

-NANO>XII

НАНОТЕХНОЛОГИИ - ПРОРЫВ В БУДУЩЕЕ!

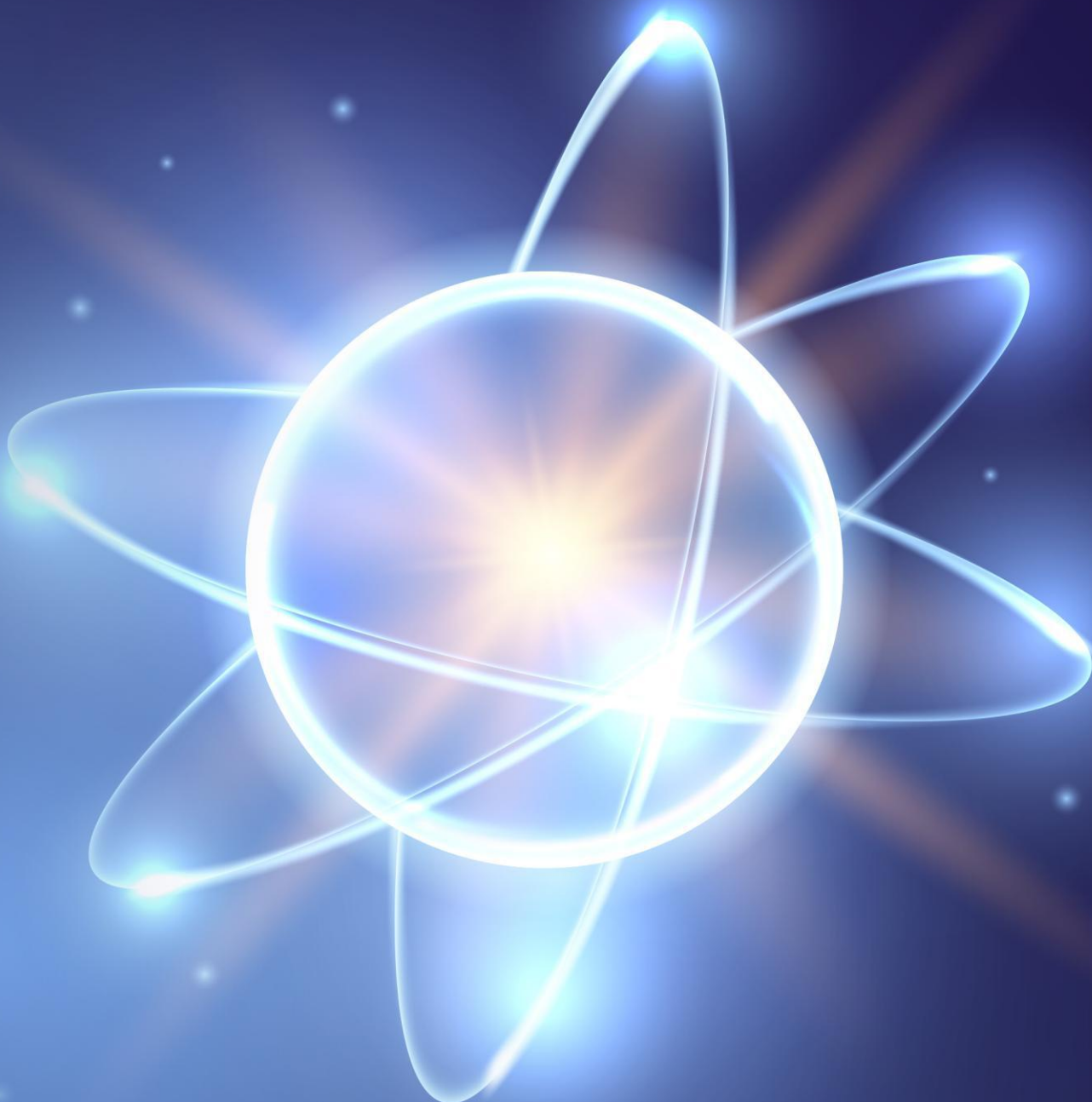


МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА



РОСНАНО

ФОНД ИНФРАСТРУКТУРЫ
И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ



**СБОРНИК
ЗАДАНИЙ**

Содержание

International photography contest denoted to the International Year of Periodic Table	6
Гениальные мысли	9
Задание	11
National Student Team Contest	13
Nanopowder	15
Решение (Nanopowder)	16
Plasmon resonance	17
Решение (Plasmon resonance)	18
Gold and bacteria	19
Решение (Gold and bacteria)	20
Nanopuzzles	22
Решение (Nanopuzzles)	23
Porous metal from ionic cluster	25
Решение (Porous metal from ionic cluster)	26
Юный эрудит	28
Окрашенные предметы	31
Решение (Окрашенные предметы)	32
Рост наночастиц	33
Решение (Рост наночастиц)	34
В мире нанокристаллов	35
Решение (В мире нанокристаллов)	37
Грибы и солнечная энергия	38
Решение (Грибы и солнечная энергия)	39
Катализатор из одного атома	40
Решение (Катализатор из одного атома)	41
Физический филворд	42
Решение (Физический филворд)	43
Закон Мура действует?..	44
Решение (Закон Мура действует?..)	45
Одноэлектронный транзистор	46
Решение (Одноэлектронный транзистор)	47
Так ли там много места?	48
Решение (Так ли там много места?)	49
Олимпиадные нанокластеры	50
Решение (Олимпиадные нанокластеры)	51
Сложно быть жирафом	52
Решение (Сложно быть жирафом)	53
Это животное обитает в ...	54
Решение (Это животное обитает в ...)	59
Все о микрофлоре	60

Решение (Все о микрофлоре)	61
Кроссворд	62
Решение (Кроссворд)	64
Нанофилворд	66
Решение (Нанофилворд)	67
Генетический кроссворд	68
Решение (Генетический кроссворд)	69
Химия для школьников	70
Отделение воды от нефти	73
Решение (Отделение воды от нефти)	75
Деградация красителя	77
Решение (Деградация красителя)	79
Желтые кристаллы	82
Решение (Желтые кристаллы)	84
Неорганические люминофоры	86
Решение (Неорганические люминофоры)	87
Синтез полупроводника	88
Решение (Синтез полупроводника)	89
Оксидные соты	90
Решение (Оксидные соты)	91
Новые материалы для литий-ионных аккумуляторов	93
Решение (Новые материалы для литий-ионных аккумуляторов)	94
Магнитные наночастицы	96
Решение (Магнитные наночастицы)	97
Там еще есть пустое место!	98
Решение (Там еще есть пустое место!)	99
Моделирование и синтез каркасных наноструктур	102
Решение (Моделирование и синтез каркасных наноструктур)	103
Физика для школьников	107
Двойная нанопленка	110
Решение (Двойная нанопленка)	111
Покрытия для солнечных элементов	113
Решение (Покрытия для солнечных элементов)	114
Магнетронное напыление	115
Решение (Магнетронное напыление)	116
Нагрев электронным пучком	117
Решение (Нагрев электронным пучком)	118
Наноспутники	119
Решение (Наноспутники)	120
Дифракция на нанокристаллах	121
Решение (Дифракция на нанокристаллах)	122
Фотоэлектронная спектроскопия наноматериалов	123
Решение (Фотоэлектронная спектроскопия наноматериалов)	124

Наносенсор на вирусы	125
Решение (Наносенсор на вирусы)	126
Из крайности в крайность	129
Решение (Из крайности в крайность)	130
Автостопом на комете	131
Решение (Автостопом на комете)	132
Биология для школьников	134
Нанороботы в системе кровообращения	136
Решение (Нанороботы в системе кровообращения)	137
Эндосимбиоз в клетках	138
Решение (Эндосимбиоз в клетках)	139
Урок зельеварения	140
Решение (Урок зельеварения)	141
Приключения Ясона и Геракла	142
Решение (Приключения Ясона и Геракла)	143
«Прививка от Кроша»	144
Решение («Прививка от Кроша»)	145
Синдром Рефсума	146
Решение (Синдром Рефсума)	147
Митохондриальные заболевания	148
Решение (Митохондриальные заболевания)	149
Светящиеся в темноте	151
Решение (Светящиеся в темноте)	154
Вот это поворот!	155
Решение (Вот это поворот!)	156
Вижу цель, не замечаю препятствий	157
Решение (Вижу цель, не замечаю препятствий)	160
Математика для школьников	161
G-квадруплексы	163
Решение (G-квадруплексы)	164
Тетраэдры и пирамиды	165
Решение (Тетраэдры и пирамиды)	166
Рост дендримера	167
Решение (Рост дендримера)	168
Пористый материал	170
Решение (Пористый материал)	171
Полые металлические кластеры	172
Решение (Полые металлические кластеры)	173
ДНК для хранения информации: от теории к практике	175
Решение (ДНК для хранения информации: от теории к практике)	178
Золотые октаэдры	180
Решение (Золотые октаэдры)	181
Наноторы из нанотрубок: от больших к самому маленькому	183

Решение (Наноторы из нанотрубок: от больших к самому маленькому)	184
Фуллерены	186
Решение (Фуллерены)	187
Изомерия икосаэдрических фуллеренов	188
Решение (Изомерия икосаэдрических фуллеренов)	189
Конкурс тьюторов	192
Задание	193
Просто о сложном	196
Задание	197
Задания очного тура	198



International photography contest denoted to the International Year of Periodic Table

Просто о сложном

Категория участников: без ограничений

Конкурс авторских фотографий школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, учителей и преподавателей, содержащих интересные и необычные варианты Периодической Таблицы Элементов Д.И.Менделеева или отдельных химических элементов. Конкурс организован [Российским Химическим Обществом имени Д.И.Менделеева](#) при поддержке [Факультета наук о материалах МГУ имени М.В.Ломоносова](#) и [Фонда инфраструктурных и образовательных программ](#). Страница конкурса в Фейсбук - [здесь](#). Другие конкурсы Олимпиады для студентов, аспирантов, молодых ученых - [ЗДЕСЬ](#).

Задание

Для участия в конкурсе необходимо подготовить **pdf-файл**, содержащий:

1. **Иллюстративный материал в виде фотографий**, на которых изображены интересные и необычные варианты Периодической Таблицы Элементов Д.И.Менделеева или отдельных химических элементов. Изображения таблицы могут находиться исходно на бумажных носителях, стенах или внутри зданий, учебных, научных, промышленных помещений, на памятниках, на рекламных плакатах, иными словами – везде без ограничений.
2. **Текстовое пояснение** – краткое и оригинальное описание сделанной фотографии с указанием того, где и почему находится данное изображение; простой и популярный (научно-популярный) рассказ о фотографии.

Фотография должна быть сделана участником конкурса **самостоятельно или от лица коллектива авторов**, не должна нарушать права третьих лиц, не быть плагиатом.

Технические требования:

- разрешение фотографии – 150-300 точек на дюйм;
- ориентация – портретная или альбомная;
- размер pdf-файла – не более 10 Мб;
- допускается использование графических редакторов для улучшения качества изображения, создания коллажей, внедрения элементов компьютерной графики, текста и прочее.

Критерии оценки:

- оригинальность – 5 баллов,
- художественность – 10 баллов,
- техническое качество – 3 балла,
- рассказ-описание – 12 баллов.

На конкурс можно подать несколько работ.

Работы лучших участников будут опубликованы, а первые по рейтингу три работы получают грамоты и памятные призы от Оргкомитета Олимпиады и [Российского Химического Общества имени Д.И.Менделеева](#).

В целом, фотография и пояснения могут быть развернуты в отдельное творческое произведение в рамках конкурса "[Просто о сложном](#)", в этом случае они будут рассматриваться дополнительно (и независимо) в рамках текущего фотоконкурса и в рамках конкурса научно-популярных статей по номинации "Год Периодического закона".

Общероссийская общественная организация «[Российское химическое общество им. Д.И. Менделеева](#)» является правопреемником Русского химического общества, созданного в 1868 г. Позднее Русские химическое и физическое общества образовали Русское физико-химическое общество (РФХО), отделение – химии которого, в 1932 г. было преобразовано во Всесоюзное химическое общество, взявшее имя Дмитрия Ивановича Менделеева. После распада СССР на учредительной конференции 18 ноября 1991 г. было образовано [Российское химическое общество](#) им. Д.И. Менделеева.

FOR FOREIGN PARTICIPANTS

[Russian Chemical Society](#) named after D.I.Mendeleev starts in the frame of [XII Russian Olympiad "Nanotechnology - Breakthrough to the Future!"](#) under the support of [Faculty of Materials Science](#) of Lomonosov Moscow State University and the [Fund for Infrastructure and Educational Program](#) the **International photography contest denoted to the International Year of**

Periodic Table.

The Jury will accept original photographs of schoolchildren, students, PhD fellows, young scientists, teachers and tutors visualizing of **unusual and rare variants of the Periodic Table of the Elements or images of chemical elements**. The photos can be taken from paper carrier, from building walls or interiors, from monuments, outdoor advertisement etc. from everywhere with no limitations. It is requested to add also a piece of descriptive text, detailed figure caption describing the place and context related to the taken picture. The photo and the text must belong to the contest participant solely with no violation of third person's rights.

Basic technical requirements:

- photo resolution should be above 150 - 300 dpi,
- landscape or portrait orientation,
- photo and the text should be joint in a separate PDF file to upload,
- the file size should not exceed 10 Mb,
- graphic editors are allowed to use for improving the image quality or creating art objects.

Criteria of score scale:

- originality – 5 points,
- art quality – 10 points,
- technical quality – 3 points,
- descriptive story as a figure capture – 12 points.

One participant can present several works.

The best works will be published online while first three the most rated works will be awarded with diploma and honorary prizes by the Organizing Committee and [Russian Chemical Society](#).

Submission deadline: February 20, 2018.



Гениальные мысли

Гениальные мысли

Категория участников: школьники 7-11 классов

Конкурс авторефератов **школьных проектов**. Конкурс дает дополнительные возможности участникам отборочного тура по комплексу предметов "физика, химия, математика, биология" для прохождения на очный тур. Участники конкурса, прошедшие на очный тур, могут представить свои проектные работы к устной защите.

Задание

Развитие проектной деятельности является тенденцией современного школьного образования. В то же время, очень часто под проектом понимается просто презентация или реферат, подготовленные школьником на основании данных сети Интернет или других сомнительных источников. В рамках конкурса «Гениальные мысли» рассматриваются только творческие, самостоятельные работы школьников или их исследовательские работы, выполненные самостоятельно, в области нанотехнологий в наиболее широком их понимании. Основным критерием для участия в конкурсе служит оригинальность выполненной работы и ее продуманное изложение самим школьником в виде автореферата – краткого пояснения сути и основных результатов своей собственной работы, в соответствии с предлагаемым в Конкурсе планом. При этом работа может быть полностью завершена или же это может быть все еще идущий, не до конца заверченный или даже планируемый экспериментальный проект, а также творческая работа. Во всех случаях подготовленный школьником автореферат является конечной и единственной работой на конкурс, призванной убедить Жюри конкурса в обоснованности, реалистичности, актуальности, новизне, оригинальности материала, предоставляемого школьником в кратком изложении.

Для участия в творческом конкурсе проектных работ «Гениальные мысли» необходимо изложить в соответствии с предложенным шаблоном «Автореферата школьного проекта» (файл с заданием ниже) краткое содержание уже подготовленного, идею готовящегося или основную мысль возможного школьного проекта научно-исследовательского характера, имеющего отношение к наноматериалам и нанотехнологиям, или, если проект нет возможности выполнить, свою творческую работу. По результатам отборочного тура лучшие работы или идеи будут доложены на очном туре Олимпиады.

На конкурс принимаются только индивидуальные заявки.

Более подробная информация приведена в положении о конкурсе.



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

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

Ниже указаны разделы автореферата с пояснениями и максимальными баллами за каждый раздел. Требуется внимательно, вдумчиво и достаточно лаконично заполнить все разделы, сохранив их нумерацию. В работу допускается вставлять небольшое разумное количество самых важных картинок. Не следует вместо автореферата подавать на конкурс саму проектную работу, это приведет к снижению количества баллов за данный конкурс. Подавая работу на конкурс, участник тем самым гарантирует, что он **самостоятельно подготовил настоящий автореферат и получил согласие соавторов на участие в конкурсе.**

1. Название работы. (1 балл)

Название должно иметь отношение к области нанотехнологий в широком их понимании.

2. Соответствие области нанотехнологий. (5 баллов)

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

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

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

4. Актуальность и новизна работы. (3 балла)

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

5. Основные результаты. (30 баллов)

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

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

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

7. Список цитированных источников. (1 балл)

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

8. Список достижений участника. (2 балла)

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

Всего – 50 баллов



National Student Team Contest

National Student Team Contest

Категория участников: bachelor and master students

The competition among bachelor and master students of higher school in Russia considering theoretical and creative tasks in English based on nanotechnology and nanomaterials subjects. The tasks are design to select the best **national team members** for participation in the International Nano Olympiad (INO) contest on nanotechnology as determined by annual regulations of INO.

Задания

1. Nanopowder

The white powder A containing 9,66 wt.% of nitrogen can be prepared with high yield by Skraup reaction from 2-aminophenol. The reaction of A with lead acetate and sodium perchlorate in methanol gave the single crystals of B. The compound B has a molecular structure...

2. Plasmon resonance

Proteins in living cells perform their functions in pairs and groups. One of the methods which allows investigation of molecular interaction is surface plasmon resonance (SPR). SPR occurs when polarized light strikes an electrically conducting surface, often gold films, at the interface between two media...

3. Gold and bacteria

Unusual bacteria **X** excrete molecules **B** which bind selectively gold ions and turn them into gold nanoparticles (Fig. (a), I, for comparison are shown bacteria not producing **B**: cells II and III). **B** production increases with the iron concentration decrease in the medium...

4. Nanopuzzles

The scheme above describes the synthesis of some kind of homologous nanoobjects **Z**, starting from simple compounds. Schematically draw the structures of nanoobjects **Z1**, **Z2**, **Z3**. What are

the stoichiometries for their formation reactions and what are their charges?..

5. Porous metal from ionic cluster

Metal clusters are the smallest nano-scale compounds which could be applied as precursors for mesoporous materials and metal nanoparticles. Substance A is an ionic compound with a metal cluster-anion of the general formula $[(C_2H_5)_4N]_3^+[X]^{3-}$ which demonstrates catalytic activity in hydration reactions...



National Student Team Contest (first stage)

Task 1. Nanopowder

The white powder A containing 9,66 wt.% of nitrogen can be prepared with high yield by Skraup reaction from 2-aminophenol. The reaction of A with lead acetate and sodium perchlorate in methanol gave the single crystals of B. The compound B has a molecular structure and consists of tetramers that form a supramolecular ensemble. Heating of B with potassium hydroxide solution gives a white precipitate C containing 28,16 % of K, 25,63 % of Cl and oxygen. From 12,7 g of B 2,77 g of C can be obtained.

IR (cm^{-1}) selected bands of compound B: 725(s), 818(vs), 1102 (s), 1227(vs), 1316 (s), 1380 (s), 1493(s), 1561 (s), 3040 (w), 3423 (w)

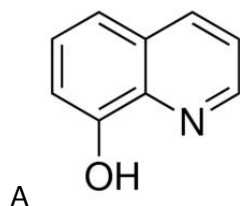
Using ultrasonic irradiation the nanoscale B can be obtained.

1. What are the compounds A, B, C? **(6 points)**
2. What is formed after heating of B prepared by a traditional and ultrasonic methods? **(2 points)**
3. Make a sketch with crystal structure of B, using a schematic representation of A molecules. Note that one half of lead atoms in B has a $[\text{O}_3\text{N}_2]$ environment, the other – a $[\text{O}_4\text{N}]$ environment. **(2 points)**

Total – 10 points

National Student Team Contest (first stage)
Solution of task 1. Nanopowder

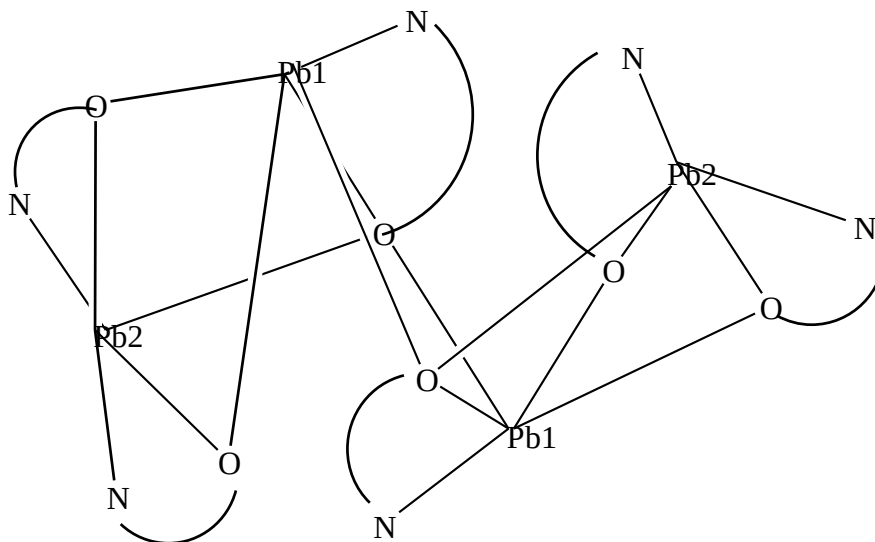
1. A – 8-hydroxyquinoline



B - $[\text{Pb}_4(8\text{-Quin})_6](\text{ClO}_4)_2$, $\text{C}_{54}\text{H}_{36}\text{Cl}_2\text{N}_6\text{O}_{14}\text{Pb}_4$; C: 34.27, H: 1.92, N: 4.44%

C - KClO_4

2. In both cases PbO forms, but only ultrasonic treatment gives the nanoscale product.
- 3.





National Student Team Contest (first stage)

Task 2. Plasmon resonance

Proteins in living cells perform their functions in pairs and groups. One of the methods which allows investigation of molecular interaction is surface plasmon resonance (SPR). SPR occurs when polarized light strikes an electrically conducting surface, often gold films, at the interface between two media. This generates electron charge density waves called plasmons, reducing the intensity of reflected light at a specific angle known as the resonance angle, in proportion to the mass on a sensor surface.

