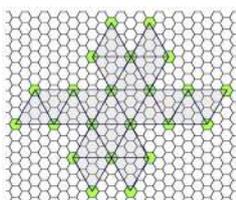
Вопрос №5



Одному и тому же фуллерену может отвечать несколько отличающихся друг от друга проекций Шлегеля. Скольким разным фуллеренам отвечают проекции, представленные на рисунке?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- ни одному

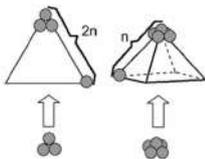
Вопрос №6



На рисунке представлена развертка икосаэдрического фуллерена. Из скольких атомов углерода состоит его каркас?

- 60
- 92
- 120
- 240
- 284
- 360
- среди ответов нет правильного

Вопрос №7



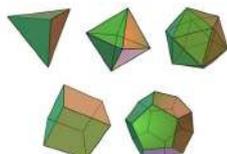
Если разобрать модели двух треугольных кластеров (слева), на ребро каждого из которых приходится по $2n$ шариков, то из этих шариков можно собрать без остатка три модели кластеров в виде квадратных пирамид (справа), на ребро каждой из которых будет приходиться по n атомов. Найдите n .

- 1

2
3
4
5
6
7

решения не существует
среди ответов нет правильного

Вопрос №8



Какие из утверждений верны?

1. Теорема Эйлера для выпуклых многогранников выполняется для любого существующего фуллерена.
2. Из теоремы Эйлера для выпуклых многогранников следует, что любой фуллерен содержит 12 пятиугольников.
3. Теорема Эйлера для выпуклых многогранников верна, только если грани многогранника являются правильными многоугольниками.

1
2
3
1 и 2
1 и 3
2 и 3

все утверждения верны
ни одно из утверждений не верно

Вопрос №9



Если каждую из из четырех «букв» РНК – **A, C, G, U** – закодировать минимально необходимым числом бит, то сколько разных последовательностей букв РНК может отвечать двоичному коду 01 10 11 00?

1
2
4
6
16

24

64

среди ответов нет правильного

Вопрос №10



Рассмотрим три наночастицы, которые имеют форму: шара диаметром d_1 , куба с длиной ребра d_2 и цилиндра с высотой равной его диаметру d_3 . При равной плотности и величине удельной площади поверхности (в $\text{м}^2/\text{г}$) для таких наночастиц выполняются следующие соотношения:

$$d_1 > d_2, d_1 > d_3$$

$$d_2 > d_1, d_2 > d_3$$

$$d_3 > d_1, d_3 > d_2$$

$$d_1 = d_2 > d_3$$

$$d_2 = d_3 > d_1$$

$$d_1 = d_3 > d_2$$

$$d_1 = d_2 = d_3$$



Тест ЗНТШ. Математика (отборочный этап)
Решение

1. Ответ: 1001

По теореме Эйлера для выпуклых многогранников, состоящих из пяти- и шестиугольников, сходящихся в вершинах по 3 (см. лекцию ЗНТШ по математике):

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

где

$$\text{число вершин } V = 5/3F_5 + 6/3F_6,$$

$$\text{число ребер } E = 5/2F_5 + 6/2F_6,$$

$$\text{число граней } F = F_5 + F_6.$$

Объединяя, получаем

$$5/3F_5 + 6/3F_6 - 5/2F_5 - 6/2F_6 + F_5 + F_6 = 2$$

$$F_5 = 12$$

Тогда

$$V = 20 + 2F_6$$

$$F_6 = 0,5V - 10 = 0,5 \cdot 2022 - 10 = 1001$$

2. Ответ: увеличится в 200 тысяч раз

Запишем выражение для вычисления удельной площади поверхности для частицы в форме куба со стороной a , изготовленного из материала с плотностью ρ :

$$S_{уд} = \frac{S}{m} = \frac{S}{V\rho} = \frac{6a^2}{a^3\rho} = \frac{6}{a\rho}.$$