1. What kind of molecules can be investigated with this technique? What parameters of interactions of molecules can be determined? **(1 point)**
2. What are the main limitations of this method? **(2 points)**
3. What other techniques allows obtaining the same parameters as SPR? **(1 point)**
4. Propose a “molecular fishing” protocol to identify ligands specifically interacting with a molecule of interest in a complex media, for example cell lysate. What methods should be used? **(2 points)** How can nanotechnology help to improve the method? **(0,5 points)** Why is it necessary to use SPR at the last stage of a protocol? **(0,5 points)**
5. Suggest an example of application of the proposed protocol to find a ligand to the target molecule, which would help in drug design. **(3 points)**

Total – 10 points



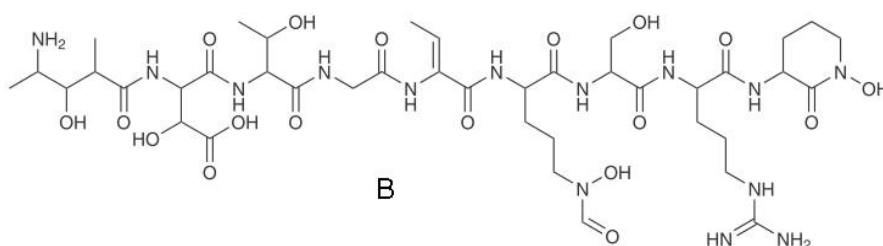
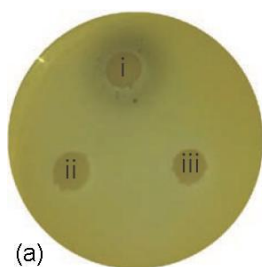
National Student Team Contest (first stage)

Solution of task 2. Plasmon resonance

1. Almost all, even small ions with detection limit up to 10 pg/mL. Binding kinetics, affinity (Kd) and thermodynamics can be obtained.
2. Limitations: (1) molecules may change their conformation upon binding to metal films; (2) molecules can be not in an optimal orientation to interact with their ligands; (3) nonspecific binding often occurs; (4) differences in concentration of molecules near the surface and in the solution.
3. Microscale thermophoresis, binding to radioactive ligands, backscattering interferometry and etc.
4. There are several protocols of “molecular fishing”. The simplest protocol is to immobilize molecule of interest onto chromatography column (1); mix with lysate (2); filtrate (3); perform LC-MS/MS analysis (4); analyze each potential ligand with SPR (5). There are several hints to increase the efficiency of the method, including the use of magnetic nanoparticles functionalized with molecules of interest. It is necessary to validate affinity with SPR to avoid ligands which bind nonspecifically to the target.
5. All reasonable examples are acceptable. For example, using this protocol proteins interacting with beta-amyloids can be found to help in Alzheimer treatment; or proteins interacting with and inhibiting Bcr-Abl to cure myeloid leucosis.

National Student Team Contest (first stage)

Task 3. Gold and bacteria



Unusual bacteria **X** excrete molecules **B** which bind selectively gold ions and turn them into gold nanoparticles (Fig. (a), I, for comparison are shown bacteria not producing **B**: cells II and III). **B** production increases with the iron concentration decrease in the medium:

[Fe ³⁺]	0	100 nM	1 μM	10 μM	100 μM
[B], μM	206	196	149	21	2.2

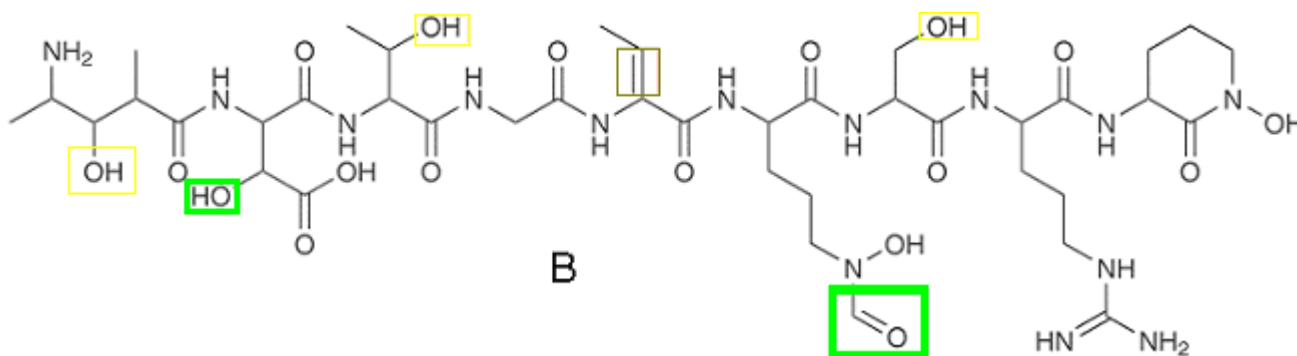
1. Explain such an unusual behavior of bacteria **X**. Where could we find such bacteria? **(2 points)**
2. Mark the main structural features of **B** which could assist in gold nanoparticles production, give the examples of simple compounds used in gold nanoparticles synthesis, which possess these functional groups. **(3 points)**
3. Explain the influence of iron ions on **B** production. Describe a possible evolutionary mechanism for evolving **B** in the bacteria. Give an example of similarly evolved features in nature. **(4 points)**
4. How could these properties of the bacteria and **B** be utilized? **(1 point)**

Total – 10 points

National Student Team Contest (first stage)

Solution of task 3. Gold and bacteria

1. Unlike iron bacteria don't need gold. Gold ions are oxidant and could harm cells, and even the resulting nanoparticles could possess unnecessary activity (i.e. interact with thiol groups). So, bacteria **X** (*Delftia acidovorans*) neutralize it far away from bacteria. Because **B** seems to be finely tuned to bind and to reduce gold, it is probable that bacteria **X** inhabit for a long time the gold-ions rich medium (i.e. near gold deposits or on the surface of gold nuggets).
- 2.



One should recollect the methods of synthesis of gold (and silver) nanoparticles and find common reducing groups within the **B** molecule for common reductants:

- formyl -CHO group (hidden aldehyde) – formic acid derivatives (i.e. ammonia formate and formamide derivatives);
- α -OH to -CO₂H group – citric acid (and ascorbic acid to a certain extent);
- double bond near carboxylic acid residue – ascorbic acid to a certain extent;
- numerous alcohol groups – alcohols, diols, polysaccharides.

It is worth mentioning that the first stage of **B** oxidation utilizes oxidation of CHO group, because substitution of this group by acetyl group significantly slows down the gold nanoparticles formation.

3. The structure of **B** resembles structures of siderophores and production of **B** is downregulated by iron concentration as well as for typical siderophores (the more iron in environment the less the need for siderophores). In contrast to the common siderophores, the molecule **B** is rich of reducing groups which imply strong selection toward quick gold reduction. These indicate that **B** is structurally and evolutionally relates to siderophores (scientists say that **B** is most likely a siderophore that serves at least two purposes for this organism).

In general, Nature produces new structures on the basis of the existing ones. Siderophore genes are vital for bacteria so it is very probable that they are in more than one copy in a genome. It is possible that in the gold rich medium a mutation in one of siderophore genes led to metallophore which slightly better chelates and (or) reduce gold ions. Subsequent natural selection in this medium led to the mutation fixation and further evolution, resulted to the molecule **B**. Secretion of **B** is still regulated by iron ions as for siderophores, and probably uses some siderophore based mechanisms (i.e. siderophores excretion, because siderophores are also excreted to the exterior in order to catch iron ions).

The well-known examples of such evolution are bacteria flagellum (originated from excretory system proteins) and blood antifreeze molecules of polar fish (originated from digestive enzymes).

4. The main directions of possible utilization are gold extraction and search for gold rich ore using detection of the increased concentration of **B** from bacteria.

National Student Team Contest (first stage)

Task 4. Nanopuzzles

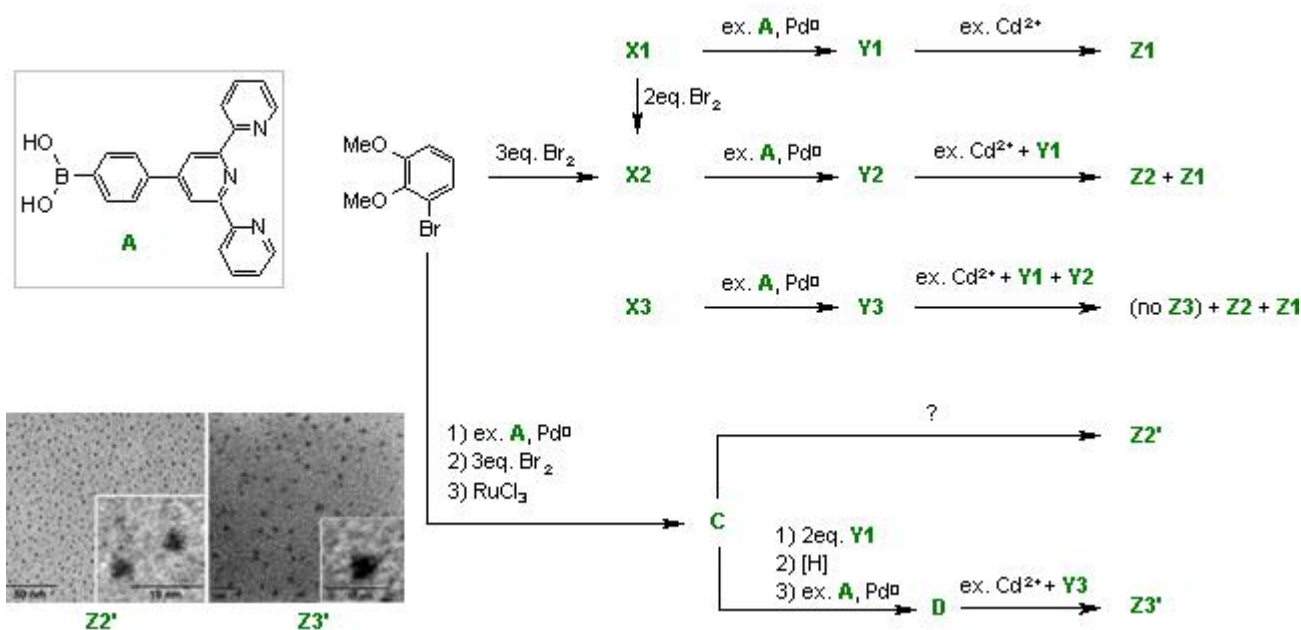


Fig. 1. Scheme: ex. = excess, eq. = equivalents, Pd⁰ = Pd(PPh₃)₄; [H] = reduction of transition metal to 2+; (no Z3) = only insoluble polymer was formed instead of expected Z3.

Inset: TEM images of Z2' and Z3'.

The scheme above describes the synthesis of some kind of homologous nanoobjects Z, starting from simple compounds.

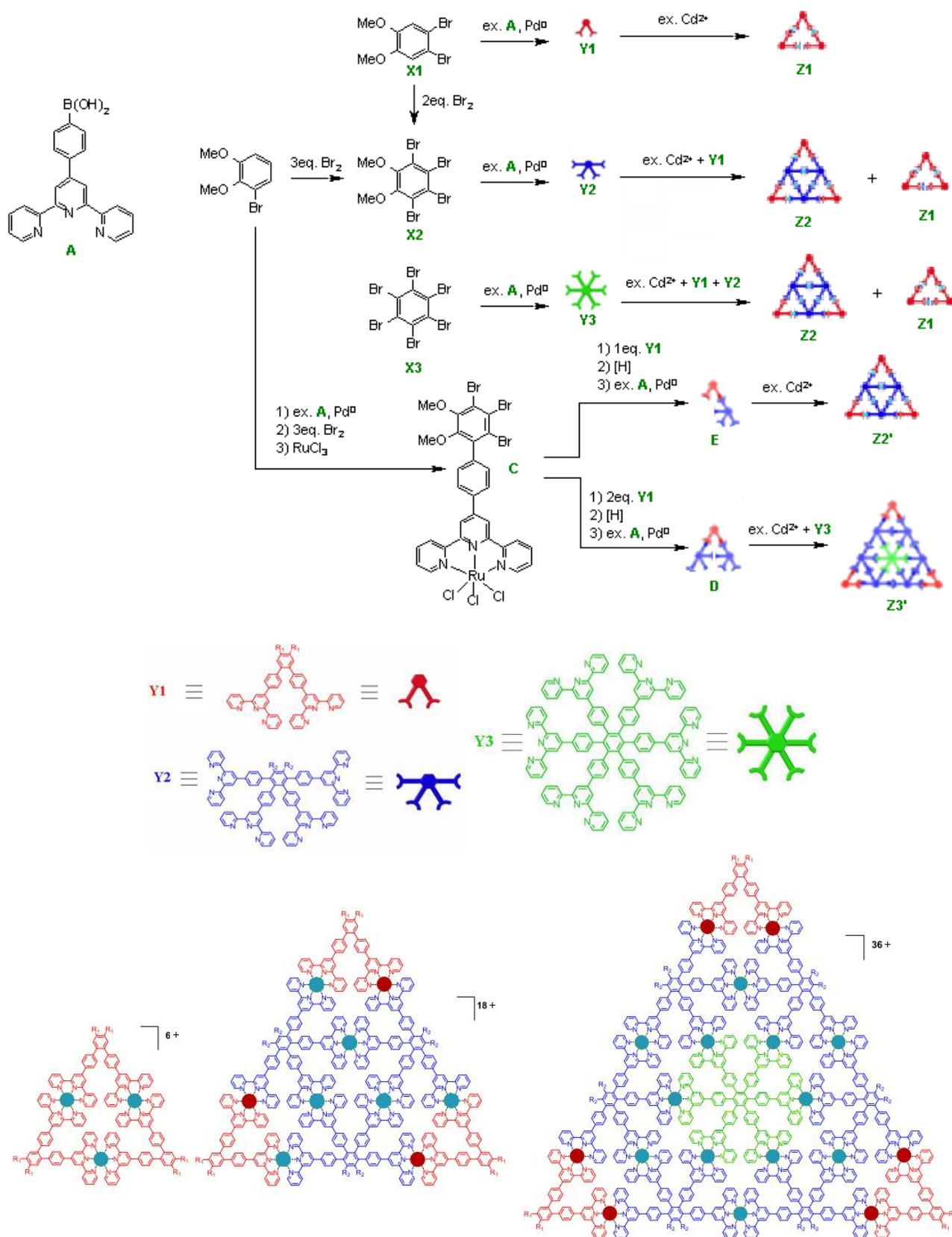
1. Schematically draw the structures of nanoobjects Z1, Z2, Z3. (2 points)
What are the stoichiometries for their formation reactions and what are their charges? (2 points)
Give the structures of X1, X2, and X3 if Z1 has no isomers. (2 points)
What are the differences between Z and Z' in the pairs Z2 / Z2' and Z3 / Z3'? (1 point)
2. Explain the main ideas of Z2' and Z3' synthesis (compared to Z2 and Z3) and propose the way to obtain Z2' from C. (3,5 points)
3. Using the bond lengths roughly estimate the sizes of Z1, Z2, Z3 as the diameters of the circumscribed spheres. (1,5 points)

Total – 12 points

National Student Team Contest (first stage)

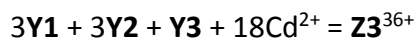
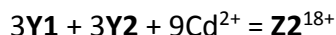
Solution of task 4. Nanopuzzles

1. To complete the triangles, **X1** must be the *ortho*-dibrom derivative. Single isomer of **Z1** yields only the shown below **X1**:

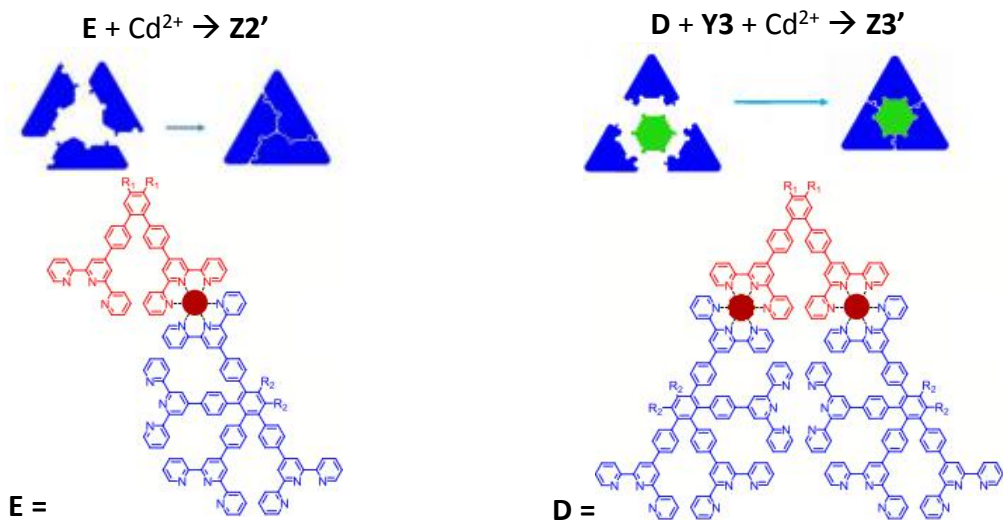


Z1, Z2, Z3 – all the circles = Cd,

Z2', Z3' – red circles = Ru, blue circles = Cd ($R_1 = R_2 = \text{OMe}$).



2. The main idea is to assemble **Z2'** and **Z3'** so that there are less other ways for the initial fragments to connect (the main problem of synthesis of **Z2** and **Z3**):



Ru is used to “glue” smaller fragment together and to fix them after reduction to Ru^{2+} , because it forms very strong bonds with terpyridine fragments which survive cross coupling conditions. Cd^{2+} is used because it binds quite reversibly so big fragments could assemble in the right way.

To obtain **Z2'** from **C** the same reactions as for **Z3'** are used, except 1eq.**Y1** is used at the first step and only single Cd^{2+} is used at the final self-assembly step.

3. Rough estimation of triangle size (A_z). Consider all the bonds to be of the same length as the aromatic C-C bond (0.14 nm), then the hexagon diagonal is 2 C-C bond lengths. Add to the circumscribed around triangle circle diameter ($D = 2 \cdot A_z / \sqrt{3}$) 2 C-C bond lengths (to roughly account for OMe groups).

$$A_{Z1} = 18 \cdot 0.14 = 2.52 \text{ nm}$$

$$D_{Z1} = \mathbf{3.2 \text{ nm}}$$

$$A_{Z2} = 34 \cdot 0.14 = 4.76 \text{ nm}$$

$$D_{Z2} = \mathbf{5.8 \text{ nm}}$$

$$A_{Z3} = 50 \cdot 0.14 = 7 \text{ nm}$$

$$D_{Z3} = \mathbf{8.4 \text{ nm}}$$



National Student Team Contest (first stage)

Task 5. Porous metal from ionic cluster

Metal clusters are the smallest nano-scale compounds which could be applied as precursors for mesoporous materials and metal nanoparticles. Substance A is an ionic compound with a metal cluster-anion of the general formula $[(C_2H_5)_4N]^+_3[X]^{3-}$ which demonstrates catalytic activity in hydration reactions decreasing the temperatures of processes up to room temperature. The corresponding IR spectrum of the substance A (in acetonitrile) contains the following characteristic modes: 1993s, 1991s, 1837m, 1816sh which belong to ligands in the cluster anion.

Thermal decomposition of 1.000 g of the substance A in H_2/Ar leads to 0.574 g of high-pure metal with mesoporous sponge-like structure. According to the XRD data for the metal product the characteristic coherence length is about 9 ± 1 nm that correlates with 5 ± 1 nm obtained from TEM micrograph statistic analysis. The gas-phase products of decomposition are carbon monoxide, water, and nitrogen in a molar ratio of 34 : 20 : 1.

1. Find the composition of the ionic compound A. **(2 points)**
2. What kind of ligand is presented by the given IR vibration modes? **(1 points)**
3. Propose the structure for the cluster anion. **(4 points)**
4. Propose the synthesis method with the maximum yield of substance A. **(2 points)**
5. Estimate the specific surface area of the metal sponge-like decomposition product. **(1 points)**

Total – 10 points



National Student Team Contest (first stage)

Solution of task 5. Porous metal from ionic cluster

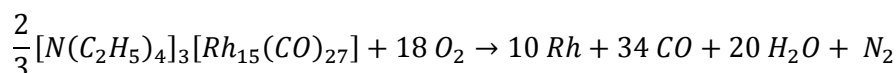
- The point No.2 should be solved as the 1st step to propose the composition for the complex anion of the unknown compound.

Most likely, the given IR modes correspond to chemisorbed CO molecules or carbonyl ligands in the complex anion.

- Molecular weight of metal is not obvious however that is possible to estimate the percentage of CO ligands in the unknown substance A. Weight of all gaseous products is as follows:

$$m_{\text{gases}} = 1 - 0.574 = 0.426 \text{ g.}$$

The molar ratios of CO : H₂O : N₂ is 34 : 20 : 1. So, if the anion X³⁻ does not contain nitrogen and is just a carbonyl compound (no other kinds of ligands) the unknown substance A is [NEt₄][Rh₁₅(CO)₂₇]³⁻ compound. Check the charge balance to confirm the accuracy of your solution.



- Simple electron-counting schemes such as the effective atomic number (EAN) and the skeletal electron pair (SEP) rules, which result from these systematic studies, are extremely useful in correlating the structures of a vast number of clusters to their electron counts.

According to the Nevil V. Sidgwick theory and EAN rule. The electron configuration of rhodium is [Kr]4d⁸5s¹ and so the number of electrons for the neutral Rh⁰ is 45. The EAN number for the [Rh(CO)_{1.8}]^{0.2-} cluster is 45 + 2·1.8 + 0.2 = 48.8 that is much below the atomic number of Xenon. So the complex could be stable if Rh-Rh bonding takes part.

The fifteen metal atoms could be distributed uniformly forming a Rh-centered [Rh₁₅(CO)₂₇]³⁻ cluster. In such a case, most likely, the 1st coordination sphere could be cubic (body-centered cube) and the 2nd coordination sphere forms a hexa-capped cube of pentadecavertex metal cluster as shown in Figure 1a.

Structure of [NEt₄][Rh₁₅(CO)₂₇]³⁻ has the structure as the following given in Figure 1b. The structure is similar to that of previously reported [Rh₁₅(CO)₃₀]³⁻ and only differs in the number and stereochemistry of the carbonyl groups. Two kinds of CO groups are presented – bridging and terminal.

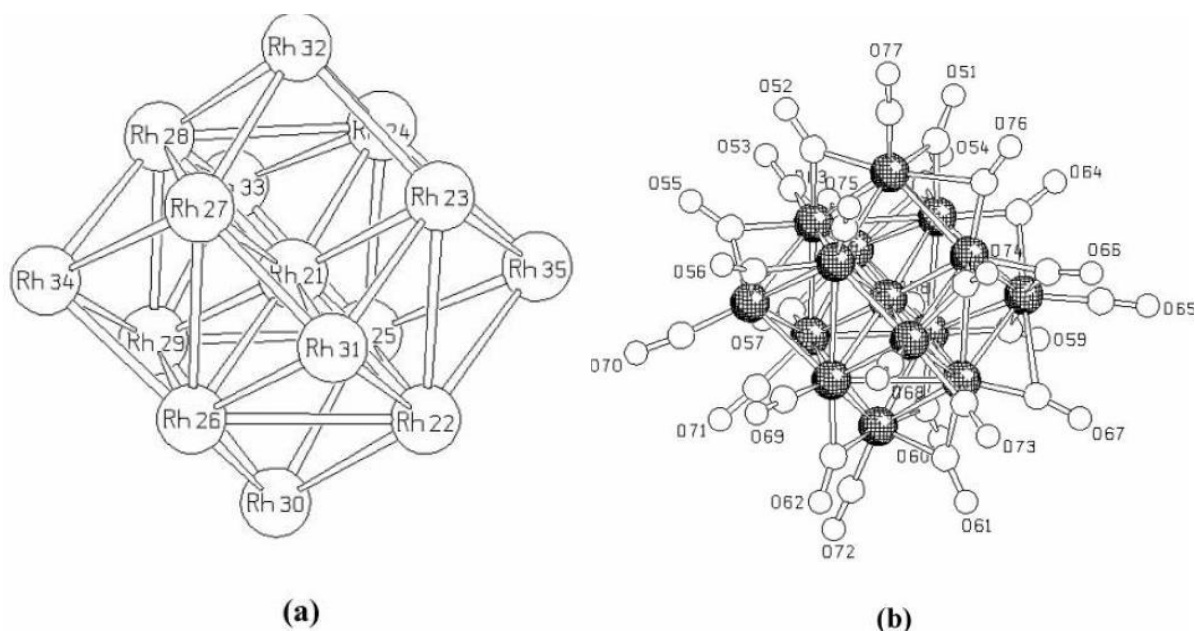


Figure 1. Structure of the ordered $[Rh_{15}(CO)_{27}]^{3-}$ trianion (only one of the two independent anions are present in the unit cell is represented):

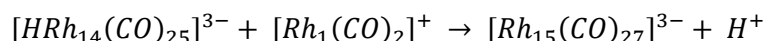
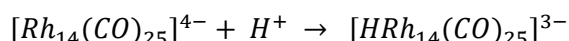
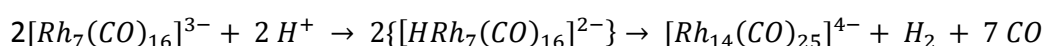
(a) rhodium framework with a numbering scheme;

(b) whole structure with numbering of O atoms

(C atoms are numbered as the corresponding O atoms).

The unit cell of the $[NEt_4][Rh_{15}(CO)_{27}]^{3-}$ salts contains two pairs of independent $[Rh_{15}(CO)_{27}]^{3-}$ cluster anions and 12 $[NEt_4]^+$ cations separated by normal van der Waals contacts.

4. Synthesis of the substance A could be performed in laboratory using simpler rhodium carbonyls as reagents and hydrated cadmium chloride $CaCl_2 \cdot xH_2O$, $InCl_3 \cdot xH_2O$ or $ZnCl_2 \cdot xH_2O$ as catalysts for controlled protonation of the complex. The following equations are:



All $[NEt_4]^+$ salts could be separated successfully by differential solubility.

5. The specific surface area could be estimated roughly using corresponding TEM data. The round shaped metal particle of 5 nm diameter has its surface area of 314.12 nm² and volume of 523.533 nm³. The density is of 12.41 g/cm³. So the unit weight should be 6.497·10⁻²¹ kg or 6.497·10⁻¹⁸ g. So the metal sponge weight is 0.5742 g that corresponds roughly to 0.884·10¹⁸ or 8.84·10¹⁶ particles. Each separate particle has its theoretical surface area of 314.12 nm² while all independent rhodium nanoparticles results in maximal surface of 27.76 m². The resulting maximum of BET area could be 48.3 m²/g.

To be more accurate we can take into consideration that the accessible surface area is lower than the theoretical.



Юный эрудит

Юный эрудит

Категория участников: школьники 5-7 классов

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

Задания

1. Окрашенные предметы

Окраска предметов, представленных на фото, обусловлена содержащимися в них атомами элемента X, расположенном в Периодической системе под номером 79. Назовите элемент X на русском и латинском языках. Поставьте в соответствие приведенным описаниям фотографии предметов...

2. Рост наночастиц

В некотором растворе в начальный момент времени присутствуют кубические наночастицы кальцита (CaCO_3) размером 1 нм. Рассчитайте время (в минутах), за которое эти наночастицы увеличатся в 100 раз, если известно, что каждая наночастица увеличивает свою массу...

3. В мире нанокристаллов

Нанокристаллы могут образовывать большое количество разнообразных геометрических форм, рассмотреть которые позволяют методы электронной микроскопии. Некоторые из таких форм показаны в файле...

4. Грибы и солнечная энергия

Превращение воды в пар – один из способов преобразования солнечной энергии. Оказалось, что для этой цели хорошо подходят некоторые виды грибов. Они отлично поглощают солнечный свет, а их пористая микроструктура способствует переносу воды по капиллярам к месту испарения...

5. Катализатор из одного атома

Одна из важнейших задач химической промышленности – превращение атмосферного азота в аммиак, из которого получают удобрения и другие полезные вещества. Ежегодно мировая промышленность производит 150 млн. тонн аммиака...

6. Физический филворд

В поле зашифрованы 11 слов: 10 из них описаны ниже, а одно надо составить из оставшихся букв. Слова не обязательно должны быть записаны в одну линию, они могут содержать изломы (но не по диагонали). Одна буква может принадлежать только одному слову...

7. Закон Мура действует?..

Известный эмпирический закон Г. Мура предсказывает удвоение количества транзисторов в микрочипах каждые два года за счет уменьшения их топологических размеров. Несмотря на физические ограничения и сложности производства...

8. Одноэлектронный транзистор

Одноэлектронный транзистор – транзистор нанометрового размера, в котором отдельные электроны могут управлять током транзистора. А сколько электронов протекает через обычный транзистор за $t = 1$ наносекунду, если ток через транзистор $I = 1$ мА?..

9. Так ли там много места?

Известно, что молекулы газа способны проникать в поры довольно малого размера. Рассчитайте количество таких молекул в цилиндрической поре длиной 100 мкм и диаметром 40 нм, если давление в ней равно 0.5 атм, а температура комнатная (298 К). Газ считать идеальным...

10. Олимпиадные нанокластеры

Два школьника получили одинаковые наборы шариков и задание – сложить из них модели нанокластеров, при этом должно остаться как можно меньше шариков. Первый школьник сложил из шариков модели нанокластеров в виде двух квадратов со сторонами $(0 + 1)$ и $(40 - 5)$ шариков...

11. Сложно быть жирафом

Жираф – самое высокое наземное животное. Высота самцов жирафа может превышать 6 метров (треть из которых приходится на шею), а вес может достигать двух тонн (в среднем немного выше тонны). Это позволяет жирафам питаться листьями с высоких крон деревьев...

12. Это животное обитает в ...

Ниже представлены фотографии 10 животных, обитающих в разных регионах мира. Под каждой фотографией приведено утверждение, касающееся места обитания этого животного. Укажите, истинны (и) или ложны (л) приведенные ниже утверждения...

13. Все о микрофлоре

С экранов телевизоров, рекламных щитов и просто в разговоре мы можем часто услышать: "Это нарушена микрофлора кишечника". Пострадавшим советуют пить живые йогурты, ряженку и кефир, чтобы эту самую микрофлору восстановить. Пожалуйста, ответьте на следующие вопросы...

14. Кроссворд

По горизонтали: 1. Способ создания сложного путем объединения простого (рис. 1г). 8. Длинный и тонкий материал (рис. 8г). 10. «Гроздь» атомов (рис. 10г). 11. Нано-... – один из самых распространенных объектов нанотехнологий. 12. Рис. 2в, а также 18г...

15. Нанофилворд

На поле размером 12 на 16 букв зашифрованы 14 слов, имеющих то или иное отношение к нанотехнологиям. Способ поиска показан на примере слова «олимпиада» (горизонтально слева направо или вертикально сверху вниз)...

16. Генетический кроссворд

По горизонтали: 2. Исправление поврежденной молекулы ДНК. 5. Участок хромосомы, необходимый для распределения гомологичных хромосом по дочерним клеткам. 6. Единица генетического кода, тройка расположенных подряд нуклеотидных остатков в ДНК или РНК...



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 1. Окрашенные предметы

Окраска предметов, представленных на фото, обусловлена содержащимися в них атомами элемента X, расположенном в Периодической системе под номером 79. Назовите элемент X на русском и латинском языках. Поставьте в соответствие приведенным описаниям фотографии предметов.

- (1) Рубиновое стекло содержит наночастицы X размером 10 – 50 нм.
- (2) Пурпурный цвет краски для росписи фарфора и фаянса также вызван частицами X размером менее 100 нм.
- (3) Металл X обладает высокой пластичностью – его можно раскатать в тончайшую фольгу. Тонкая пленка X, вплавленная в стекловидную глазурь, прочно держится на фарфоре.
- (4) Сплавы X с другими металлами имеют различную окраску. Так, например, сплав X с железом имеет белый цвет, с кадмием – серо-зеленый, с медью – красный, а с индием – синий.



А



Б



В



Г

Всего – 5 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 1. Окрашенные предметы

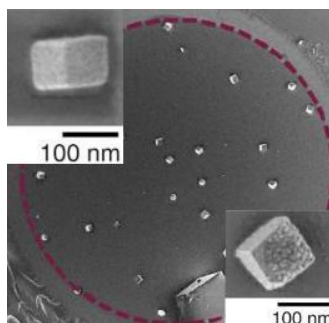
Металл (элемент X) – золото, «аурум» (1 балл)

1 – Б, 2 – В, 3 – Г, 4 – А (4 балла)



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 2. Рост наночастиц



В некотором растворе в начальный момент времени присутствуют кубические наночастицы кальцита (CaCO_3) размером 1 нм. Рассчитайте время (в минутах), за которое эти наночастицы увеличатся в 100 раз, если известно, что каждая наночастица увеличивает свою массу на $3 \cdot 10^{-15}$ мг в секунду. **(4 балла)** Во сколько раз при этом выросла площадь поверхности наночастицы? **(1 балл)**

Плотность кальцита $2,7 \text{ г/см}^3$.

Всего – 5 баллов



Юный эрудит (заочный тур) Решение задачи 2. Рост наночастиц

1) Масса наночастицы в начальный момент времени равна $m_1 = V_1 \rho = a_1^3 \rho$.

2) Масса наночастицы в конечный момент времени равна

$$m_2 = V_2 \rho = a_2^3 \rho = (100a_1)^3 \rho = 10^6 a_1^3 \rho.$$

3) $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$, $3 \cdot 10^{-15} \text{ мг/с} = 3 \cdot 10^{-21} \text{ кг/с}$, $2.7 \text{ г/см}^3 = 2700 \text{ кг/м}^3$

Время роста составляет

$$t_{\min} = \frac{m_2 - m_1}{60\nu} = \frac{10^6 a_1^3 \rho - a_1^3 \rho}{60\nu} = \frac{(10^9)^3 \cdot 2700(10^6 - 1)}{60 \cdot 3 \cdot 10^{-21}} \approx 15 \text{ мин.}$$

4) Площадь поверхности кубической наночастицы вырастет в

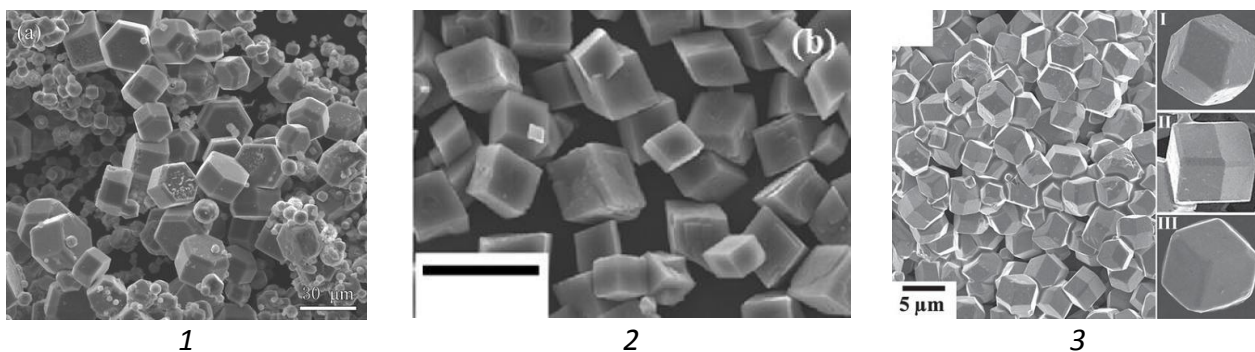
$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{6a_2^2}{6a_1^2} = \frac{(100a_1)^2}{a_1^2} = 10000 \text{ раз.}$$



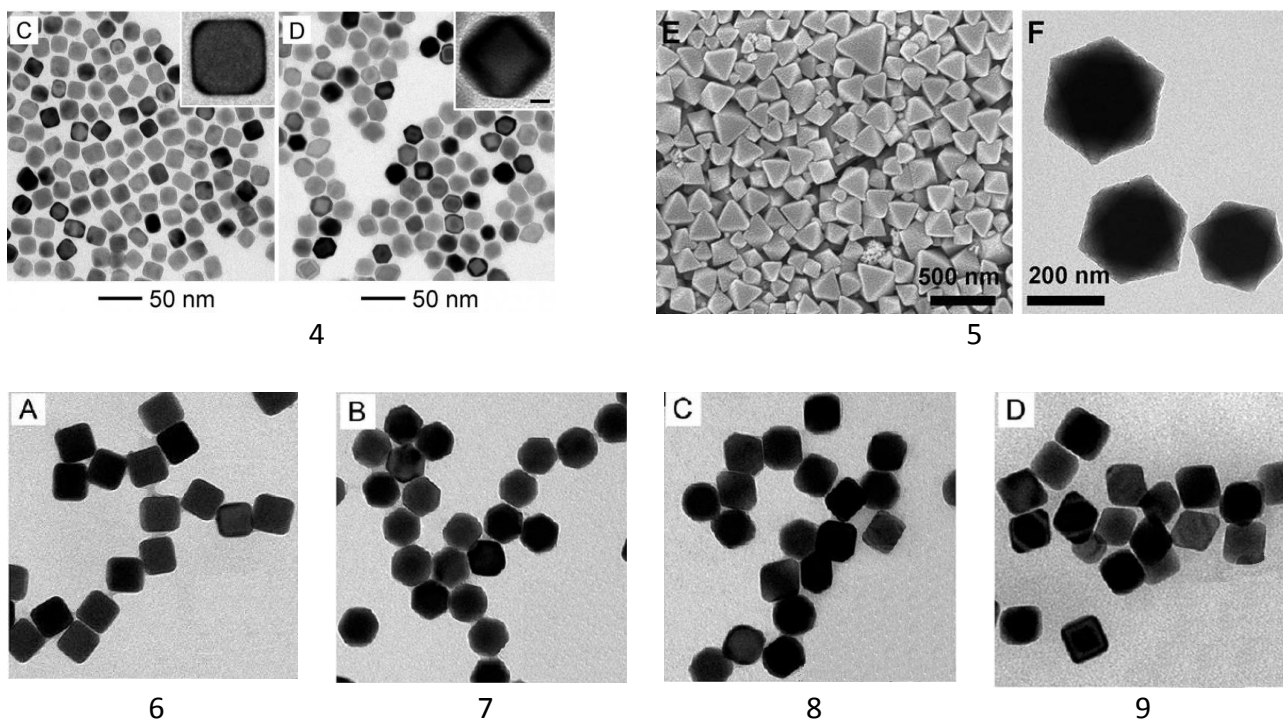
Юный эрудит (заочный тур) Задача 3. В мире нанокристаллов

Нанокристаллы могут образовывать большое количество разнообразных геометрических форм, рассмотреть которые позволяют методы электронной микроскопии. Некоторые из таких форм показаны ниже.

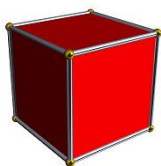
Сканирующая электронная микроскопия



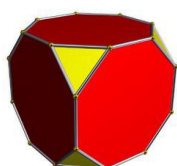
Просвечивающая электронная микроскопия



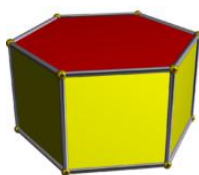
Сопоставьте изображения частиц и приведенные ниже многогранники. Учтите, при этом, что кристаллы на изображениях могут располагаться хаотически.



куб



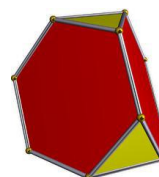
усеченный куб



шестиугольная
призма



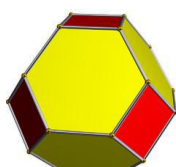
тетраэдр



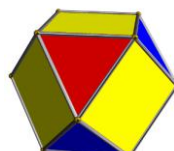
усеченный
тетраэдр



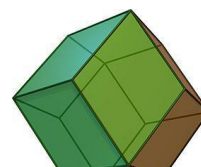
октаэдр



усеченный октаэдр



кубоктаэдр



ромбододекаэдр

Всего – 6 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 3. В мире нанокристаллов

СЭМ

- 1 – шестиугольная призма;
- 2 – четырехугольная призма с основанием ромб *(также засчитывались куб и упоминание грани в виде ромба);*
- 3 – ромбододекаэдр.

ПЭМ

- 4 – с – куб или усеченный куб, d – ромбододекаэдр *(также засчитывался кубоктаэдр, который имеет похожую проекцию);*
- 5 – октаэдр *(баллы также начислялись за выбор тетраэдра или усеченного тетраэдра, поскольку на микрофотографии Е подавляющее большинство частиц размещено так, что видно только одну треугольную грань);*
- 6 – куб *(также засчитывался усеченный куб);*
- 7 – кубоктаэдр *(также засчитывался усеченный октаэдр);*
- 8 – усеченный октаэдр *(баллы также начислялись за выбор октаэдра или усеченного тетраэдра);*
- 9 – октаэдр *(также засчитывался усеченный октаэдр).*



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 4. Грибы и солнечная энергия



Превращение воды в пар – один из способов преобразования солнечной энергии. Оказалось, что для этой цели хорошо подходят некоторые виды грибов. Они отлично поглощают солнечный свет, а их пористая микроструктура способствует переносу воды по капиллярам к месту испарения. Для повышения эффективности грибы «карбонизируют» – превращают органическое вещество в пористый углерод путем длительного нагревания при $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ без доступа воздуха.

В эксперименте грибы освещали обычным солнечным светом мощностью 1 кВт/м^2 и измеряли скорость испарения воды, которая оказалась равна 1.1 и $1.4\text{ кг/(м}^2\cdot\text{ч)}$ для обычных и карбонизированных грибов, соответственно. Найдите КПД преобразования солнечной энергии в обоих случаях и решите, можно ли считать грибы эффективным преобразователем солнечной энергии. Теплота испарения воды 2.2 кДж/г .

Всего – 5 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 4. Грибы и солнечная энергия

Для удобства примем время «работы» грибов 1 ч, а их общую поверхность 1 м^2 . За это время энергия поглощенного света составит

$$E_{\text{погл}} = 1000 \text{ Дж/с} \cdot 3600 \text{ с} = 3.6 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 3600 \text{ кДж.} \quad \textbf{(2 балла)}$$

На испарение воды обычными грибами будет израсходовано

$$E_{\text{исп}} = 1100 \text{ г} \cdot 2.2 \text{ кДж/г} = 2420 \text{ кДж} \quad \textbf{(2 балла)}$$

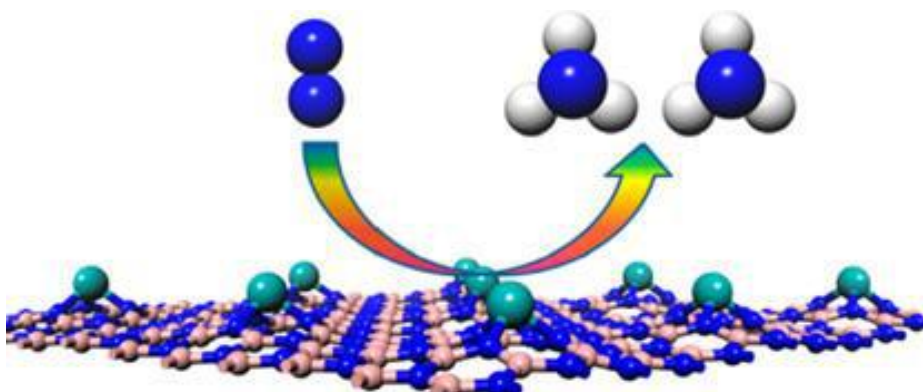
Коэффициент преобразования (кпд): $\eta = E_{\text{исп}} / E_{\text{погл}} = 0.67 = \textbf{67\%}$. Для карбонизированных грибов он будет больше в 1.4/1.1 раза, т.е. **86% (1 балл)**. Грибы оказались довольно эффективными устройствами преобразования солнечной энергии.