При изменении длины ребра куба от $a_1 = 1$ см до $a_2 = 50$ нм удельная площадь поверхности увеличивается в

$$\frac{S_{уд2}}{S_{уд1}} = \frac{6a_1\rho}{6a_2\rho} = \frac{a_1}{a_2} = \frac{10^{-2}}{50 \cdot 10^{-9}} = 200000.$$

3. Ответ: 10

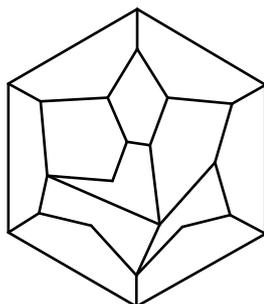
Нам необходимо найти, сколькими способами можно разместить 2 остатка аминокислоты В в пептиде длиной $3 + 2 = 5$:

$$C_{3+2}^2 = \frac{5!}{(5-2)!2!} = \frac{120}{6 \cdot 2} = 10.$$

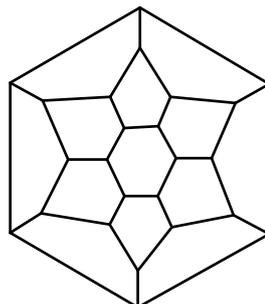
4. **Ответ: 5**

Фуллерен – каркасная углеродная молекула, представляющая собой выпуклый многогранник, состоящий из правильных пяти- и шестиугольников, сходящихся в каждой вершине по три.

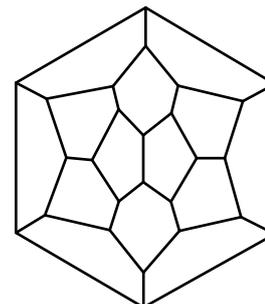
Многогранник, представленный на проекции А, не является фуллереном, так как имеются вершины, в которых сходятся по 2 или 4 ребра (многоугольника). Многогранники, представленные на остальных пяти проекциях, отвечают определению фуллерена.



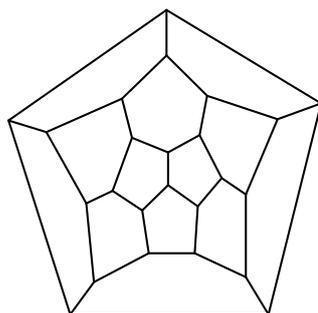
А



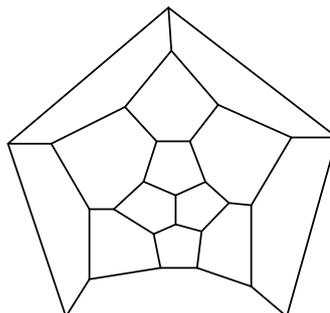
Б



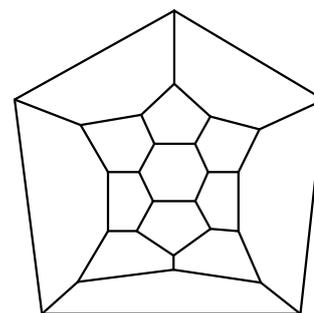
В



Г



Д



Е

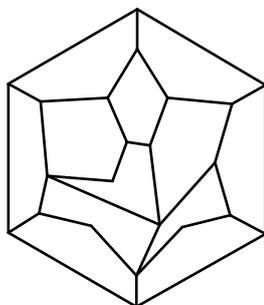
5. **Ответ: 2**

Рассчитаем число вершин в каждом из многогранников, представленных на проекциях:

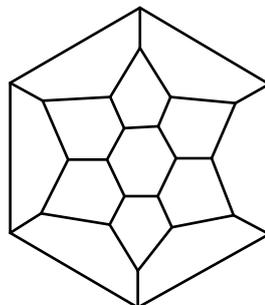
- А – фуллереном не является (см. вопрос 4),
- Б – 24,
- В – 26,
- Г – 24,
- Д – 26,
- Е – 26.