Правда, энергию пара надо потом превращать в работу, а это приведет к дополнительным потерям, величина которых заранее неизвестна.



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 5. Катализатор из одного атома



Одна из важнейших задач химической промышленности – превращение атмосферного азота в аммиак, из которого получают удобрения и другие полезные вещества. Ежегодно мировая промышленность производит 150 млн. тонн аммиака.

Атмосферный азот очень устойчив и плохо вступает в химические реакции, поэтому синтез аммиака проводят в очень жестких условиях – давление 200 атм, температура 500 °С. Для ускорения реакции применяют катализатор – металлическое железо и промоторы (вещества, помогающие работать катализатору) – оксиды калия, кальция и алюминия.

Однако, при участии наночастиц реакцию можно проводить и в более мягких условиях. Недавние расчеты показали, что одиночные атомы молибдена, нанесенные на монослой нитрида бора, способны эффективно ускорять превращение азота в аммиак. Реакция одной молекулы азота на одном атоме молибдена занимает около 20 с.

1. Напишите химические формулы всех веществ, которые упомянуты в тексте. **(2 балла)**
2. Рассчитайте, сколько тонн молибдена понадобится, чтобы за год получить 150 млн. тонн аммиака? **(3 балла)**

Всего – 5 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 5. Катализатор из одного атома

1. NH_3 , N_2 , Fe, K_2O , CaO , Al_2O_3 , Mo, BN.

(по 0.25 балла за формулу)

2. За год на одном атоме Mo прореагирует $365 \cdot 86400 / 20 = 1\,576\,800 \approx 1.6$ млн. молекул N_2 , из которых образуется $1.6 \cdot 2 = 3.2$ млн. молекул NH_3 . Найдем отношение масс:

$$m(\text{NH}_3) / m(\text{Mo}) = 3.2 \cdot 10^6 \cdot 17 / 96 = 5.6 \cdot 10^5.$$

Таким образом, для синтеза 150 млн. тонн аммиака понадобится $150 \cdot 10^6 / 5.6 \cdot 10^5 =$ **270 тонн** молибдена. Причем весь металл должен быть атомизирован и нанесен на подложку из монослоя нитрида бора. Это совсем непросто и недешево, поэтому данное открытие имеет скорее фундаментальную, чем практическую ценность.



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 6. Физический филворд

В поле зашифрованы 11 слов: 10 из них описаны ниже, а одно надо составить из оставшихся букв. Слова не обязательно должны быть записаны в одну линию, они могут содержать изломы (но не по диагонали). Одна буква может принадлежать только одному слову.

О	Н	Ш	Р	К	Л	А	С	Р	Л
Т	И	С	Е	Д	И	Н	Т	Е	Т
Ф	Э	К	Ф	О	Т	Г	Е	Р	Р
Н	А	Н	У	Н	О	Р	О	Т	А
О	Т	Р	К	И	Е	И	Я	С	Н
С	Р	У	А	А	Б	Ц	А	И	З
А	М	Б	К	А	Е	Р	Р	О	М
О	О	П	И	Е	Я	И	Л	Н	Е
Р	Г	Э	Т	А	К	С	Я	А	Т
Н	А	Н	И	З	А	Ц	И	Н	Р

1. Наука, занимающаяся изучением оптических сигналов и возможностью создания устройств на их основе.
2. Погрешность изображения в оптической системе, связанная с отклонением луча.
3. Явление самопроизвольного упорядочения сложной системы.
4. Миллиардная часть метра.
5. Квазичастица, которая представляет собой связанное состояние «электрон-дырка».
6. Упорядоченный рост одного кристалла на поверхности другого.
7. Физик-теоретик, придумавший эксперимент про дуального кота.
8. Полупроводниковый триод.
9. Модификация углерода, электрические свойства которой сильно зависят от структуры.
10. Устойчивое образование, состоящее из нескольких атомов или молекул.

Всего – 6 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 6. Физический филворд

О	Н	Ш	Р	К	Л	А	С	Р	Л
Т	И	С	Е	Д	И	Н	Т	Е	Т
Ф	Э	К	Ф	О	Т	Г	Е	Р	Р
Н	А	Н	У	Н	О	Р	О	Т	А
О	Т	Р	К	И	Е	И	Я	С	Н
С	Р	У	А	А	Б	Ц	А	И	З
А	М	Б	К	А	Е	Р	Р	О	М
О	О	П	И	Е	Я	И	Л	Н	Е
Р	Г	Э	Т	А	К	С	Я	А	Т
Н	А	Н	И	З	А	Ц	И	Н	Р

1. Фотоника
2. Абберрация
3. Самоорганизация
4. Нанометр
5. Экситон
6. Эпитаксия
7. Шредингер
8. Транзистор
9. Нанотрубка
10. Кластер
11. Фуллерен

Система оценивания

Всего **6 баллов**: 1 балл за слово «фуллерен» и по 0.5 балла за каждое из остальных 10 слов.



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 7. Закон Мура действует?..

Известный эмпирический закон Г. Мура предсказывает удвоение количества транзисторов в микрочипах каждые два года за счет уменьшения их топологических размеров. Несмотря на физические ограничения и сложности производства, разработчикам до сих пор удается регулярно внедрять все новые и новые технологические процессы, уменьшая размер элементарных компонентов уже до единиц нанометров и наращивая, таким образом, количество транзисторов на чипе.

1. Каков предельный размер компонентов в технологическом процессе, внедренном в производство к настоящему времени? **(1 балл)**
2. Какой технологический процесс находится сейчас в стадии разработки и должен прийти ему на смену в ближайшее время? **(1 балл)**
3. Первый массовый процессор, выпущенный в 1971 г., содержал 2.3 тыс. транзисторов, а наиболее современный в 2017 г. – около 20 млрд. Действует ли все еще закон Мура? **(3 балла)**

Всего – 5 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 7. Закон Мура действует?..

- 1 – 2. В настоящее время разработан технологический процесс с предельным размером компонентов в 7 нм, в то время как перспективный разрабатываемый процесс позволит уменьшить этот размер до 5 нм.
3. С момента выпуска первого процессора прошло ~ 46 лет. За это время удвоение числа транзисторов должно было случиться 23 раза. Ожидаемое число транзисторов к настоящему времени:

$$2300 \cdot 2^{23} \cong 19.3 \text{ млрд.}$$

Очевидно, что закон Мура продолжает действовать до сих пор!



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 8. Одноэлектронный транзистор

Одноэлектронный транзистор – транзистор нанометрового размера, в котором отдельные электроны могут управлять током транзистора. А сколько электронов протекает через обычный транзистор за $\tau = 1$ наносекунду, если ток через транзистор $I = 1$ мА?

Сколько электронов находится на обкладке конденсатора ёмкостью $C = 1$ нФ, если на него подано напряжение $U = 1$ В?

Всего – 4 балла



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 8. Одноэлектронный транзистор

$$N = \frac{q}{e} = \frac{I\tau}{e} = \frac{10^{-12} \text{ Кл}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 6,25 \cdot 10^6 \quad (2 \text{ балла})$$

$$N = \frac{CU}{e} = \frac{10^{-9} \text{ Кл}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 6,25 \cdot 10^9 \quad (2 \text{ балла})$$



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 9. Так ли там много места?

Известно, что молекулы газа способны проникать в поры довольно малого размера. Рассчитайте количество таких молекул в цилиндрической поре длиной 100 мкм и диаметром 40 нм, если давление в ней равно 0.5 атм, а температура комнатная (298 К). Газ считать идеальным.

Всего – 5 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 9. Так ли там много места?

1. Найдём объём поры:

$$V = SL = \pi R^2 L = \pi \cdot \left(\frac{40 \cdot 10^{-9} \text{ м}}{2} \right)^2 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 1.257 \cdot 10^{-19} \text{ м}^3$$

2. Количество вещества по уравнению Клапейрона-Менделеева:

$$\nu = \frac{PV}{RT} = \frac{0.5 \cdot 101325 \text{ Па} \cdot 1.257 \cdot 10^{-19} \text{ м}^3}{8.314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 298 \text{ К}} = 2.57 \cdot 10^{-18} \text{ моль}$$

3. Количество молекул:

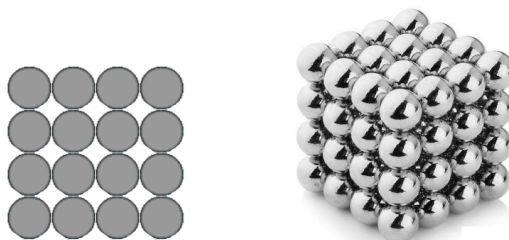
$$N = \nu N_A = 2.57 \cdot 10^{-18} \text{ моль} \cdot 6.02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}} \approx 1.5 \text{ млн молекул}$$

Всего 5 баллов: Первые два действия – по 2 балла, последнее – 1 балл.



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 10. Олимпиадные нанокластеры



Два школьника получили одинаковые наборы шариков и задание – сложить из них модели нанокластеров, при этом должно остаться как можно меньше шариков.

Первый школьник сложил из шариков модели нанокластеров в виде двух квадратов со сторонами $(O + 1)$ и $(4O - 5)$ шариков, лишних шариков при этом не осталось. Второй школьник сложил три модели нанокластеров: один кубик и два квадрата с ребрами, равными O . При этом у него осталось 2 шарика.

Найдите все возможные значения O . Сколько шариков при этом было в наборах? Как одно из полученных решений связано с текущей Олимпиадой?

Примечание: решения кубического уравнения являются делителями свободного члена.

Всего – 5 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 10. Олимпиадные нанокластеры

$$(O + 1)^2 + (4O - 5)^2 = O^3 + 2O^2 + 2$$

$$O^2 + 2O + 1 + 16O^2 - 40O + 25 = O^3 + 2O^2 + 2$$

$$O^3 - 15O^2 + 38O - 24 = 0$$

$O = 2$ является решением, число шариков в наборе $2^3 + 2 \cdot 2^2 + 2 = 18$.

$O = 3$, $O = 4$, $O = 6$, $O = 8$ не являются решением.

$O = 12$ является решением, число шариков в наборе $12^3 + 2 \cdot 12^2 + 2 = \underline{2018}$.

Ответ:

$O = 2$ и 18

Число шариков – **12** и **2018**

2018 – год проведения очного тура **12**-й Интернет-олимпиады «Нанотехнологии – прорыв в будущее!».



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 11. Сложно быть жирафом



Жираф – самое высокое наземное животное. Высота самцов жирафа может превышать 6 метров (треть из которых приходится на шею), а вес может достигать двух тонн (в среднем немного выше тонны). Это позволяет жирафам питаться листьями с высоких крон деревьев. Однако наличие такого большого роста приводит к особенностям поведения и физиологии жирафа. Ниже мы предлагаем Вам ответить на несколько простых вопросов о жирафе. Укажите, истинны (и) или ложны (л) приведенные ниже утверждения. За каждый правильный ответ вы получаете 0.5 балла.

1. У жирафа шея состоит из 29 шейных позвонков.
2. Жирафы не общаются при помощи звуков.
3. Жирафы – обитатели тропических лесов.
4. Кровяное давление у жирафа гораздо выше, чем у человека.
5. Артериальная кровь жирафа насыщена кислородом так же, как и у человека.
6. Жирафы – «марафонцы» и способны пробегать на большие расстояния.
7. Жирафы редко пьют воду.
8. В кровеносных сосудах шеи у жирафов есть специальные клапаны, защищающие его мозг от чрезмерного потока крови при опускании головы (отсутствие таких клапанов могло привести к смерти животного).
9. Высокий рост жирафа приводил бы к постоянным отекам ног, поэтому в его организме существует ряд адаптационных механизмов (в сердечно-сосудистой системе и коже), препятствующих этому.
10. Жирафы всегда поднимаются медленно, поскольку при резком подъеме может возникнуть недостаток кислорода в мозге, что приведет к обмороку животного.

Представим, что были разработаны специальные нанороботы, которые не отвергаются иммунной системой жирафа и способны переносить кислород. Прокомментируйте, изменится ли истинность или ложность вышеприведённых утверждений. Учтите, что комментарий будет зачитываться только, если вы приведете аргументы за или против (не нужно писать подробно, но постарайтесь делать логичные утверждения!), за каждый правильный комментарий вы получаете **0,5 баллов**.

Всего – 10 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 11. Сложно быть жирафом

1. Ложное (у жирафа 7 больших шейных позвонков)
2. Ложное (общаются, но используют для этого низкочастотные звуки, практически не различимые человеческим ухом)
3. Ложное (жирафы обитатели саванн, это особые лесостепи, в лесу они слишком уязвимы для хищников)
4. Истинное утверждение (иначе было бы невозможно снабжать кислородом различные органы)
5. Ложное (несмотря на ряд адаптационных приспособлений из-за больших размеров и роста животного, а также особенностей дыхательной системы, содержание кислорода в артериальной крови обычно ниже чем в человеческой)
6. Ложное (хотя жирафы способны достаточно быстро бегать на короткие расстояния бегать на длинные они неспособны)
7. Истинное утверждение (поскольку из-за длинной шеи и высокого роста питье воды достаточно сложный и медленный процесс, это приводит к высокой уязвимости животного в процессе водопоя)
8. Истинное утверждение
9. Истинное утверждение
10. Истинное утверждение

Если бы у жирафа в крови были особые нанороботы, способные переносить кислород

1. Присутствие таких нанороботов не повлияет на это утверждение.
2. Присутствие таких нанороботов не повлияет на это утверждение.
3. Присутствие таких нанороботов не повлияет на это утверждение, жирафы в лесу будут по-прежнему уязвимы.
4. Здесь возможны различные варианты ответа. Весь организм жирафа, вся его сосуды и сердце адаптировано к чрезвычайно высоким давлениям. Появление нанороботов, возможно снизит потребность в кислороде и соответственно уменьшится необходимость в таком высоком давлении, однако для снижения давления придется проводить серьезную перестройку организма жирафа, что мало вероятно, по крайней мере, в обозримом будущем. Поэтому наличие нанороботов не изменит смысл данного утверждения.
5. В присутствии нанороботов данное утверждение, скорее всего, станет истинным.
6. Если дополнительный кислород, переносимый нанороботами, будет усваиваться тканями, то данное утверждение, скорее всего, станет истинным.
7. В первом приближении наличие нанороботов не повлияет на истинность или ложность данного утверждения.
8. Клапаны будут необходимы, причем, по-видимому, при наличии нанороботов данная проблема только усугубится и опускать голову жирафу придется еще медленнее.
9. В первом приближении наличие нанороботов не повлияет на истинность или ложность данного утверждения.
10. В этом случае утверждение должно поменяться (хотя насколько быстро жирафы преодолеют свои безусловные рефлексы, это большой вопрос).



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 12. Это животное обитает в ...

Ниже представлены фотографии 10 животных, обитающих в разных регионах мира. Под каждой фотографией приведено утверждение, касающееся места обитания этого животного. Укажите, истинны (и) или ложны (л) приведенные ниже утверждения. За каждый правильный ответ вы получаете 0.5 балла.

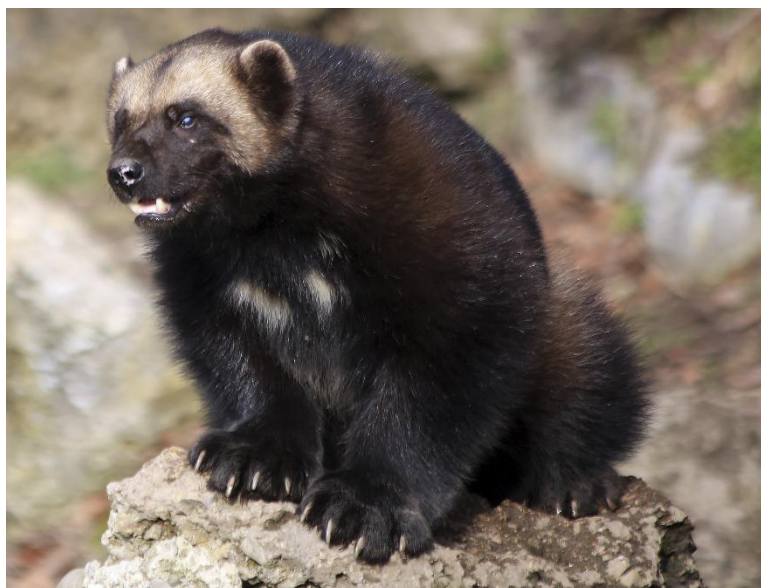
1. Это животное обитает в Латинской Америке.



2. Это животное обитает в Арктике.



3. Это животное обитает в Евразии и Северной Америке.



4. Это животное обитает в Австралии.



5. Это животное обитает в Африке.



6. Это животное обитает в Евразии и Северной Америке.



7. Это животное обитает в Африке.



8. Это животное обитает в Папуа Новой Гвинее и Австралии.



9. Это животное обитает в Австралии.



10. Это животное обитает в центральной Азии (юго-западе Китая).



Одно из этих животных может модифицировать свою окраску, используя наноструктуры. Укажите это животное (**2 балла**), кратко объясните, в результате чего это происходит (**1 балл**). Укажите источник информации, который вы использовали для ответа на этот вопрос (академичность ссылок приветствуется). (**2 балла**)

Всего – 10 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 12. Это животное обитает в ...

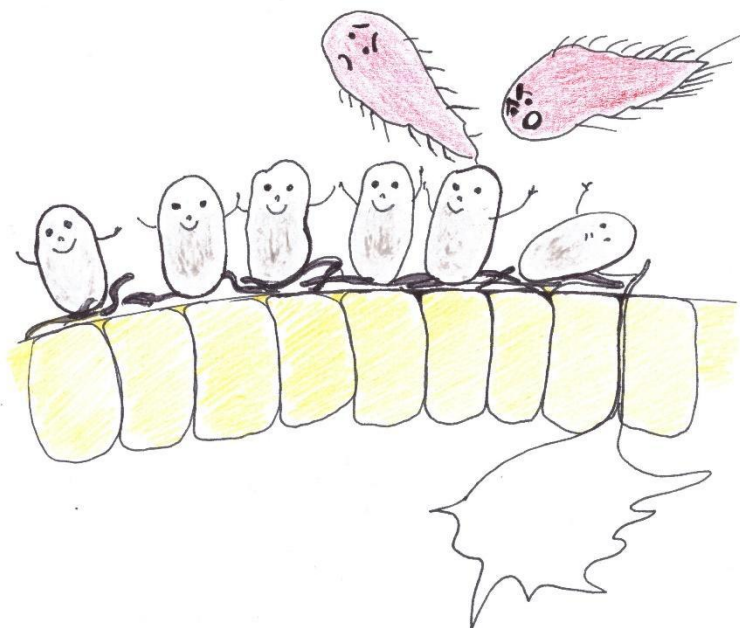
1. Истинно. Это трехпоясный броненосец.
2. Ложно. Это пингвин.
3. Истинно. Это росомаха.
4. Ложно. Это поркупин – североамериканский дикобраз.
5. Ложно. Это азиатский (индийский) слон.
6. Ложно. Это (евразийская) сойка.
7. Ложно. Это гребнистый (морской) крокодил.
8. Истинно. Это казуар.
9. Истинно. Это динго.
10. Истинно. Это малая (красная панда).

Животное, у которого может изменяться окраска некоторых перьев, – сойка. Цвет некоторых перьев сойки способен изменяться в диапазоне от синего к белому не за счет пигмента, а за счет наноструктур, формируемых из кератина. Эти структуры способны к самоорганизации, в результате изменения структур происходит изменение преломления света и, соответственно, изменение окраски пера.

Parnell A.J., Washington A.L., Mykhaylyk O.O., Hill C.J., Bianco A., Burg S.L., Dennison A.J.C., Snape M., Cadby A.J., Smith A., et al. // 2015. V.5: P. 18317. <https://www.nature.com/articles/srep18317>



Юный эрудит (заочный тур)
Задача 13. Все о микрофлоре



С экранов телевизоров, рекламных щитов и просто в разговоре мы можем часто услышать: "Это нарушена микрофлора кишечника". Пострадавшим советуют пить живые йогурты, ряженку и кефир, чтобы эту самую микрофлору восстановить. Пожалуйста, ответьте на следующие вопросы:

1. Что это такое, микрофлора кишечника? Из чего (или кого) она состоит и какие функции выполняет? Откуда микрофлора в кишечнике берется?
2. Почему йогурты и кефир помогают восстановить микрофлору?
3. Какие воздействия на человеческий организм негативно влияют на микрофлору кишечника?
4. Что такое "патогенная" и "полезная" микрофлора?
5. Почему для подавления "патогенной" микрофлоры на слизистых носоглотки иногда используют раствор коллоидного серебра, а для кишечника – нет?

Всего – 5 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

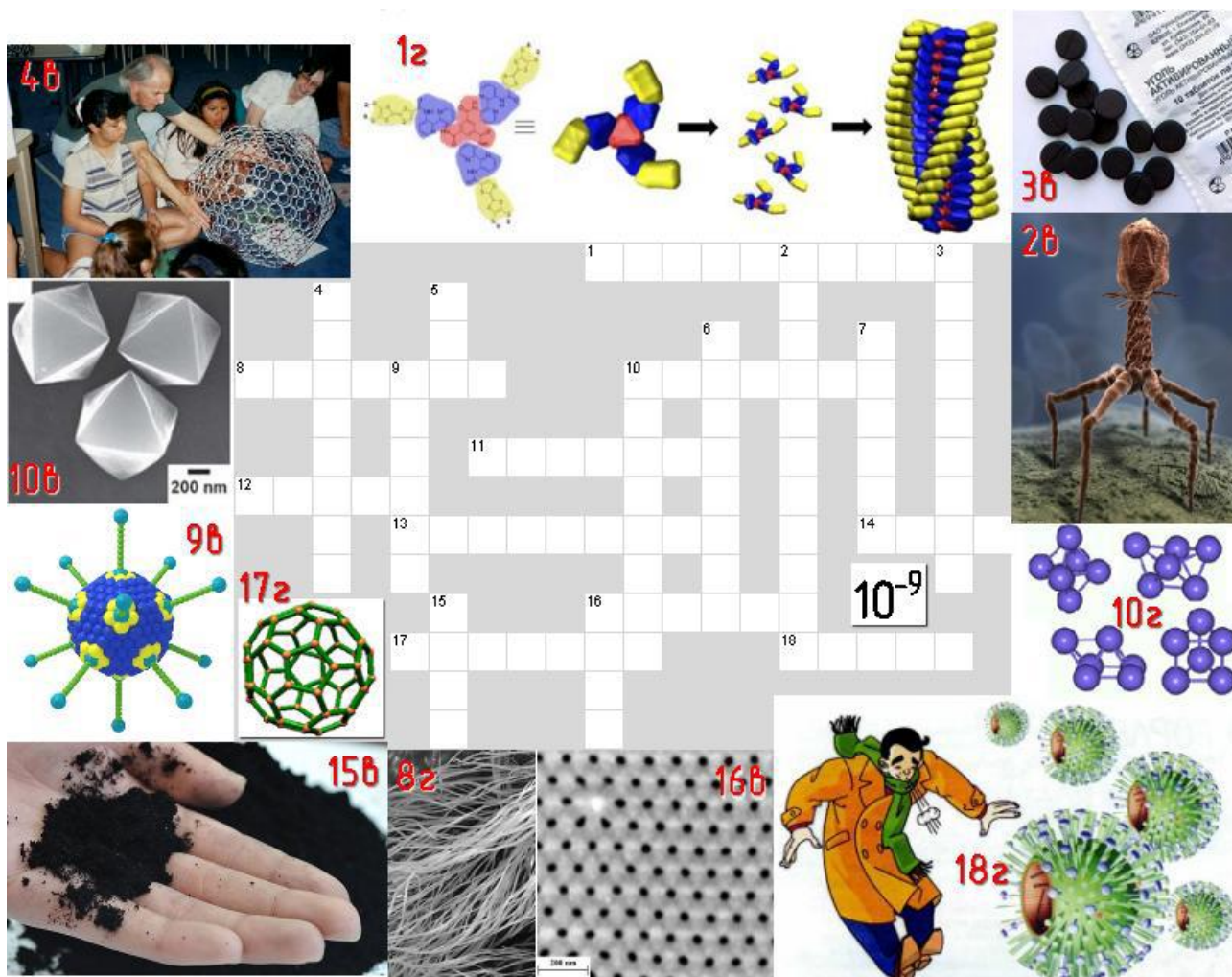
Решение задачи 13. Все о микрофлоре

1. Микрофлора или микробиом кишечника состоит, в основном, из лакто-и бифидобактерий, кроме того, в кишечнике есть некоторое количество бактерий – кишечных палочек и стрептококков. Функции полезных бактерий – самые разнообразные: бактерии расщепляют молочный белок на аминокислоты и пептиды, которые человек легко усваивает. Кроме того, бактерии сбраживают молочный сахар в молочную кислоту, которая легко используется организмом. Лактобактерии и бифидобактерии бактерии, содержащиеся в кишечнике, потребляя часть нашей еды, делают для нас некоторые витамины, аминокислоты – кирпичики для строения новых белков – и еще не дают развиваться вредным, болезнетворным бактериям. Это особенно важно для новорожденных детей, иммунная система которых сформировалась, но еще не активна. Именно за такую активацию иммунитета отвечают полезные бактерии, попадающие в кишечник новорожденного ребенка. В этом им помогают компоненты грудного молока – олигосахариды молока, которые обеспечивают прикрепление “хороших” бактерий к стенкам кишечника. Кусочки полезных бактерий захватывают особые специализированные, так называемые, М-клетки стенок кишечника и “показывают” их иммунным клеткам, вызывая активацию иммунитета. Благодаря этому иммунные клетки смогут эффективно “сражаться” с болезнетворными бактериями в случае их попадания в кишечник. Самые первые бактерии появляются у новорожденных детей при их рождении, а потом они продолжают поступать в организм ребенка с грудным молоком. Появляется все больше данных о том, что некоторое количество бактерий может быть в кишечнике развивающегося ребенка еще внутриутробно, а также они могут быть в плаценте.
2. Йогурты и другие кисломолочные продукты помогают полезным бактериям прикрепляться к стенкам кишечника за счет олигосахаридов молока и тем самым способствуют быстрому размножению бактерий. Существует точка зрения, что за счет бактерий кисло-молочного продукта может происходить восстановление микрофлоры, но это до конца не доказано.
3. Прием антибиотиков, несбалансированное питание, некоторые заболевания, сопровождающиеся диареей и нарушением пищеварения.
4. Болезнетворные, или патогенные, бактерии – это те бактерии, которые в норме не присутствуют в кишечнике и которые могут вызвать различные заболевания, начиная от расстройства пищеварения до более серьезных нарушений.
5. Раствор коллоидного серебра при попадании в кишечник может быть токсичным для человека. Облепляя ворсинки кишечника, наночастицы могут физически препятствовать всасыванию питательных веществ в кишечнике. Кроме того, наночастицы серебра могут подавлять жизнедеятельность не только патогенных бактерий, но и полезных бактерий собственной микрофлоры организма.



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 14. Кроссворд



По горизонтали

1. Способ создания сложного путем объединения простого (рис. 1г).
8. Длинный и тонкий материал (рис. 8г).
10. «Гроздь» атомов (рис. 10г).
11. Нано-... – один из самых распространенных объектов нанотехнологий.
12. рис. 2в, а также **18г**.
13. Способ защиты организма от подобных **12г** объектов.
14. Мера на 9 порядков меньше.
16. Плоская и тонкая.
17. Широко известный **4в** (рис. 17г).
18. Размером 80 нм, иногда «устраивает» **6в** (рис. 18г).

По вертикали

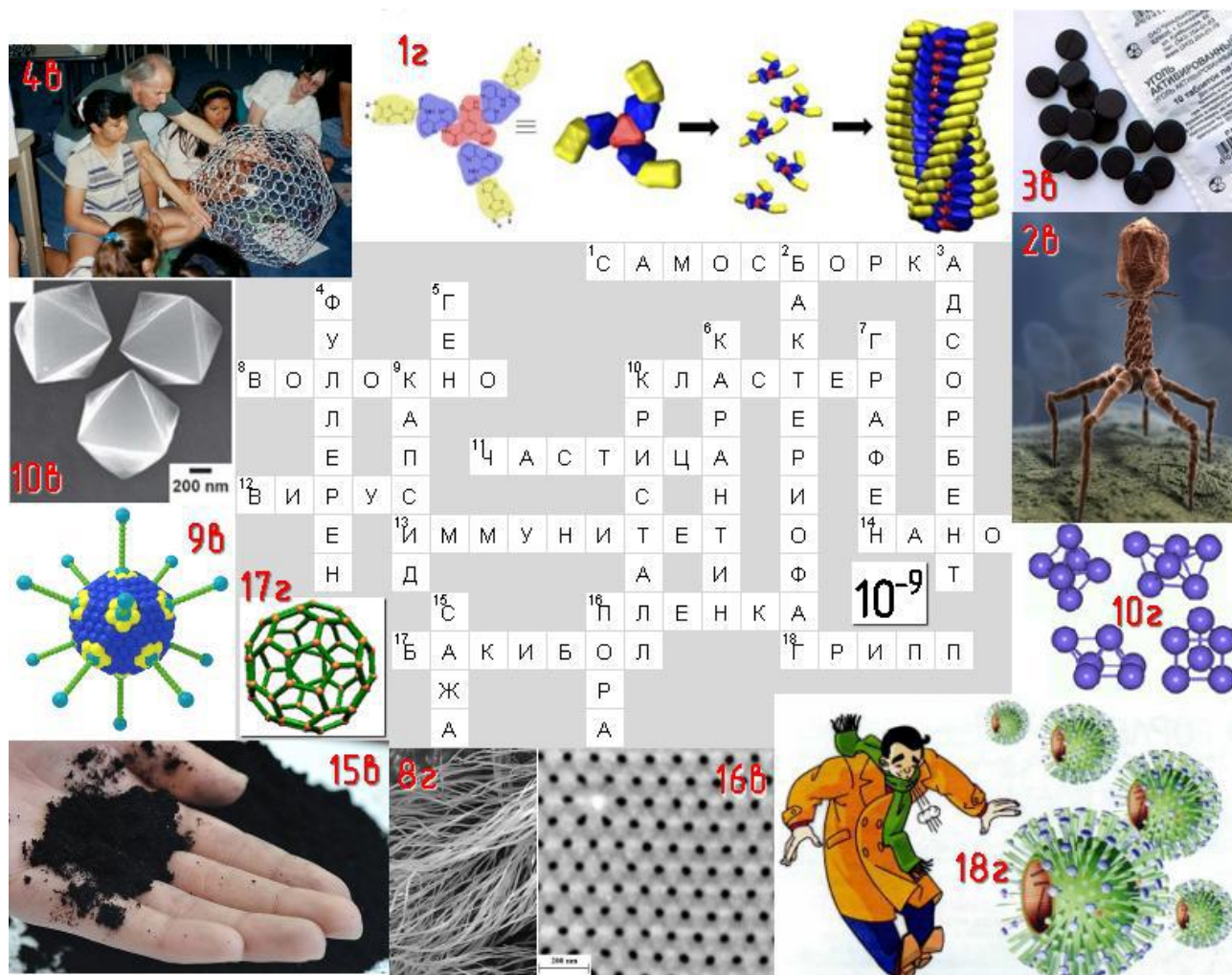
2. **12г** для бактерий (рис. 2в).
3. Нанопоглотитель (рис. 3в).
4. Наночастица из **7в**, за его открытие вручена Нобелевская премия по химии (рис. 4в).
5. Единица наследственной информации.

6. Внеплановые «каникулы» из-за **12г** (и **18г**).
7. За его получение тоже дали Нобелевскую премию, но по физике.
9. Белковая «одежда» **12г, 18г** и **2в**, (рис. 9в).
10. Рис. 10в.
15. «Домашний» источник наночастиц (рис.15в).
16. Узкий туннель в веществе (рис. 16в).

Всего – 10 баллов



Юный эрудит (заочный тур) Решение задачи 14. Кроссворд



По горизонтали

1. **Самосборка** – способ создания сложного путем объединения простого (рис. 1г).
8. **Волокно** – длинный и тонкий материал (рис. 8г).
10. **Кластер** – «гроздь» атомов (рис. 10г).
11. **Нано-Частица** – один из самых распространенных объектов нанотехнологий.
12. **Вирус** – (рис. 2в), а также 18г.
13. **Иммунитет** – способ защиты организма от подобных 12г объектов.
14. **Нано** – мера на 9 порядков меньше.
16. **Пленка** – плоская и тонкая.
17. **Бакибол** – широко известный 4в (рис. 17г).
18. **Грипп** – размером 80 нм, иногда «устраивает» 6в (рис. 18г).

По вертикали

2. **Бактериофаг** – 12г для бактерий (рис. 2в).
3. **Адсорбент** – нанопоглотитель (рис. 3в).
4. **Фуллерен** – наносфер из 7в, за его открытие вручена Нобелевская премия по химии (рис. 4в).

5. **Ген** – единица наследственной информации.
6. **Карантин** – внеплановые «каникулы» из-за **12г** (и **18г**).
7. **Графен** – за его получение тоже дали Нобелевскую премию, но по физике.
9. **Капсид** – белковая «одежда» **12г**, **18г** и **2в**, (рис. 9в).
10. **Кристалл** – рис. 10в.
15. **Сажа** – «домашний» источник наночастиц (рис.15в).
16. **Пора** – узкий туннель в веществе (рис. 16в).



Юный эрудит (заочный тур) Задача 15. Нанofilворд



На поле размером 12 на 16 букв зашифрованы 14 слов, имеющих то или иное отношение к нанотехнологиям. Способ поиска показан на примере слова «олимпиада» (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 14 слов и написать, какое именно отношение зашифрованные здесь понятия имеют к нанотехнологиям. А помогут Вам в поиске картинки, размещенные рядом с полем филворда.

Всего – 7 баллов



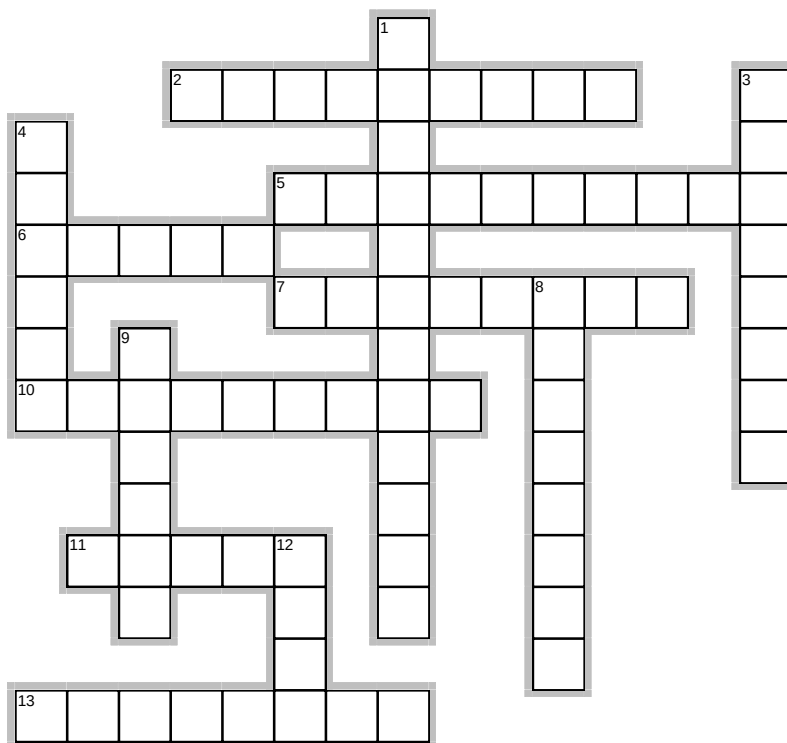
Юный эрудит (заочный тур) Решение задачи 15. Нанofilворд

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



Юный эрудит (заочный тур)

Задача 16. Генетический кроссворд



По горизонтали

2. Исправление поврежденной молекулы ДНК.
5. Участок хромосомы, необходимый для распределения гомологичных хромосом по дочерним клеткам.
6. Единица генетического кода, тройка расположенных подряд нуклеотидных остатков в ДНК или РНК, кодирующая определённую аминокислоту.
7. Фермент, расщепляющий молекулы нуклеиновых кислот.
10. Подавление активности генов.
11. Участок хромосомы, где расположен определённый ген.
13. Последовательность нуклеотидов в гене, к которому присоединяется РНК-полимераза для начала транскрипции.

По вертикали

1. Синтез РНК с помощью ДНК-матрицы.
3. Небольшая кольцевая или линейная молекула ДНК, не включенная в состав хромосом и автономно реплицирующаяся.
4. Молекула нуклеиновой кислоты, инструмент для введения генетической информации в клетку.
8. Неполовая хромосома.
9. Группа совместно транскрибируемых генов, кодирующих совместно или последовательно работающие белки.
12. Участок молекулы ДНК или белка.

Всего – 7 баллов



Юный эрудит (заочный тур)

Решение задачи 16. Генетический кроссворд

По горизонтали

2. Репарация.
5. Центромера.
6. Кодон.
7. Нуклеаза.
10. Репрессия.
11. Лocus.
13. Промотор.

По вертикали

1. Транскрипция.
3. Плазмида.
4. Вектор.
8. Аутосома.
9. Оперон.
12. Сайт.



Химия для школьников

Химия

Категория участников: школьники 7-11 классов

Блок теоретических заданий по **химии для школьников 7-11 классов** включает задачи разной сложности. Для повышения вероятности прохождения на очный тур Вам желательно решить задачи не только по химии, но и по физике, математике, биологии, чтобы набрать больше баллов. Все прошедшие на очный тур обязательно решают задачи по всем четырем предметам.

Задания

1. Отделение воды от нефти

На рисунке в файле изображен оксид графена (ОГр). Это двумерный углеродный наноматериал. Часть атомов углерода окислена. В простейшем случае окисление приводит к образованию эпоксидных групп (см. рис.). Формула оксида графена C_xO , где x – переменное число...

2. Деградация красителя

Проблема загрязнения природных водоемов продуктами производственной деятельности человека, например, органическими красителями, представляет серьезный вызов, требующий нетривиальных подходов. В частности, в настоящее время широко изучается фотокаталитический метод...

3. Желтые кристаллы

Школьник нашел ампулу без этикетки с желтыми кристаллами игольчатой формы. Взвесив содержимое в перчаточном боксе в атмосфере аргона, он определил массу навески – 0,102 г. Навеска была разделена на три равные части для определения состава и проведения синтеза...

4. Неорганические люминофоры

Вещество **X** состоит из трех элементов – двух металлов и одного галогена (массовые доли элементов – 22.9%, 35.7%, 41.4%). Оно принадлежит хорошо известному классу неорганических веществ, однако его интересные оптические свойства были открыты совсем недавно...

5. Синтез полупроводника

Вещество **X** очень перспективно для электроники, т.к. проявляет свойства полупроводника, имеет слоистую структуру и может быть получено в виде монослоя подобно графену. Оно состоит из двух элементов – металла и неметалла. Массовая доля металла в **X** составляет 60%, а мольная – 1/3...

6. Оксидные соты

Одним из наиболее перспективных мембранных материалов последнего времени является нанопористый анодный оксид алюминия (рис. в файле). К его основным достоинствам, помимо всего прочего, можно отнести простоту получения и уникальную пористую структуру...

7. Новые материалы для литий-ионных аккумуляторов

В качестве материалов для анода в литий-ионных аккумуляторах требуются вещества, обладающие высокой устойчивостью. Одно из них – вещество **X** – соответствует этому требованию, но обладает низкой электрической и ионной проводимостью...

8. Магнитные наночастицы

Образец руды, содержащий металлы **A** и **B**, сожгли в токе воздуха. Образовавшийся твердый остаток растворили в соляной кислоте, а затем нейтрализовали раствором аммиака. При этом выпал бурый осадок **A₁**, который отфильтровали. Через фильтрат пропускали ток углекислого газа...

9. Там еще есть пустое место!

Темные кристаллы **X** и **Y** состоят из упорядоченно расположенных нанообъектов одинакового элементного состава. При этом в **A**, **B**, **C** – продуктах их реакций с простым веществом **Z** – структура и состав исходных нанообъектов остаются неизменными...

10. Моделирование и синтез каркасных наноструктур

Юный химик Полуэкт захотел изготовить замкнутые каркасные наноструктуры **Z** методом

самосборки. Для этого он решил комбинировать **k**-валентные **k**-угольники из фрагментов **X** с трехвалентным фрагментом **Y**, при этом они по отдельности не образуют связей сами с собой...

Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 1. Отделение воды от нефти

На рисунке 1 изображен оксид графена (ОГр). Это двумерный углеродный наноматериал. Часть атомов углерода окислена. В простейшем случае окисление приводит к образованию эпоксидных групп (см. рис. 1). Формула оксида графена C_xO , где x – переменное число, зависящее от способа окисления.

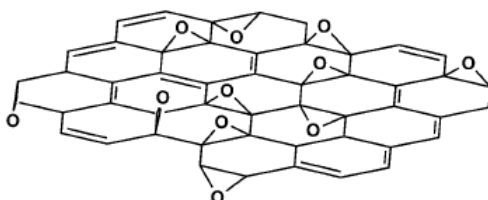


Рис. 1. Простейшая структура оксида графена.

Предполагается, что весь кислород входит в состав эпоксидных групп

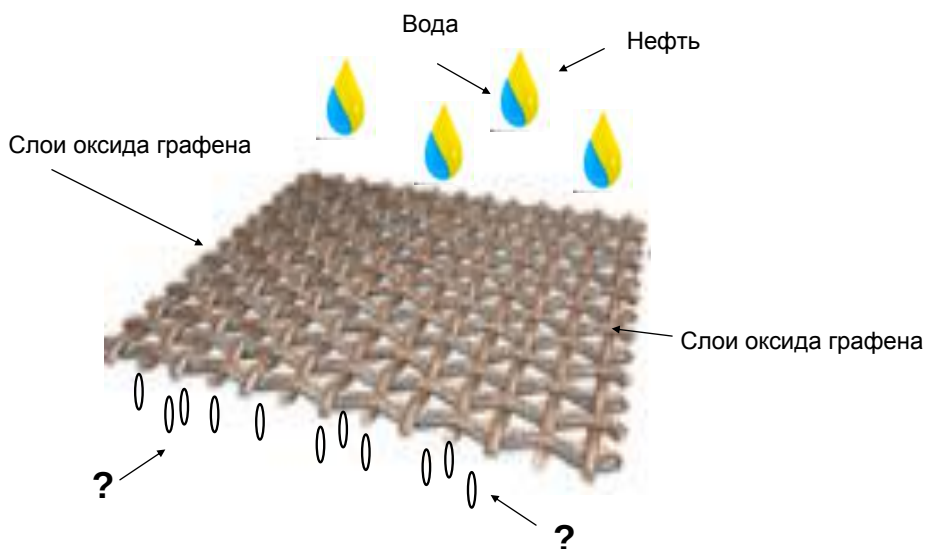


Рис. 2. Устройство для разделения воды и нефти. Металлическая сетка покрыта слоями оксида графена. Какая из жидкостей пройдет сквозь сетку?