Поскольку углеродные молекулы состава C_{24} и C_{26} имеют по одной отвечающей им фуллереновой структуре (см. лекцию ЗНТШ по математике), то на рисунках Б – Е представлены только два фуллерена, просто спроецированные на разные грани.

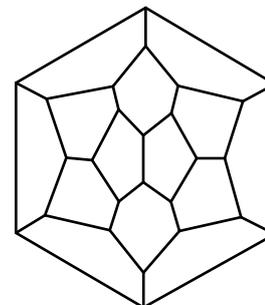
Это же можно увидеть, закрасив на представленных проекциях только пятиугольные грани и изучив взаимное расположение пяти- и шестиугольников или построив модели соответствующих многогранников из подручных материалов.



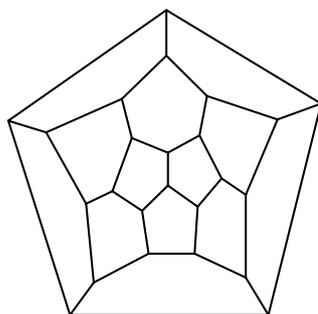
А



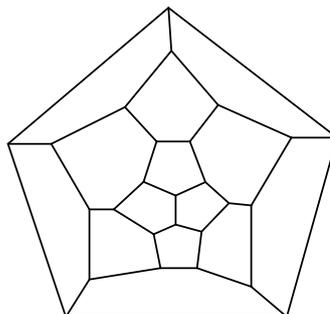
Б



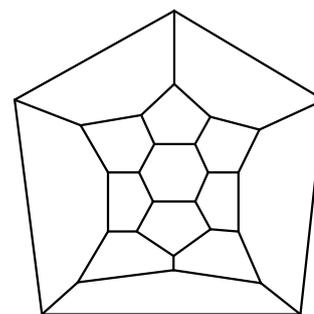
В



Г



Д



Е

6. Ответ: 240

Развертка икосаэдра состоит из 20 одинаковых равносторонних треугольных граней, на каждый треугольник при этом приходится

6 (в плоскости треугольника) + 12 (на ребре треугольника) · 0,5 = 12 атомов углерода.

Всего в фуллерене тогда $20 \cdot 12 = 240$ атомов.

7. Ответ: 3

Общее число шариков в модели треугольного кластера равно:

$$T(m) = \sum_1^m k = \frac{(m)^2 + m}{2} \text{ (см. лекцию ЗНТШ по математике).}$$

Если на его ребро приходится $2n$ шариков:

$$T(2n) = \frac{(2n)^2 + 2n}{2} = 2n^2 + n.$$

В свою очередь, общее число шариков в модели кластера в форме квадратной пирамиды составляет:

$$P(m) = \sum_1^m k^2 = \frac{2m^3+3m^2+m}{6} \text{ (см. лекцию ЗНТШ по математике).}$$

Если на ее ребро приходится n шариков:

$$P(n) = \frac{2n^3+3n^2+n}{6}.$$

По условию,

$$2T(2n) = 3P(n).$$

Тогда

$$2(2n^2 + n) = 3 \frac{2n^3 + 3n^2 + n}{6}$$

$$8n^2 + 4n = 2n^3 + 3n^2 + n$$

$$2n^3 - 5n^2 - 3n = 0$$

Решая полученное квадратное уравнение, получаем два корня, $n = -0,5$ и $n = 3$. Поскольку число шариков, приходящихся на ребро модели, не может быть отрицательным, то решением является $n = 3$.

8. Ответ: 1 и 2

1 – верно, поскольку любой фуллерен является выпуклым многогранником.

2 – верно (см. ответ на вопрос 1, а также лекцию ЗНТШ по математике)

3 – неверно, теорема выполняется для любого выпуклого многогранника (см. лекцию ЗНТШ по математике).

9. Ответ: 24

Два бита двоичного кода кодируют одну из четырех нуклеотидных «букв» (см. лекцию ЗНТШ по математике). Первому коду (01) можно сопоставить одну из четырех возможных «букв», второму (10) – одну из оставшихся трех, третьему (11) – одну из двух, а четвертому (00) – последнюю, не выбранную ранее, «букву». То есть, всего возможно

$$4! = 24$$

варианта расшифровки приведенного в условии кода.