Вопросы

- Если в формуле ОГр $x = 6$, то какая доля (%) атомов С сохраняет sp^2 гибридизацию? **(2 балла)**
- При восстановлении ОГр происходит увеличение x , а при полном восстановлении образуется графен. Хорошим восстановителем является гидразин.
 - Напишите уравнение реакции полного восстановления ОГр гидразином. Учтите, что азот изменяет степень окисления только на 1. **(1 балл)**

- б) Сколько граммов гидразина потребуется для превращения 50 мг ОГр состава C_3O в частично восстановленный ОГр с формулой $C_{13}O$? Для успешного проведения эксперимента требуется 15%-й избыток гидразина. **(2 балла)**

На рисунке 2 изображено устройство для отделения воды от нефти. Это стальная сетка, покрытая восстановленным ОГр.

Вот, как описывают авторы свой способ изготовления устройства:

«ОГр, приготовленный окислением исходного материала,....., растворяют в..... Стальную сетку в получившийся раствор на 24 часа, а затем на воздухе при температуре 40 °С. После этого сетку обрабатывают снизу кислородной плазмой для восстановления..... в сетке. Затем сетку обрабатывают гидразином. После этого поверхность сетки становится супер.....»

3.

- а) Вставьте в текст, выделенный курсивом, пропущенные слова. **(1,5 балла)**
- б) Если смесь воды и нефти подается сверху, что проходит сквозь сетку вниз, вода или нефть? Объясните. **(2,5 балла)**
- в) При изготовлении устройства авторы сначала окисляют *исходный материал*, а затем восстанавливают его гидразином. Почему нельзя сделать проще и сразу нанести *исходный материал* на сетку? **(1 балл)**

Всего – 10 баллов



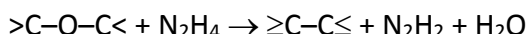
Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 1. Отделение воды от нефти

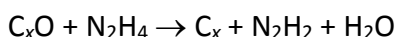
1. sp^2 гибридизацию сохраняют атомы углерода, не связанные с кислородом. Как видно на рисунке 1, каждый атом кислорода связан с двумя атомами углерода. По условию задачи, на каждый атом кислорода приходится шесть атомов углерода, следовательно, четыре из шести атомов углерода (~67%) сохраняют sp^2 гибридизацию. Правильный ответ давал **2 балла**.

2.

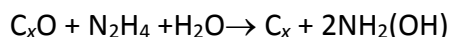
- а) Реакция с гидразином:



или



Уравнение



тоже считалось правильным ответом. Оба ответа давали **1 балл**.

- б) $13C_3O + 10N_2H_4 \rightarrow 3C_{13}O + 10N_2H_2 + 10H_2O$

$M_{C_3O} = 52$ г/моль; $M_{N_2H_4} = 32$ г/моль. Для окисления 50 мг ОГр требуется $(50 \cdot 32 \cdot 10) / (52 \cdot 13) = 23.7$ мг N_2H_4 .

С учетом избытка, $m(N_2H_4) = 23.7 \cdot 1.15 = \mathbf{27.2}$ мг.

Здесь оценивалась только цифра! Если цифра верная – это давало **2 балла**. Любая ошибка, даже мелкая арифметическая, снижала оценку сразу до нуля.

3.

- а) «ОГр, приготовленный окислением исходного материала, **графита**, растворяют в **воде**. Стальную сетку **погружают** в получившийся раствор на 24 часа, а затем **сушат** на воздухе при температуре 40 °С. После этого сетку обрабатывают снизу кислородной плазмой для восстановления **отверстий** в сетке. Затем сетку обрабатывают гидразином. После этого поверхность сетки становится супергидрофобной.» (**0.25 балла** за каждое слово)

Отметим типичные ошибки. Исходным материалом служил, конечно, **графит**, а не **графен**. Графит – доступный, дешевый материал, а графен, как материал, пока еще не существует. Есть лабораторные образцы, но, кто же будет их тратить на изготовление сеток? Растворителем является **вода**, а не серная кислота, как писали многие. Это важная деталь. С водой просто работать... Мало, кто догадался, что кислородная плазма восстанавливала **отверстия**. Писали, что это химическое восстановление. Зачем же тогда гидразин?

При оценке этого пункта приходилось делать округления, т.к. дробные баллы в Олимпиаде не ставились. Два угаданных слова (обычно это были самые очевидные слова: *погружают* и *сушат*) – это **0 баллов**. Три и четыре угаданных слова – **1 балл**. Пять и шесть правильных ответов были редкостью. Здесь в каждом случае вопрос решался индивидуально.

- б) После восстановления поверхность ОГр становится гидрофобной. Только нефть, но не вода способна попасть на сетку с верхней стороны. Поэтому, нефть проходит и на другую сторону, стекает вниз, а вода остается в пространстве над сеткой. Все дело в гидрофобности!

Если в ответе было четко сказано, что вниз проходит только нефть, участник получал **2 балла**. Если вдобавок давалось объяснение, то, это учитывалось при округлении. Несколько участников за вопросы 2 (а,б) получили в сумме **4 балла**.

- в) Сам *исходный материал*, графит, не растворяется ни в воде, ни в других растворителях. Нет простого способа нанести его на поверхность сетки! Наличие эпоксидных групп делает ОГр гидрофильным. При $x=2-3$ C_xO растворяется в воде, и его легко нанести на поверхность сетки ровным слоем. При изготовлении устройства гидрофильность материала является плюсом. Однако, при работе устройства гидрофильность поверхности – минус, капли воды могут садиться на поверхность и проникать сквозь сетку вниз. Восстановление снижает гидрофильность, и устройство начинает работать правильно. Чем больше x , тем лучше!

Этот вопрос оказался самым трудным. Правильных ответов почти не было. Правильный ответ давал **1 балл**.



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

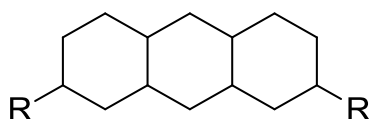
Задача 2. Дегградация красителя

Проблема загрязнения природных водоемов продуктами производственной деятельности человека, например, органическими красителями, представляет серьезный вызов, требующий нетривиальных подходов. В частности, в настоящее время широко изучается фотокаталитический метод дегградации подобных веществ с применением в качестве катализаторов наночастиц некоторых соединений.

Так, дегградация органического красителя **A** при облучении светом в водном растворе резко усиливается в присутствии наночастиц соединения **X**. Наночастицы **X** для целей эксперимента получают при нагревании раствора (в качестве растворителя выступает смесь воды и нескольких предельных спиртов) соединения **Y** – нитрата металла, содержащего 13,82% металла и 10,40% азота.

1. Установите формулы соединений **X** и **Y**, приведя логику своих рассуждений и необходимые расчеты. **(1,5 балла)**

Известно, что один из таутомеров катиона, образующего **A**, ($C_{16}H_{18}N_3S^+$) является высокосимметричным соединением, содержащим 2 типа атомов азота и 4 типа атомов водорода. Структура данного катиона может быть представлена в следующем виде без указания неопределенных связей (**R** – заместитель):



Учтите, что в формировании полициклической системы принимают участие 12 атомов углерода.

2. Установите структуру данного таутомера. **(2 балла)**
3. Какой таутомер **A** отвечает за наличие у данного вещества характерного цвета? **(1 балл)**

Дегградация **A** в водном растворе в присутствии наночастиц соединения **X** и пероксида водорода протекает с образованием частиц, имеющих, по данным одной из разновидностей масс-спектрометрии, ESI-MS следующие соотношения m/z : 270 (**A1**), 256 (**A2**) и 111 (**A3**, $C_6H_{11}N_2$, содержит систему из трех сопряженных двойных связей).

4. Установите структуры **A1-A3**, если они состоят из тех же элементов, что и **A**. **(3 балла)**
5. Предложите две реакции разложения пероксида водорода в присутствии наночастиц **X** с образованием реакционноспособных радикалов. **(2 балла)**
6. Каким основным свойством, кроме высокой каталитической активности, с Вашей точки зрения, должен обладать катализатор разложения органических веществ в сточных водах? **(0,5 балла)**

Известно, что красящие свойства соединения **A** лежат в основе одного из методов лечения некоторых психиатрических заболеваний, в частности биполярных расстройств.

7. Предложите механизм лечебного эффекта соединения **A**. Обусловлен ли он наноразмерными частицами? **(1 балл)**

Всего – 11 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 2. Деградация красителя

1. Определим молекулярную массу металла, участвующего в образовании наночастиц, с учетом того, что формула **Y** может быть представлена $Me(NO_3)_n$, где n – степень окисления металла:

$$M = \frac{13.82 \cdot 14.01 \text{ г/моль} \cdot n}{10.40} = 18.62 \cdot n$$

При $n = 3$ получаем, что искомый металл железо ($M = 55.86 \text{ г/моль}$).

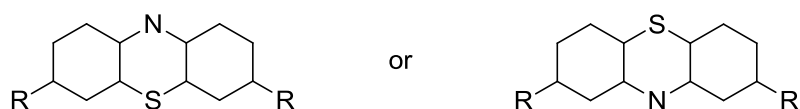
Остаток молярной массы не соответствует девяти атомам кислорода, поэтому резонно предположить, что **Y** – гидрат нитрата железа (III). Тогда нетрудно рассчитать число атомов кристаллизационной воды в соединении:

$$n(H_2O) = \frac{(100 \cdot 55.85/13.22) - 55.85 - 42.03 - 144}{18.02} = 9$$

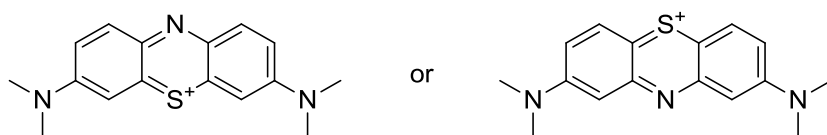
Отсюда формула **Y** – $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$, при нагревании которого в описанных в задаче условиях образуются наночастицы вещества **X** – оксида железа (III) $\alpha\text{-}Fe_2O_3$.

(формулы X и Y по 0.75 балла; всего 1.5 балла)

2. Количество атомов углерода в составе заместителя R составляет $(16-12)/2 = 2$. При этом в состав полициклической системы должны входить атом серы и атом азота, так как в случае вхождения в состав циклов двух атомов азота, на два одинаковых заместителя R будет приходиться всего один атом азота. Отсюда R содержит один атом азота. Высокая симметричность катиона соединения **A**, число типов атомов N и H приводят только к таким полициклическим фрагментам:



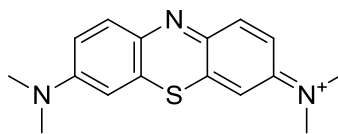
С учетом соотношения атомов водорода и углерода в структуре катиона **A**, он содержит систему ненасыщенных связей. В предельном случае полициклический фрагмент должен содержать 6 атомов водорода (тогда остальные 12 находятся в составе радикалов, по 6 на каждый). С учетом типов атомов водорода заместитель R должен иметь структурную формулу $(CH_3)_2N$, тогда формула искомого таутомерного катиона:



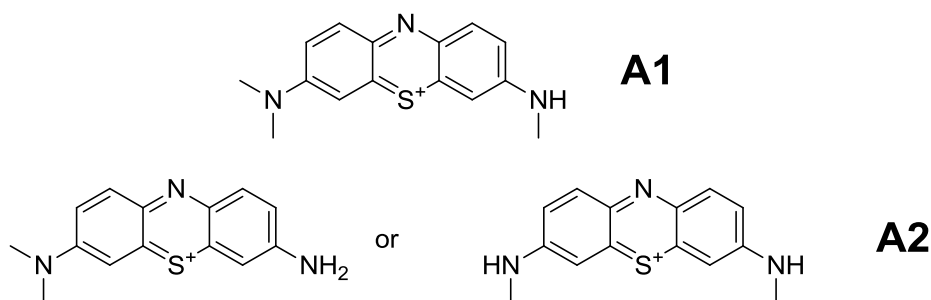
(одна структура – 1.5 балла, 2 структуры – 2 балла)

3. Для органических красителей принципиальной с точки зрения наличия окраски является хромофорная система – система сопряженных неперекрываемых связей,

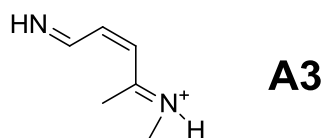
поэтому из двух вариантов остается только один, относящийся к группе хинониминовых синтетических красителей (метиленовый синий):



4. Исходя из последовательной утери при переходах **A**→**A1**→**A2** 14 единиц атомной массы (при этом обратим внимание на отсутствие в соединениях **A1** и **A2** атомов кислорода) можно однозначно утверждать, что на этих стадиях происходит реакция деметилирования с образованием следующих продуктов:



Принимая во внимание состав **A3**, с учетом предполагаемой структуры **A2** можно выделить соответствующий фрагмент:



(по 1 баллу за соединение, всего – 3 балла)

- $$\begin{aligned} 5. \quad & \text{Fe}^{3+}_{\text{surface}} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{2+}_{\text{surface}} + \cdot\text{OOH} + \text{H}^+ \quad (1); \\ & \text{Fe}^{2+}_{\text{surface}} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+}_{\text{surface}} + \cdot\text{OH} + \text{OH}^- \quad (2). \end{aligned}$$

(реакции по 1 баллу; всего 2 балла)

6. Важнейшим свойством катализаторов разложения органических веществ в сточных водах или непосредственно в водоемах выступает отсутствие у них токсичности, наличие которой бы нивелировало позитивное воздействие на состояние окружающей среды за счет каталитического действия. Отметим, что наночастицы оксида железа (III) с этой точки зрения являются идеальным агентом.
7. Использование метиленового синего в качестве лекарственного средства никоим образом не может напрямую повлиять на развитие психиатрических заболеваний, имеющих сложную гетерогенную природу. Но при этом с его помощью можно индуцировать эффект плацебо у лиц, страдающих биполярными расстройствами, заранее сообщив, что если их моча на фоне приема препаратов окрасится в синий цвет, это будет означать их выздоровление.

Физиологически это обусловлено тем, что в результате внушения мозг пациента начинает выработку соответствующих этому действию веществ, в частности эндорфинов, которые, по сути, частично заменяют действие лекарственных препаратов. В свою очередь, эндорфины представляют собой олигопептиды, размеры которых как раз находятся в нанодиапазоне.



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

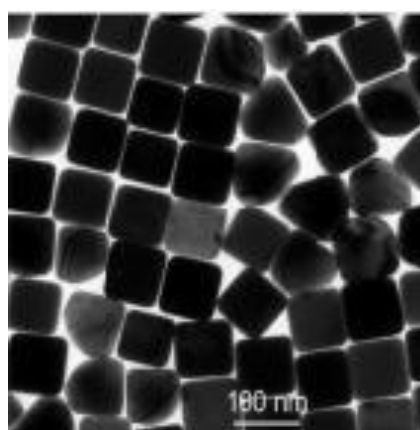
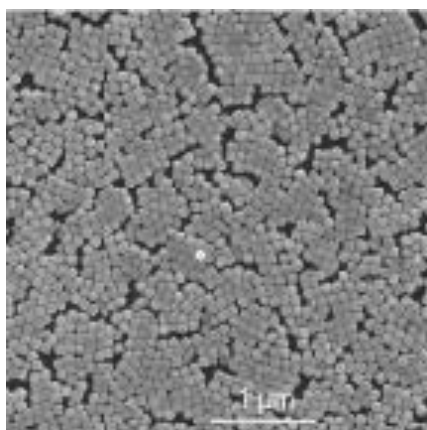
Задача 3. Желтые кристаллы

Школьник нашел ампулу без этикетки с желтыми кристаллами игольчатой формы. Взвесив содержимое в перчаточном боксе в атмосфере аргона, он определил массу навески – 0,102 г. Навеска была разделена на три равные части для определения состава и проведения синтеза.

Окислительно-восстановительные свойства соединения были исследованы юным экспериментатором в трех химических процессах. В первом случае навеска была растворена в 200 мл обезгаженной воды и подщелочена, далее при интенсивном перемешивании в водный раствор было впрыснуто 5 мл 0,1 М раствора боргидрида натрия, обладающего сильными восстановительными свойствами. При этом раствор в течение первой минуты имел желто-коричневую окраску, после чего сформировался коричневый осадок.

Вторая навеска также была растворена в 200 мл воды и подщелочена, далее при интенсивном перемешивании было добавлено 10 мл 0,05 М раствора цитрата натрия. Раствор не изменил окраску. Терпение естествоиспытателя имело пределы, и через 20 минут в раствор было впрыснуто еще 5 мл 0,1 раствора боргидрида натрия, приготовленного в избытке. К удовольствию школьника, был получен цветной раствор, имевший бордовую окраску, а выпадения осадка не наблюдалось. Спектр поглощения раствора содержал единственный широкий максимум ~530 нм.

Юный нанотехнолог догадался, каков состав соединения, и решил его использовать для обработки нанокристаллов серебра (см. рисунок). Для этого последняя навеска вещества была растворена в 50 мл воды, и при перемешивании добавлен 1 мл коллоидного раствора нанокристаллитов серебра, содержавший 0,0648 г кристаллов. Цвет продукта при этом изменился. Собрав осадок центрифугированием, школьник обнаружил, что масса осадка уменьшилась на 0,0127 г. При этом удалось установить, что в твердом продукте соотношение серебра и продукта гальванического восстановления 3 : 1.



1. Определите, какое вещество содержалось в ампуле. **(2 балла)**
2. Опишите химический процесс, протекавший с нанокристаллами серебра при взаимодействии с раствором вещества. **(2 балла)**

3. Предскажите, как изменится форма кристаллитов серебра после взаимодействия с раствором вещества. **(2 балла)**
4. Опишите процессы, протекавшие в экспериментах 1 и 2. Запишите уравнения реакций. Почему окраска растворов была разной? **(4 балла)**

Всего – 10 баллов



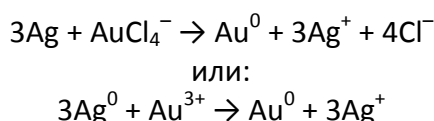
Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 3. Желтые кристаллы

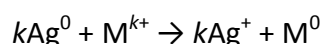
1 – 2. Гигроскопичные желтые кристаллы – HAuCl_4 .

Молярная масса безводных кристаллов составляет 340 г/моль. Таким образом, в ампуле содержится $3 \cdot 10^{-4}$ моль вещества, каждая из трех навесок – по $1 \cdot 10^{-4}$ моль вещества.

При взаимодействии с металлическим серебром протекает процесс:



Для неизвестного восстановителя уравнение можно записать так:



Уменьшение массы нанокристаллов серебра составляет 0,0127 г, что соответствует $\Delta m = (kM_{\text{Ag}} - M_{\text{M}}) \cdot n(\text{окислителя})$.

Зная массу исходного нанокристаллического серебра 0,0648 г (0,0006 моль Ag) и соотношение $\text{Ag}/\text{M} = 3 : 1$ в продукте взаимодействия, записываем уравнение:

$$(0,0648 - 0,0127) / n(\text{окислителя}) = (3M_{\text{Ag}} - M_{\text{M}}).$$

Выразив из двух уравнений $n(\text{окислителя})$, получаем равенство:

$$(0,0648 - 0,0127) / (3M_{\text{Ag}} - M_{\text{M}}) = 0,0127 / (kM_{\text{Ag}} - M_{\text{M}}).$$

Упрощаем: $M_{\text{M}} = (5,6268k - 4,1148) / 0,0648$.

Путем подбора k (k – целое число) находим молярную массу восстановившегося металла:

$k = 2$	$M = 108 \cdot 2 - 127 = 89$ г/моль	Иттрий Y^{2+} – не существует
$k = 3$	$M = 108 \cdot 3 - 127 = 197$ г/моль	Золото Au^{3+} – существует

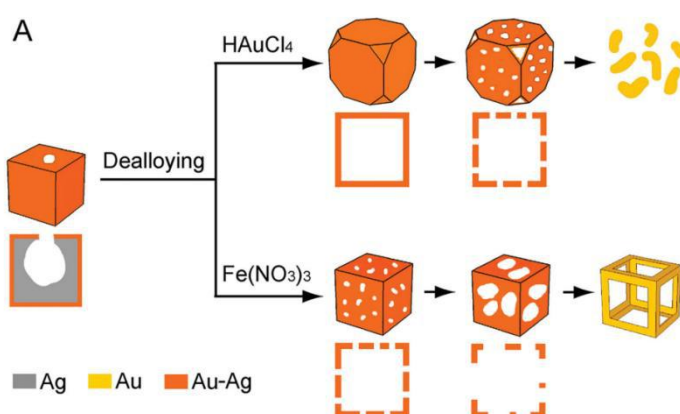
Находим количество вещества восстановившегося окислителя:

$$n(\text{окислителя}) = 0,0001 \text{ моль}.$$

Зная массу навески (третья часть массы всех желтых кристаллов), рассчитываем молярную массу неизвестного вещества: $M = 0,034 \text{ г} / 0,0001 \text{ моль} = 340 \text{ г/моль}$. Из соединений золота подходит безводный тетрахлороаурат водорода $\text{H[AuCl}_4]$.

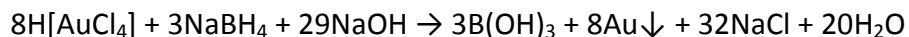
3. Для продукта взаимодействия $\text{H[AuCl}_4]$ с нанокубами серебра можно ожидать подтравливания кристаллов в вершинах куба. Полиэдр серебра будет изменяться в соответствии со схемой, предложенной авторами разработки (см. рисунок).

Galvanic Replacement



Xia, X.; Wang, Y.; Ruditskiy, A.; Xia, Y. 25th anniversary article: galvanic replacement: a simple and versatile route to hollow nanostructures with tunable and well-controlled properties. *Advanced Materials*, 2013, 25, 6313–6333
(For the 25th anniversary issue of *Advanced Materials*)

4. Взаимодействие боргидрида натрия с H[AuCl₄] протекает быстро с образованием зародышей наночастиц серебра размером ~5 нм, которые довольно быстро коалесцируют с образованием коричневого продукта. Взаимодействие можно описать уравнением:



Взаимодействие H[AuCl₄] с цитратом натрия с трудом протекает при подщелачивании раствора и требует повышения температуры. В эксперименте школьника восстановление золота произошло при добавлении боргидрида натрия. В отличие от предыдущего процесса, в растворе присутствовал цитрат натрия, стабилизовавший наночастицы золота, обусловившие малиновую окраску коллоидного раствора.



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 4. Неорганические люминофоры

Вещество **Х** состоит из трех элементов – двух металлов и одного галогена (массовые доли элементов – 22.9%, 35.7%, 41.4%). Оно принадлежит хорошо известному классу неорганических веществ, однако его интересные оптические свойства были открыты совсем недавно – они проявляются только тогда, когда **Х** находится в виде нанокристаллов размером 4-15 нм. Нанокристаллы проявляют яркую люминесценцию в видимом диапазоне, причем длина волны излучения зависит от размера частиц.



Синтез наночастиц **Х** осуществляют следующим способом. Навеску карбоната одновалентного металла (вещество **А**) массой 0.815 г растворяют в октадецене, добавляют 2.5 мл олеиновой кислоты и выдерживают смесь при 150 °С в атмосфере азота до окончания реакции. При охлаждении до комнатной температуры выпадает осадок вещества **В** массой 2.07 г.

Затем в трехгорлую колбу помещают 69 мг галогенида свинца (вещество **С**), добавляют 5 мл растворителя (октадецена), по 0.5 мл олеиламина и олеиновой кислоты (стабилизаторы). Смесь нагревают до 140-200 °С (в зависимости от температуры получают частицы разного размера) и вносят в нее 0.4 мл 0.125 М горячего раствора **В** в октадецене. Через 5 секунд раствор быстро охлаждают, образовавшиеся наночастицы **Х** отделяют от раствора центрифугированием и затем диспергируют в гексане, получая коллоидный раствор.

1. Определите формулы веществ **А**, **В**, **С**, **Х** и напишите уравнения реакций образования **В** и **Х**. (6 баллов)
2. Сколько наночастиц получили? Примите, что реакция их образования идет со 100%-м выходом, средний радиус частицы – 5 нм, плотность **Х** равна 4.75 г/см³. (2 балла)
3. Для создания люминесцентного материала (изображен на фото) наночастицы **Х** равномерно распределили в объеме полимера. Для этого к 1 мл метилметакрилата добавили 10 мг фотоинициатора и 120 мкл раствора наночастиц **Х** в гексане (концентрация 20 мг/мл), полученную смесь полимеризовали под действием света. Оцените, сколько наночастиц содержится в одном кубическом сантиметре полимера? Параметры частиц – те же, что и в п. 2. (1 балл)

Всего – 9 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 4. Неорганические люминофоры

1. Между карбонатом металла и олеиновой кислотой происходит обменная реакция с образованием олеата металла:



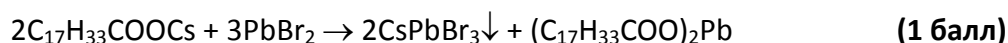
Из уравнения следует, что $\nu(\text{олеата}) = 2\nu(M_2CO_3)$:

$$\frac{2.07}{M(M) + 281} = 2 \cdot \frac{0.815}{2M(M) + 60}$$

откуда $M(M) = 133 \text{ г/моль}$, $M - \text{Cs}$, **A** – Cs_2CO_3 , **B** – $C_{17}H_{33}COOCs$. (2 балла)

В состав вещества **X** входят атомы цезия, свинца и галогена. Точную формулу можно получить, соотнося путем несложного перебора массовые доли и молярные массы элементов. Например, если отнести 22.9% к цезию, а 35.7% – к свинцу, то получим соотношение $\nu(Cs) : \nu(Pb) = (22.9/133) : (35.7/207) = 1 : 1$. Тогда на галоген приходится: $(207/35.7) \cdot 41.4 = 240$ единиц массы, что соответствует 3 атомам брома. Вещество **X** – $CsPbBr_3$, а галогенид свинца (вещество **C**) – $PbBr_2$. (2 балла)

Уравнение реакции получения **X**:



Осадок выпадает в виде наночастиц, так как молекулы стабилизаторов, адсорбируясь на их поверхности, предотвращают частицы от слипания и увеличения размера.

2. Для ответа на вопросы 2 и 3 найдем массу одной наночастицы:

$$m(\text{НЧ}) = \rho \cdot V = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 = 4.75 \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot (5 \cdot 10^{-7})^3 = 2.49 \cdot 10^{-18} \text{ г.}$$

Проведем расчет по реакции образования $CsPbBr_3$.

$$\begin{aligned} \nu(C_{17}H_{33}COOCs) &= 4 \cdot 10^{-4} \text{ л} \cdot 0.125 \text{ моль/л} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ моль,} \\ \nu(PbBr_2) &= 69 \cdot 10^{-3} \text{ г} / 367 \text{ г/моль} = 1.88 \cdot 10^{-4} \text{ моль} - \text{избыток, расчет ведем по олеату.} \\ \nu(CsPbBr_3) &= \nu(C_{17}H_{33}COOCs) = 5 \cdot 10^{-5} \text{ моль,} \\ m(CsPbBr_3) &= 5 \cdot 10^{-5} \text{ моль} \cdot 580 \text{ г/моль} = 2.9 \cdot 10^{-2} \text{ г.} \end{aligned}$$

$$\text{Число наночастиц: } N(\text{НЧ}) = 2.9 \cdot 10^{-2} / 2.49 \cdot 10^{-18} = 1.16 \cdot 10^{16}. \quad (2 \text{ балла})$$

3. Примем для оценки, что объем полимера равен объему мономера, т.е. 1 см^3 . Найдем общую массу наночастиц в полимере: $m(CsPbBr_3) = 0.12 \text{ мл} \cdot 20 \text{ мг/мл} = 2.4 \text{ мг}$.
Концентрация наночастиц: $n(\text{НЧ}) = 2.4 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3 / 2.49 \cdot 10^{-18} \text{ г} \approx 10^{15} \text{ см}^{-3}$. (1 балл)



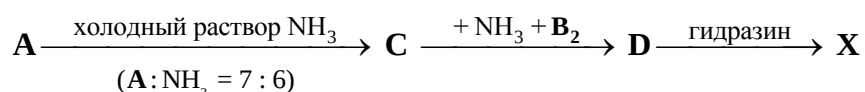
Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 5. Синтез полупроводника

Вещество **X** очень перспективно для электроники, так как проявляет свойства полупроводника, имеет слоистую структуру и может быть получено в виде монослоя подобно графену. Оно состоит из двух элементов – металла и неметалла. Массовая доля металла в **X** составляет 60%, а мольная – 1/3.

Способы синтеза **X** очень разнообразны и позволяют получать **X** в виде тонких пленок, квантовых точек, нанонитей и др. Пленки формируются при химическом осаждении из газовой фазы. В качестве прекурсора обычно используют бинарное соединение **A**, в котором массовая доля металла равна примерно 2/3. Для получения пленок **X** вещество **A** восстанавливают при высокой температуре газами **B₁** или **B₂**, имеющими плотность по водороду 11.7 и 17, соответственно.

Квантовые точки **X** получают с помощью окислительно-восстановительной реакции в растворе. Цепочка превращений, используемых в данном синтезе, имеет вид:



D – соль бескислородной кислоты (молярная масса соли – 260 г/моль), в которой металл входит только в состав аниона. Окислительно-восстановительной является лишь заключительная стадия.

1. Определите формулы веществ **X**, **A**, **B₂**, **C**, **D**. Ответ подтвердите расчетами и аргументами. **(5 баллов)**
2. Определите состав газа **B₁**. **(1 балл)**
3. Напишите уравнения всех пяти реакций. **(5 баллов)**

Всего – 11 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 5. Синтез полупроводника

1 – 2. Обозначим металл M , неметалл Y , тогда простейшая формула вещества $X - MY_2$. Из массовой доли $\omega(M) = 60\%$ следует, что $M(M) / M(Y) = 3$. Этому условию удовлетворяют две разумные формулы – TiO_2 и MoS_2 , однако первое вещество содержит металл в высшей степени окисления и не может быть получено восстановлением бинарного соединения. Следовательно, $X - MoS_2$. Металл – молибден.

В бинарном соединении **A** масса неметалла в 2 раза меньше массы молибдена. Подходит MoO_3 . Тогда газы **B₁** и **B₂** должны содержать серу и проявлять восстановительные свойства. Из плотности по водороду следует, что **B₂** – H_2S . **B₁** имеет дробную молярную массу $M = 23.3$ г/моль, следовательно, это – смесь H_2S с каким-то легким газом. Небольшим перебором легко находится: **B₁** = $2H_2S + H_2$.

MoO_3 – кислотный оксид, реагирует с аммиаком, образуя молибдаты аммония. Из молярного соотношения 7:6 находим: **C** – $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$. При взаимодействии с H_2S образуется соль **D**, содержащая катион аммония, а в составе аниона – молибден (в степени окисления +6, так как превращение **C** → **D** – не ОВР) и сера. По молярной массе находим: **D** – $(NH_4)_2MoS_4$.

X – MoS_2 ,

A – MoO_3 ,

B₁ – смесь H_2S и H_2 в мольном соотношении 2 : 1,

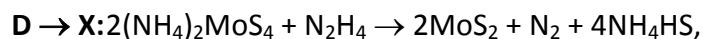
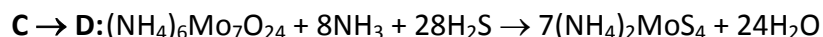
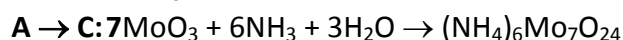
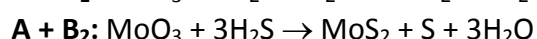
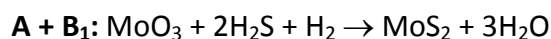
B₂ – H_2S ,

C – $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$,

D – $(NH_4)_2MoS_4$.

(по 1 баллу за каждое вещество)

3. Уравнения реакций:



возможны и другие продукты окисления гидразина.

(по 1 баллу за каждое уравнение)



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 6. Оксидные соты

Одним из наиболее перспективных мембранных материалов последнего времени является нанопористый анодный оксид алюминия (рис. 1). К его основным достоинствам, помимо всего прочего, можно отнести простоту получения и уникальную пористую структуру: прямые цилиндрические поры с гексагональным упорядочением, близким к идеальному.

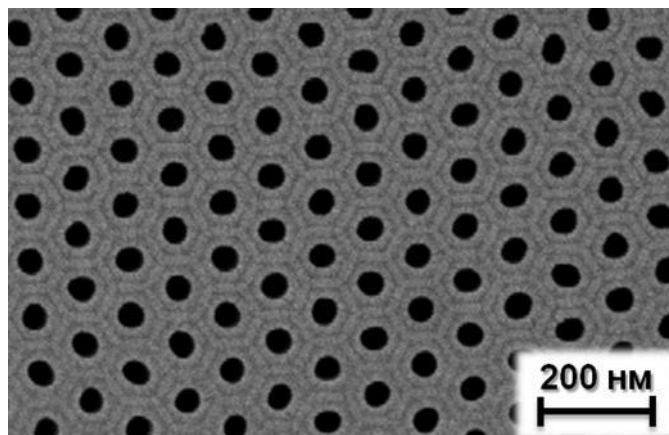


Рис. 1. Нанопористый анодный оксид алюминия

Для синтеза подобной оксидной плёнки толщиной 50 мкм и диаметром 1.2 см методом электрохимического окисления алюминиевой пластинки при 40 В достаточно пропустить заряд 113 Кл. Анализ раствора электролита (0.3 М водный раствор щавелевой кислоты, $V = 250$ мл) показал, что содержание катионов алюминия равно $1.1 \cdot 10^{-4}$ М, а масса полученного образца уменьшается на 3.3% после длительного прокалывания в инертной атмосфере при 1200 °С.

1. Напишите уравнения реакций, о которых идет речь в задаче. **(2 балла)**
2. Найдите плотность (в г/см³) получаемых оксидных плёнок (не подвергнутых термическому воздействию). Выход по току примите равным 95%. **(5 баллов)**

Считается, что при этом образуется аморфный оксид алюминия, плотность которого равна 3.61 г/см³.

3. Исходя из этих данных, оцените пористость синтезированных образцов. Под пористостью принято понимать отношение суммарного объёма пор к объёму образца. **(2 балла)**

Всего – 9 баллов

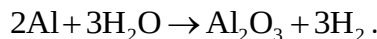


Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

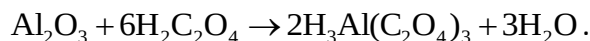
Решение задачи 6. Оксидные соты

1. Уравнения реакций:

а) Электрохимическое окисление алюминия:



б) Растворение оксида алюминия в щавелевой кислоте:



2. Учтём, что выход по току составляет 95%. Тогда на окисление алюминия пошло

$$Q_{0.95} = 113 \text{ Кл} \cdot 0.95 = 107.35 \text{ Кл}.$$

По закону Фарадея найдём массу образовавшегося оксида алюминия:

$$m = \frac{M \cdot Q_{0.95}}{n \cdot F} = \frac{102 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot 107.35 \text{ Кл}}{6 \cdot 96485 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}} = 1.89143 \cdot 10^{-2} \text{ г}$$

Однако в растворе было обнаружено присутствие катионов алюминия, то есть не весь оксид пошёл на формирование плёнки. Найдём массу растворившегося оксида:

$$m(\text{Al}^{3+}) = \nu \cdot M = C \cdot V \cdot M = 1.1 \cdot 10^{-4} \frac{\text{моль}}{\text{л}} \cdot \frac{250}{1000} \text{ л} \cdot 27 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 7.425 \cdot 10^{-4} \text{ г}$$

В пересчёте на оксид алюминия получим

$$m(\text{Al}_2\text{O}_3) = m(\text{Al}^{3+}) \cdot \frac{M(\text{Al}_2\text{O}_3)}{2 \cdot M(\text{Al})} = 7.425 \cdot 10^{-4} \text{ г} \cdot \frac{102 \frac{\text{г}}{\text{моль}}}{2 \cdot 27 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 1.4025 \cdot 10^{-3} \text{ г}$$

Значит, в самой плёнке осталось

$$m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 1.89143 \cdot 10^{-2} \text{ г} - 1.4025 \cdot 10^{-3} \text{ г} = 1.75118 \cdot 10^{-2} \text{ г}$$

Кроме того, при прокаливании масса плёнки уменьшилась. Следовательно, она содержала примеси (адсорбированные молекулы воды, оксалатные комплексы алюминия...). Таким образом, масса всей плёнки до прокаливания составляет

$$m = \frac{1.75118 \cdot 10^{-2} \text{ г}}{1 - 0.033} \approx 1.811 \cdot 10^{-2} \text{ г}$$

Найдём объём образца:

$$V = L \cdot S = L \cdot \pi \cdot r^2 = 50 \cdot 10^{-4} \text{ см} \cdot 3.1416 \cdot \left(\frac{1.2}{2}\right)^2 \text{ см}^2 \approx 5.655 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3$$

Плотность полученной мембраны:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1.811 \cdot 10^{-2} \text{ г}}{5.655 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3} = 3.2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

3. Так как отличие плотностей сплошного и пористого оксидов обусловлено наличием пор, то можно составить следующее уравнение (ε – пористость):

$$1 = \frac{m_{\text{оксида}} + m_{\text{пор}}}{m_{\text{мембраны}}} = \frac{m_{\text{оксида}}}{m_{\text{мембраны}}} = \frac{\rho_{\text{оксида}} V_{\text{оксида}}}{\rho_{\text{мембраны}} V_{\text{мембраны}}} = \frac{\rho_{\text{оксида}}}{\rho_{\text{мембраны}}} \cdot \frac{V_{\text{мембраны}} - V_{\text{пор}}}{V_{\text{мембраны}}} =$$

$$= \frac{\rho_{\text{оксида}}}{\rho_{\text{мембраны}}} \cdot \left(1 - \frac{V_{\text{пор}}}{V_{\text{мембраны}}}\right) = \frac{\rho_{\text{оксида}}}{\rho_{\text{мембраны}}} \cdot (1 - \varepsilon)$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{\text{мембраны}}}{\rho_{\text{оксида}}} = 1 - \frac{3.2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}}{3.61 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}} = 0.113 = 11.3\%$$

Система оценивания

1. Уравнения реакций – **2 балла**:
 - Электрохимическое окисление алюминия – 1 балл
 - Растворение оксида алюминия в щавелевой кислоте – 1 балл
2. Масса синтезированной мембраны – **3 балла**:
 - Масса оксида по закону Фарадея с учётом выхода по току – 1 балл
 - Масса растворившегося оксида алюминия – 1 балл
 - Поправка на наличие примесей в образце – 1 балл

Объём мембраны – **1 балл**
 Плотность оксидной плёнки – **1 балл**
 Итого 3 + 1 + 1 = **5 баллов**
3. Пористость синтезированного образца – **2 балла**

Всего за задачу 2 + 5 + 2 = 9 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 7. Новые материалы для литий-ионных аккумуляторов

В качестве материалов для анода в литий-ионных аккумуляторах требуются вещества, обладающие высокой устойчивостью. Одно из них – вещество **X** – соответствует этому требованию, но обладает низкой электрической и ионной проводимостью. Для получения сферических наночастиц вещества **X**, поверхность которых содержит атомы серебра, используют гидротермальный золь-гель синтез.

Исходным веществом для получения **X** служит бесцветная жидкость **A**, которая энергично взаимодействует с водой с выделением органического вещества **B** и белого осадка **C**, который при прокаливании образует устойчивый оксид **D**, содержащий 40 % кислорода по массе. Из 4,25 г **A** можно получить 1,00 г **D**. Известно, что вещество **B** может быть получено в одну стадию из 1-хлорбутана. Вещество **A** сначала вводят в реакцию с органическим веществом **E**, содержащим 38,71% C, 9,68% H и кислород. При кипячении **A** в избытке **E** образуется продукт **L**, причем из 1 г **A** можно получить 0,494 г **L**. Взаимодействием **A** с раствором нитрата серебра в **E** получены сферические частицы прекурсора, который при взаимодействии с раствором гидроксида лития в этаноле и последующем прокаливании на воздухе дает продукт **X**, имеющий при разных количествах введенного количества нитрата серебра на одинаковое количество остальных реагентов, следующий состав:

- (1) Li 5,95%; O 40,78%, Ag 2,29%, остальное – неизвестный элемент
- (2) Li 5,81%; O 39,87%, Ag 4,49%, остальное – неизвестный элемент

1. Определите все неизвестные вещества. **(7 баллов)**
2. Напишите уравнения всех реакций. **(3 балла)**
3. Какую роль играет серебро при использовании **X** в качестве материала анода?
(1 балл)

Всего – 11 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 7. Новые материалы для литий-ионных аккумуляторов

1 – 2. Определим неизвестный оксид **Д**: запишем его формулу $\text{ЭO}_{m/2}$, где Э – неизвестный элемент, а m – его валентность. Тогда $M(\text{ЭO}_{m/2}) = 16 \cdot m / 2 / 0,4 = 20m$ г/моль.

при $m = 1$ $M(\text{Э}) = 20 - 8 = 12 - \text{C}$

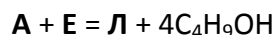
при $m = 2$ $M(\text{Э}) = 40 - 16 = 24 - \text{Mg}$

при $m = 3$ $M(\text{Э}) = 60 - 24 = 36 - \text{Cl}$

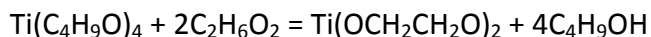
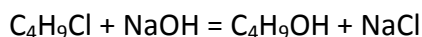
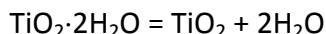
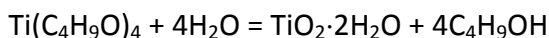
при $m = 4$ $M(\text{Э}) = 80 - 32 = 48 - \text{Ti}$.

Последний вариант подходит, так как известно, что TiO_2 образует наночастицы. Тогда $M(\text{А}) = 4,25 \cdot 80 = 340$ г/моль, что соответствует тетрабутилтитанату $\text{Ti}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4$, вещество **Б** – бутанол-1.

В веществе **Е** – $n(\text{C}):n(\text{H}):n(\text{O}) = 38,71/12 : 9,68/1 : 51,61/16 = 3,23 : 9,68 : 3,23 = 1:3:1$. Такой простейшей формуле отвечает единственный состав – $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$, этиленгликоль.



$M(\text{Л}) = 340 - 0,494 = 168$ г/моль что соответствует $\text{Ti}(\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{O})_2$.



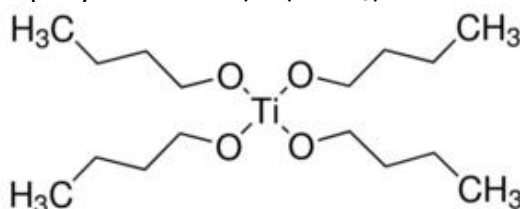
В веществе (1) – $n(\text{Li}) : n(\text{Ti}) : n(\text{O}) : n(\text{Ag}) = 5,95/7 : 50,98/48 : 40,78/16 : 2,29/108 = 0,85 : 1,06 : 2,55 : 0,021 = 1 : 1,25 : 3 : 0,025 = 4 : 5 : 12 : 0,1$.