10. Ответ: $d_1 = d_2 = d_3$

Запишем формулы для расчета удельной площади поверхности для наночастиц каждой формы:

$$\text{шар } S_{\text{удшар}} = \frac{S_{\text{шар}}}{m} = \frac{S_{\text{шар}}}{V_{\text{шар}}\rho} = \frac{4\pi(d_1/2)^2}{(4/3)\pi(d_1/2)^3\rho} = \frac{6}{d_1\rho}$$

$$\text{куб } S_{\text{удкуб}} = \frac{S_{\text{куб}}}{m} = \frac{S_{\text{куб}}}{V_{\text{куб}}\rho} = \frac{6d_2^2}{d_2^3\rho} = \frac{6}{d_2\rho}$$

$$\text{цилиндр } S_{\text{удцил}} = \frac{S_{\text{цил}}}{m} = \frac{S_{\text{цил}}}{V_{\text{цил}}\rho} = \frac{2\pi(d_3/2)^2 + \pi d_3 d_3}{\pi(d_3/2)^2 d_3 \rho} = \frac{2d_3^2 + 4d_3^2}{d_3^3 \rho} = \frac{6}{d_3 \rho}$$

Выражая из этих формул линейные размеры, получаем:

$$S_{\text{удшар}} = S_{\text{удкуб}} = S_{\text{удцил}}$$

$$\frac{6}{d_1\rho} = \frac{6}{d_2\rho} = \frac{6}{d_3\rho}$$

$$d_1 = d_2 = d_3$$



Тест ЗНТШ. Химия

Химия

Категория участников: школьники 5-11 классов

Вопрос №1



Какова брутто-формула оксида графена, если для полного сгорания 308 мг этого материала необходимо 300 мл кислорода (условия нормальные)?

Ссылка на рисунок: *Raul Guerrero-Aviles and Walter Orellana. Energetics and diffusion of liquid water and hydrated ions through nanopores in graphene: ab initio molecular dynamics simulation// Phys. Chem. Chem. Phys., 2017, 19, 20551-20558.*

CO

C₂O

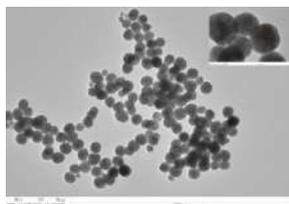
C₂O₅

C₃O₂

C₅O₂

C₃O₁₁

Вопрос №2



В результате восстановления 1,9 г соединения X было получено 1,1 г наночастиц золота. Определите формулу вещества X.

Ссылка на рисунок: *Feng Chen, Yanwei Wang, Jun Ma and Guangcan Yang. A biocompatible synthesis of gold nanoparticles by Tris(hydroxymethyl)aminomethane// Nanoscale Research Letters, 2014, 9, 220, 1-6.*

AuI
AuCl₃
HAuCl₄
[Au(NH₃)₄](NO₃)₃
K[Au(CN)₂]
Cu₃Au

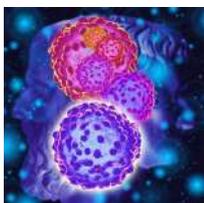
Вопрос №3



Нанопорошок алюминия, в отличие от слитков алюминия, ...

встречается в природе
плавится при высокой температуре
сгорает на воздухе
растворяется в бензине
не растворяется в кислотах
взрывается даже в вакуумированной ампуле

Вопрос №4



Какое вещество может иметь графеноподобную структуру?

диоксид кремния
дисульфид молибдена
нитрид натрия
хлорид алюминия
фторид бора
карбид кальция

Вопрос №5



Взрывчатыми свойствами обладает(ют)

нанопорошок железа
многослойные углеродные нанотрубки
нанопена из частиц алюминия и оксида железа(III)
нанопроволоки карбида железа
аэрогель диоксида кремния

Вопрос №6



У каких объектов из приведенного ниже перечня два характеристических размера лежат в нанодиапазоне (от 1 до 100 нм), а третий размер существенно больше?

- (1) нанотрубки
- (2) нанопроволоки
- (3) нановискеры
- (4) квантовые точки
- (5) нанопена
- (6) наноалмаз

только 1

только 2

только 4

1, 4

1, 2, 3

у всех

ни у каких

Вопрос №7



Концентрация наночастиц золота в коллоидном растворе составляет $9.2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Средний диаметр наночастиц – 6 нм, плотность золота – 19.3 г/см^3 . Сколько граммов золота содержится в одном литре такого раствора?

0.002

0.016

0.01

1

2

16

Вопрос №8



Какое вещество из перечисленных ниже обладает наибольшей удельной поверхностью?

фуллерен C₆₀

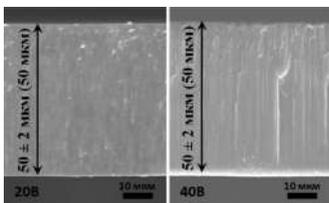
графен

наночастицы диоксида титана диаметром 7 нм

наночастицы палладия диаметром 5 нм

наночастицы алмаза диаметром 10 нм

Вопрос №9



Известно, что толщину плёнок анодного оксида алюминия можно контролировать кулонометрически непосредственно в процессе синтеза. На чём основан этот метод?

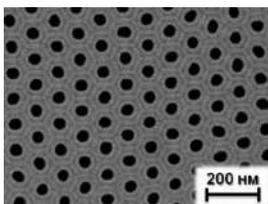
На определении удельного сопротивления оксида алюминия.

На определении количества затраченного электричества и на законе Фарадея.

На определении плотности полученной оксидной пленки.

На определении электрического заряда полученной оксидной пленки по закону Кулона.

Вопрос №10



На рисунке представлена микрофотография мембраны из анодного оксида алюминия. Что из перечисленного ниже можно разделить с помощью такой мембраны?

Растворенные в воде хлорид калия и бромид натрия.

Концентрированную соляную кислоту и содержащуюся в ней взвесь песчинок размером 300 нм.

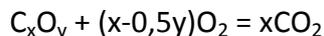
Растворенные в бензоле иод и фуллерен C₆₀.

Раствор хлорида натрия и содержащуюся в нем взвесь наночастиц CdS размером 150 нм.



Тест ЗНТШ. Химия (отборочный этап)
Решение

1. Ответ: C₅O₂



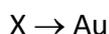
$$n(O_2) : n(C_xO_y) = x - 0,5y$$

$$(300/22,4) : (308/(12x+16y)) = x - 0,5y$$

$$x = 2,5y$$

$$y = 2, x = 5$$

2. Ответ: HАuCl₄



$$n(X) = n(Au)$$

$$M(X) : M(Au) = 1,9 : 1,1$$

$$M(X) = 340 \text{ г/моль} - \text{HАuCl}_4$$

3. Ответ: сгорает на воздухе

Алюминий при нагревании на воздухе плавится, но не сгорает, так как концентрация кислорода недостаточно велика. Площадь поверхности нанопорошка алюминия настолько высока, что он реагирует даже с кислородом воздуха.

4. Ответ: дисульфид молибдена

MoS₂ – вещество со слоистой структурой. Как и графит, оно состоит из гексагональных слоев, однако в монослое оказывается не один лист, а три – два слоя атомов серы, между которыми расположен слой атомов молибдена.

5. Ответ: нанопена из частиц алюминия и оксида железа(III)

В нанопене из частиц алюминия и оксида железа(III) возможна реакция алюмотермии, которая в условиях высокой удельной поверхности протекает с огромной скоростью и имеет взрывной характер.

6. Ответ: 1, 2, 3

Квантовые точки и наноалмаз – это нанокристаллы, имеющие близкие размеры во всех трех измерениях, а нанопена состоит из графитоподобных слоев, в которых два размера находятся за пределами нанодиапазона. Остальные три варианта ответов – правильные.

7. Ответ: 2

В одном литре раствора - $9.2 \cdot 10^{17}$ коллоидных частиц.

Средний объем одной частицы: $\pi d^3/6 = 1.1 \cdot 10^{-19} \text{ см}^3$.

Общий объем золота в одном литре раствора: $9.2 \cdot 10^{17} \cdot 1.1 \cdot 10^{-19} = 0.1 \text{ см}^3$.

Масса золота: $0.1 \text{ см}^3 \cdot 19.3 \text{ г/см}^3 = 1.93 \text{ г} \approx 2 \text{ г}$.

8. Ответ: графен

Удельная поверхность графена – около $1300 \text{ м}^2/\text{г}$ (с одной стороны). Удельную поверхность сферических наночастиц диаметра d можно оценить по формуле

$$S_{\text{уд}} = 6/(\rho d),$$

где ρ – плотность.

Для диоксида титана расчет по этой формуле дает $200 \text{ м}^2/\text{г}$, у палладия и алмаза – еще меньше. Если взять одну молекулу фуллерена C_{60} (диаметр – 0.7 нм), то отношение площади многогранника к массе атомов углерода будет близко к $1300 \text{ м}^2/\text{г}$, однако одна молекула – это еще не вещество. Твердое вещество, состоящее из молекул C_{60} – фуллерит – имеет значительно меньшую удельную поверхность, которая зависит от размера его частиц, но при любых размерах – меньше значения для одной молекулы. Таким образом, удельная поверхность графена – наибольшая.

9. Ответ: на определении количества затраченного электричества и на законе Фарадея.

Оксидная пленка образуется при окислении алюминия кислородом, выделяющимся на алюминиевом аноде при электролизе раствора серной кислоты. Согласно закону Фарадея, количество кислорода, a , следовательно, и толщина пленки, пропорционально количеству электричества, прошедшего через раствор. Последняя величина и контролируется кулонометрически.

10. Ответ: раствор хлорида натрия и содержащуюся в нём взвесь наночастиц CdS размером 150 нм.

С помощью мембраны из оксида алюминия можно разделить раствор от содержащихся в нём частиц, размер которых превышает диаметр пор. Судя по рисунку, диаметр пор составляет менее 100 нм , поэтому KCl и $NaBr$, а также I_2 и C_{60} разделить нельзя. Кроме того, мембрана не должна разрушаться в процессе фильтрации. Так как в концентрированной соляной кислоте она растворится, то разделить можно только раствор $NaCl$ и наночастицы CdS размером 150 нм .

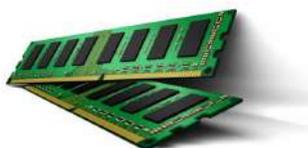


Тест ЗНТШ. Физика

Физика

Категория участников: школьники 5-11 классов

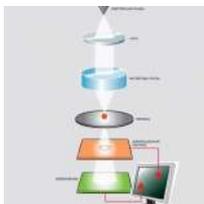
Вопрос №1



Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) содержит большое число миниатюрных конденсаторов. Расстояние между обкладками каждого из них заполнено 150 тонкими слоями материала с высоким значением диэлектрической проницаемости. Электрическая ёмкость такого конденсатора равна $C = 9$ нФ. Какой станет C , если число слоёв уменьшить до 50?

- 3 нФ
- 9 нФ
- 27 нФ
- 72 нФ
- 81 нФ

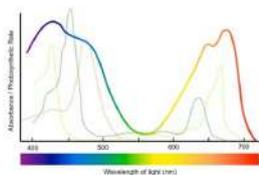
Вопрос №2



Согласно гипотезе Де-Бройля, электрон может быть описан волной. Какова длина волны электрона в просвечивающем микроскопе, если его кинетическая энергия $E = 2 \cdot 10^{-15}$ Дж?

- 0,01 нм
- 0,1 нм
- 1 нм
- 10 нм
- 100 нм

Вопрос №3



При исследовании спектров пропускания тонких нанопленок используется призмный монохроматор. Какие лучи, падающие на кварцевую призму, преломляются сильнее?

- Фиолетовые
- Ультрафиолетовые
- Инфракрасные
- Красные
- Зеленые
- Желтые

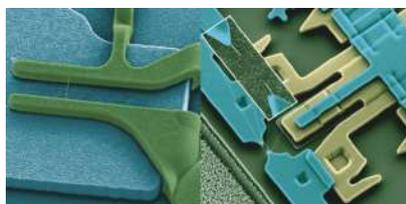
Вопрос №4



При напылении тонких пленок из баллона выпустили 25% газа. Каким станет давление газа в баллоне, если исходное давление обозначить P ? Температура постоянна.

- $1/4 P$
- $3/4 P$
- P
- $4/3 P$
- $5/4 P$

Вопрос №5

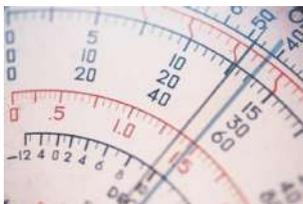


Радиопередатчик в портативном устройстве содержит наноразмерный колебательный контур. В этом контуре сила тока меняется по гармоническому закону. Амплитуда $I_0 = 100$ мА, частота $\nu = 100$ Гц, начальная фаза равна нулю. Чему будет равна сила тока в момент времени $t_1 = 0,0225$ с?

- 2,25 мА
- 2,25 мА
- 0 мА

25 мА
 -25 мА

Вопрос №6



Сопротивление нанопровода при 0°C равно 1 кОм, а при температуре 25°C – 1,15 кОм. Этот материал:

- полупроводник
- диэлектрик
- сверхпроводник
- проводник

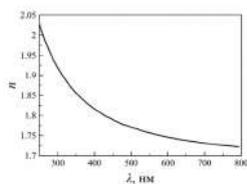
Вопрос №7



Магнитная наночастица массой $m = 10^{-20}$ г оказывается в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0.1$ Тл. Заряд наночастицы $q = 1.9 \cdot 10^{-17}$ Кл, начальная скорость $v = 100$ м/с перпендикулярна вектору магнитной индукции. Какая скорость будет у наночастицы через $t = 0.1$ с?

- 10^{-20} м/с
- 50 м/с
- 100 м/с
- 150 м/с
- 200 м/с
- 10^4 м/с

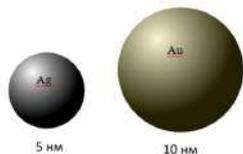
Вопрос №8



Луч света распространяется из пленки оксида иттрия (Y_2O_3) в воздух. Какого цвета должен быть луч света, чтобы при падении на границу раздела под углом $\alpha = 35^\circ$ он выходил наружу? Зависимость показателя преломления n пленки Y_2O_3 от длины волны λ представлена на рисунке.

синий
желтый
красный
зеленый
любого цвета

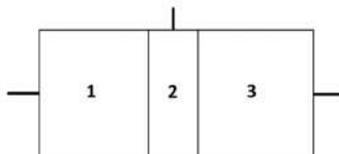
Вопрос №9



Серебряная (Ag) и золотая (Au) наночастицы с диаметрами 5 и 10 нм, соответственно, имеют одинаковый заряд. Как и во сколько раз напряженность поля на поверхности наночастицы Ag отличается от напряженности поля на поверхности наночастицы Au?

в 2 раза больше
в 2 раза меньше
в 4 раза больше
в 4 раза меньше
не отличается

Вопрос №10



В процессоре современного вычислительного устройства используются наноразмерные транзисторы. Для получения такого транзистора кремний легировали различными примесями: области 1 и 3 – атомами алюминия, область 2 – атомами мышьяка (рис. 3). Какой тип проводимости в области 2, и как эта область называется?

дырочная, база
дырочная, эмиттер
дырочная, коллектор
электронная, база
электронная, эмиттер
электронная, коллектор



Тест ЗНТШ. Физика (отборочный этап)
Решение

1. Ответ: 27 нФ

Ёмкость плоского конденсатора

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

Толщина уменьшилась в 3 раза, значит, ёмкость в 3 раза возрастёт.

2. Ответ: 0,01 нм

Длина волны Де-Бройля

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2m_{\text{электрона}}E}}$$

3. Ответ: ультрафиолетовые

Ультрафиолетовые лучи проходят сквозь кварцевую призму, а преломляются сильнее фиолетовых.

4. Ответ: 3/4 P

$$p = nkT,$$

концентрация уменьшилась на четверть, значит и давление на столько же.

5. Ответ: 0 мА

Гармонический закон без начальной фазы:

$$I(t) = I_0 \cos(\omega t) \text{ или } I(t) = I_0 \sin(\omega t),$$

$$\text{период } T = \frac{1}{\nu} = 0.01 \text{ с.}$$

В момент t_1 пройдет 2.25 периода, т. е. ток достигнет либо максимального значения, либо 0. В вариантах ответа с максимальным значением нет, значит 0.

6. Ответ: проводник

Сопротивление растёт с температурой, следовательно, это – проводник.

7. Ответ: 100 м/с

Частица будет двигаться по окружности с постоянной по модулю скоростью 100 м/с. Поправка на действие силы тяжести пренебрежимо мала.

8. Ответ: красный

Угол полного внутреннего отражения связан с показателем преломления:

$$n = \frac{1}{\sin(\beta)} \approx 1.74.$$

При больших значениях n луч не будет выходить наружу.

9. Ответ: в 4 раза больше

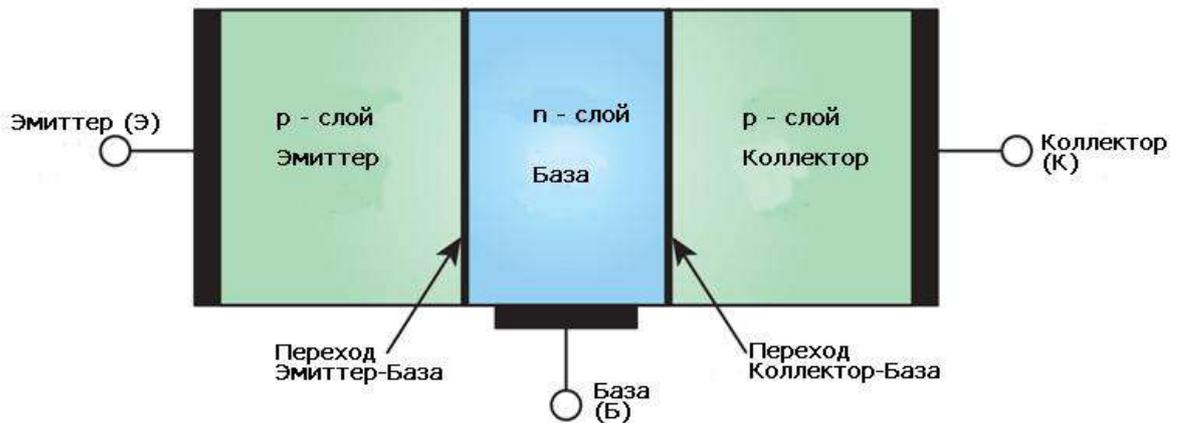
Напряженность на поверхности сферического проводника

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}.$$

Радиусы отличаются в 2 раза, следовательно, напряженности в 4.

10. Ответ: электронная, база

Алюминий – элемент 3 группы, это дает р-тип проводимости, а мышьяк – элемент 5 группы — это дает n-тип проводимости.



ENANOS.NANOMETER.RU

XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА "НАНОТЕХНОЛОГИИ - ПРОРЫВ В БУДУЩЕЕ"!

Организатор



**МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА**

Партнер



Иннопрактика