В веществе (2) – $n(\text{Li}) : n(\text{Ti}) : n(\text{O}) : n(\text{Ag}) = 5,81/7 : 49,83/48 : 39,87/16 : 4,49/108 = 0,83 : 1,04 : 2,49 : 0,042 = 1 : 1,25 : 3 : 0,05 = 4 : 5 : 12 : 0,2$.

Таким образом **Х** – $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, допированный серебром

Итак,

А – тетрабутилтитанат (тетрабутоксититан) $\text{Ti}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4$



Б – бутанол-1

С – титановая кислота $\text{TiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

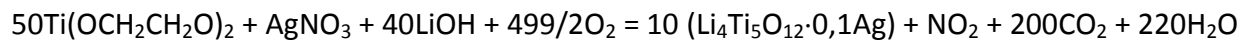
Д – оксид титана (IV) TiO_2

Е – этиленгликоль $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$

Л – диэтиленгликольтитанат $\text{Ti}(\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{O})_2$

Х – $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{Ag}$

Уравнение реакции получения **X**:



3. Серебро обеспечивает проводимость

Система оценивания

7 веществ по 1 баллу	7 баллов
4 уравнения реакций по 0,5 балла	2 балла
Уравнение синтеза X	1 балл
Роль серебра	1 балл
Всего	11 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 8. Магнитные наночастицы

Образец руды, содержащий металлы **A** и **B**, сожгли в токе воздуха. Образовавшийся твердый остаток растворили в соляной кислоте, а затем нейтрализовали раствором аммиака. При этом выпал бурый осадок **A₁**, который отфильтровали. Через фильтрат пропускали ток углекислого газа до прекращения выпадения осадка **B₁**. Осадок отфильтровали и прокалили до постоянной массы, образовалось вещество **B₂**. Вещества **A₁** и **B₂** по отдельности растворили в соляной кислоте, при этом были получены растворы веществ **A₂** и **B₃**. К раствору **A₂** прибавляли избыток щелочи до тех пор, пока выпавший осадок полностью не перешел в бесцветный раствор вещества **A₃**. При добавлении к этому раствору раствора **B₃** наблюдалось выпадение коричневого осадка, который при прокаливании превратился в черный порошок, состоящий из наночастиц вещества **D**.

1. Определите неизвестные вещества, если известно, что в наночастицах **D** содержится 46,47 % **A** и 26,97 % **B** по массе. **(4 балла)**
2. Напишите уравнения всех описанных реакций. **(4 балла)**
3. Какую руду (минерал) могли использовать? **(1 балл)**

Всего – 9 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 8. Магнитные наночастицы

1. Можно предположить, что продуктом прокаливания является кислородное соединение. По свойствам соединений металла А можно предположить, что это – железо. Тогда в 100 г D содержится 46,67 г Fe, 26,67 г В и 26,67 г кислорода.

$$n(\text{Fe}) : n(\text{B}) : n(\text{O}) = (46,67/56) : (26,67/M(\text{B})) : (26,67/16) = 0,83 : (26,67/M(\text{B})) : 1,66 = 1 : (32,5/M(\text{B})) : 2.$$

Предположим, что $n(\text{Fe}) : n(\text{B}) = 1:1$ тогда $M(\text{B}) = 32,5$ г/моль – такого металла нет.

При $n(\text{Fe}) : n(\text{B}) = 1:2$, $M(\text{B}) = 65$ г/моль, что соответствует цинку. Значит, D – ZnFe_2O_4 , B – Zn, B₁ – ZnCO_3 , B₂ – ZnO, B₃ – ZnCl_2 , A₁ – $\text{Fe}(\text{OH})_3$, A₂ – FeCl_3 , A₃ – $\text{Na}_3[\text{Fe}(\text{OH})_6]$.

2. Уравнения реакций:

- 1) $2\text{ZnFeS}_2 + 13/2\text{O}_2 = 2\text{ZnO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{SO}_2$
- 2) $\text{ZnO} + 2\text{HCl} = \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- 3) $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{HCl} = 2\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{FeCl}_3 + 3\text{NH}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{NH}_4\text{Cl}$
- 5) $\text{ZnCl}_2 + 4\text{NH}_3 = [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$
- 6) $\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl} = \text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
- 7) $\text{FeCl}_3 + 3\text{NaOH} = \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{NaCl}$
- 8) $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2 + 3\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{ZnCO}_3 + 2\text{NH}_4\text{Cl} + 2\text{NH}_4\text{HCO}_3$
- 9) $\text{ZnCO}_3 = \text{ZnO} + \text{CO}_2$
- 10) $\text{ZnO} + 2\text{HCl} = \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- 11) $\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{NaOH} = \text{Na}_3[\text{Fe}(\text{OH})_6]$
- 12) $2\text{Na}_3[\text{Fe}(\text{OH})_6] + \text{ZnCl}_2 = \text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 2\text{NaCl} + 4\text{NaOH}$
- 13) $\text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{Fe}(\text{OH})_3 = \text{ZnFe}_2\text{O}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$

3. Исходная руда – смешанный сульфид железа и цинка ZnFeS_2 .

Система оценивания

Вещества A ₁ – A ₃ , B ₁ – B ₃ – по 0,5 балла, вещество D – 1 балл	4 балла
Уравнения реакций 1, 8, 12 – по 0,5 балла, остальные – по 0,25 балла	4 балла
Исходная руда	1 балл
Всего	9 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 9. Там еще есть пустое место!

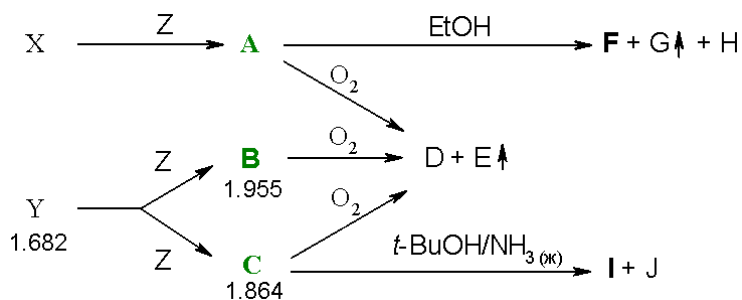
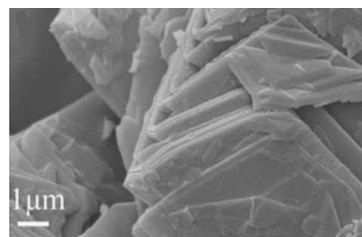
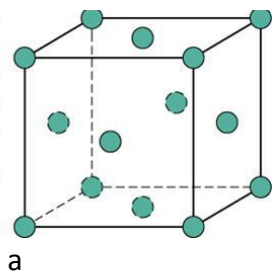
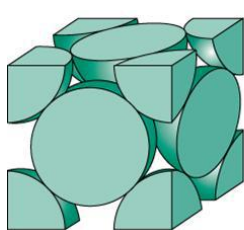


Рис.1. Темные кристаллы **X** и **Y** состоят из упорядоченно расположенных нанообъектов одинакового элементного состава. При этом в **A**, **B**, **C** – продуктах их реакций с простым веществом **Z** – структура и состав исходных нанообъектов остаются неизменными. При действии кислот на **D** выделяется содержащийся в атмосфере газ **E**. На схеме указаны плотности **Y**, **B** и **C** (в г/см³). Относительная плотность $D_{\text{G}}(\text{E}) = 22$, соотношение массовых долей элемента **Z** в **A** и **C** составляет 2,96.

Известно, что наночастицы **N** радиусом 0,501 нм в кристаллической структуре веществ **Y**, **B** и **C** образуют плотнейшую упаковку (рис. а). При этом в соединениях **B** и **C** атомы элемента **Z** стехиометрически заполняют пустоты между наночастицами **N**.



1. Рассмотрите элементарную ячейку **Y** (рис. а). Сколько наночастиц **N** приходится на одну такую ячейку? **(0,5 балла)** Соприкасающиеся наночастицы **N** образуют многогранники, в центрах которых находятся пустоты. Назовите эти многогранники. **(1 балл)** Сколько пустот, отвечающих каждому типу многогранников, приходится на элементарную ячейку? Рассчитайте все возможные* значения q для состава NZ_q . **(1,5 балла)**
2. Найдите значения q для веществ **B** и **C** и установите, какие при этом* пустоты заполняются элементом **Z** **(1,5 балла)**, а также определите молярную массу наночастицы **N** **(1 балл)** (ответы подтвердите расчетами). Расшифруйте формулы всех веществ на схеме превращений. К какому классу соединений относятся **A**, **B**, **C**? **(3 балла)** Приведите названия как для кристаллов **X** и **Y**, так и для нанообъектов, из которых они «составлены». **(1 балл)**
3. Что представляет собой вещество **F** (микрофотография приведена на рис. б) и каков механизм его образования, если его элементный состав идентичен **X**? **(0,5 балла)**

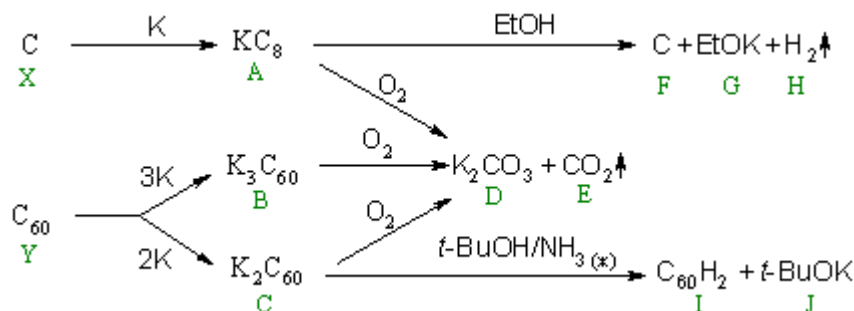
*заполнение элементом **Z** пустот в **Y** считать стехиометрическим: ни один тип пустот не может быть заполнен частично.

Всего – 10 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 9. Там еще есть пустое место!



1.

- а) Приведенная на рисунке гранецентрированная кубическая ячейка содержит $1/4 \cdot 8 + 1/2 \cdot 6 = 4$ наночастицы **N**.
- б) Тетраэдр и октаэдр.
- в) Тетраэдрические пустоты лежат внутри куба на его больших диагоналях (по две на каждой), всего их будет **8**. Центры октаэдрических пустот лежат на ребрах куба, каждая такая пустота принадлежит ячейке только на четверть, еще одна октаэдрическая пустота находится в центре (принадлежит полностью кубической ячейке), следовательно, их будет $12/4 + 1 = 4$.

Таким образом, соотношение наночастиц и пустот обоих типов составляет **N:T:O** = 4:8:4 = 1:2:1. Возможные составы **NZ₂**, **NZ**, **NZ₃** (**q** = 2, 1, 3), отвечающие стехиометрическому (по условию) заполнению тетраэдрических, октаэдрических и одновременно обоих типов пустот.

2.

- а) Поскольку при заполнении пустот объем вещества не меняется (т.к. по условию не меняется размер частиц **N** и способ упаковки, следовательно, и плотность упаковки наночастиц **N**), то для 1 см³ **Y**:

- при образовании **B (NZ₃)** в 1 см³ реагируют 1,682 г **Y** и 1,955 – 1,682 = 0,273 г **Z**,
- при образовании **C (NZ₂)** в 1 см³ реагируют 1,682 г **Y** и 1,864 – 1,682 = 0,182 г **Z**,

$0,273/0,182 = 1,5$, то есть **n** = 1,5**m**. Сопоставляя это соотношение с найденными ранее **q**:

- **B: (NZ₃)**, **q** = 3, заполнены тетраэдрические и октаэдрические пустоты;
- **C: (NZ₂)**, **q** = 2, заполнены тетраэдрические пустоты.

- б) Найдем массу одного моля **N**, основываясь на их радиусе и плотности **Y**:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{nM/N_a}{A^3} = \frac{nM/N_a}{(2\sqrt{2}r_{NP})^3},$$

где **n** – число **N**, приходящееся на ячейку, **M** – молярная масса **N**, **A** – параметр элементарной ячейки (сторона куба, диагональ грани которого равна $4r_{NP}$).

$$M = \frac{\rho N_a (2\sqrt{2}r_{NP})^3}{n} = \frac{1,682 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \cdot 16\sqrt{2} \cdot 0,501^3 \cdot 10^{-21}}{4} \approx \underline{\underline{720,5 \text{ г/моль}}}$$

в) Обозначим молярную массу простого вещества **Z** как **M_Z**:

1 см³ вещества **N** с молярной массой 720,5 г/моль имеет массу 1,682 г

1 см³ вещества **NZ₃** с молярной массой (720,5 + 3**M_Z**) г/моль имеет массу 1,955 г

Поскольку, как было отмечено выше, при заполнении пустот объем вещества не меняется, то при образовании **B (NZ₃)** количество частиц **N** в единице объема не изменится. Следовательно, для простого вещества **Z**:

$$1,682 / 720,5 = 1,955 / (720,5 + 3M_Z)$$

$$M_Z = (720,5 \cdot 1,955 / 1,682 - 720,5) / 3 \approx 39,0 \text{ г/моль} - \text{это } \underline{\underline{\text{калий}}}.$$

Значит, **B** – **NK₃** и **C** – **NK₂**.

Содержащийся в атмосфере газ **E**, образующийся при сгорании **A**, **B**, **C**, а также при действии кислот на (очевидно, калиевую соль) **D**, похоже, является оксидом, образующим с водой слабую кислоту. Поскольку газ **G** *очень* легкий (имеет молярную массу в 22 раза меньше) – то это водород, соответственно, **E** – **CO₂**. Другие легкие газы имеют молярные массы больше 10, для них молярная масса **E** будет больше 220, что будет слишком много для атмосферного газа.

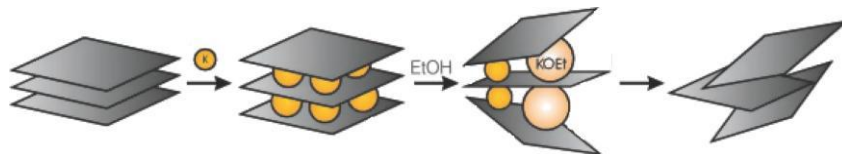
Если наночастица **N** состоит из углерода и имеет молярную массу 720,5 г/моль, то **N** – фуллерен **C₆₀**.

Аналогично пункту а) найдем массовую долю калия в **C** ($0,182 / 1,864 \cdot 100\% = 9,76\%$), а по соотношению массовых долей из условия массовую долю калия в **A** как $9,76 \cdot 2,96 = 28,89\%$. Поскольку **A**, как **B** и **C**, является соединением углерода и калия, по массовой доле калия можно определить его формулу как **KC₈**. Так как при реакции **A** со спиртом выделяется водород (а не углеводороды) и образуется углерод, имеющий по микрофотографии явную слоистую структуру, то **A** (как и **B** с **C**) – соединение внедрения (интеркалят).

Поскольку при реакции **C** с бутанолом в жидком аммиаке не выделяется водород, то наночастица **I** должна содержать 2 атома водорода на 1 молекулу фуллерена: **I** – **C₆₀H₂**.

г) **Y** – графит (сложен из слоев графена), а **X** – фуллерит (состоит из молекул-наночастиц фуллерена).

3. Эксфолиированный графит, представляющий собой стопки листов графена (ответ «графен» засчитывается). Продукты реакции KC_8 с этанолом (водород и алкоголь) «разрывают» слои графита:

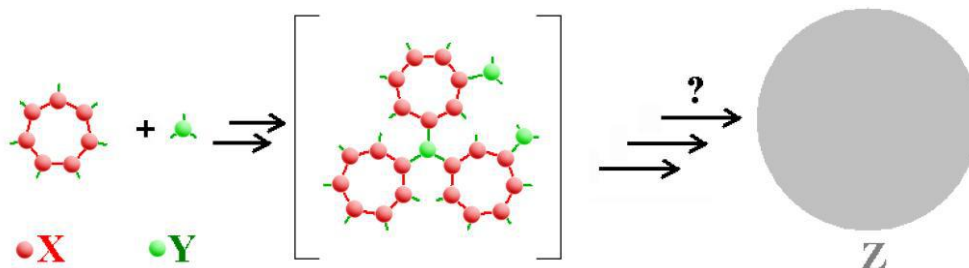




Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 10. Моделирование и синтез каркасных наноструктур

Юный химик Полуэкт захотел изготовить замкнутые каркасные наноструктуры **Z** методом самосборки. Для этого он решил комбинировать **k**-валентные **k**-угольники из фрагментов **X** с трехвалентным фрагментом **Y**, при этом они по отдельности не образуют связей сами с собой, но легко реагируют друг с другом, как на рисунке (приведен пример для **k = 7**):



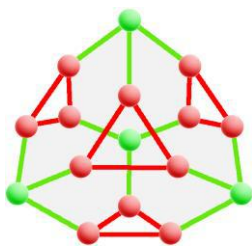
1. В каком мольном соотношении необходимо смешивать реагенты X_k и Y , чтобы они могли целиком прореагировать друг с другом с образованием **Z**? **(0,5 балла)** Используя теорему Эйлера для выпуклых многогранников, помогите Полуэктору найти все X_k , для которых возможно получение замкнутой каркасной наноструктуры **Z**. **(2,5 балла)** Опишите эти наноструктуры **Z** (сколько и каких вершин они содержат, в вершинах каких геометрических фигур расположены фрагменты Y , сколько и каких многоугольников содержат такие **Z**). **(2 балла)**
2. Укажите, как необходимо проводить реакцию синтеза **Z**: быстро сливать растворы вместе, или же медленно смешивать их по каплям; маленькие или большие концентрации реагентов при этом использовать. **(1 балл)** Поясните, что получится, если Полуэкт сделает все наоборот. **(1 балл)**
3. Каково может быть применение таких наноструктур **Z**? Какими свойствами они должны для этого обладать? **(1 балл)**
4. Допустим, трехвалентный фрагмент Y способен при нагревании образовывать связи сам с собой. Можно ли посоветовать Полуэктору использовать эту реакцию для сборки каркасных наноструктур, отвечающих таким же многогранникам, как и **Z**? Поясните. **(1 балл)**
5. Приведите пример химических структур, которые могут стоять за X_k и Y , если под буквами могут подразумеваться не только химические элементы, но и любые подходящие фрагменты, а связи $X-X$ и $X-Y$ могут быть представлены, в том числе, цепочками атомов. Объясните, за счет чего при этом будут связываться фрагменты. **(1 балл)**

При решении считайте, что все каркасные наноструктуры **Z** содержат только два типа многоугольников и не содержат «свободных» связей.

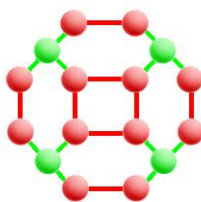
Всего – 10 баллов

Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

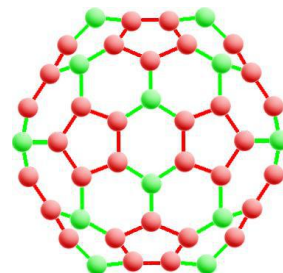
Решение задачи 10. Моделирование и синтез каркасных наноструктур



(1)



(2)



(3)

1.

- 1) Каждый фрагмент **Y** реагирует одновременно с тремя фрагментами **X**, каждый из которых не будет связан с другими фрагментами **Y**. Поэтому для любого **Z** соотношение **X/Y** будет постоянно и равно 3:1, следовательно, реагенты **X_k** и **Y** необходимо смешивать в соотношении 3:k.
- 2) Исходя из условий образования связей, циклы, отвечающие граням второго типа, могут быть образованы только из фрагментов (Y)–X–X–(Y) и (X)–Y–(X). То есть, данные циклы можно записать как (X₂Y)_p. У каждой такой грани 3p вершин.

Запишем общую формулу **Z** как **X_nY_m**.

Так как соотношение **X/Y** равно 3:1, то **n = 3m**.

Теорема Эйлера для выпуклых многогранников: **V + F – E = 2**. Здесь:

- **V = n + m = 4/3n** – общее число вершин многогранника,
- **E = n + 3m = 2n** – общее число ребер (ребра **X–X** принадлежат только многоугольникам **X_k**, число таких ребер равно общему числу **X** во всех таких многоугольниках; оставшиеся ребра – только **Y–X**, их число равно произведению количества **Y** на число образуемых им связей)
- **F = E + 2 – V** – общее число граней многогранника.

Следовательно, **F = 2n + 2 – 4/3n = 2/3n + 2**.

В то же время, общее число граней складывается из количеств граней двух типов: **F = F_k + F_{3p}**. Поскольку число граней первого типа равно **F_k = n/k**, то число граней второго типа составляет **F_{3p} = F – F_k = 2/3n + 2 – n/k**.

Запишем общее число ребер вторым способом: **E = kF_k/2 + 3pF_{3p}/2** (каждой грани первого типа принадлежит **k** ребер, а каждой грани второго типа принадлежит **3p** ребер, но любое из ребер принадлежит двум граням).

Подставляя, получаем **E = k·n/k/2 + 3pF_{3p}/2 = n/2 + 3pF_{3p}/2**. В то же время, **E = 2n**.

Тогда:

$$\frac{n}{2} + \frac{3p}{2} \left(\frac{2}{3}n + 2 - \frac{n}{k} \right) = 2n$$

$$2nkp + 6kp - 3pn = 3nk$$

$$n = \frac{6kp}{3p + 3k - 2kp}$$

Чтобы найти все X_k , для которых возможно получение замкнутой каркасной наноструктуры Z , проварьируем значения p и k в полученном выражении для n . Также необходимо помнить, что число вершин Y должно быть целым числом.

Для $p = 1$ (второй тип многоугольников – треугольник)

k	3	4	5	6	7	8	9	10
$n = \frac{6k}{3+k}$	3	24/7	15/4	4	21/5	48/11	9/2	60/13
$m = n/3$	1	6/7	5/4	4/3	7/5	16/11	3/2	20/13

Целочисленное решение получено только в одном случае, но этот случай противоречит условию о двух типах многоугольников. В данном случае все грани имеют треугольную форму.

Для $p = 2$ (второй тип многоугольников – шестиугольник)

k	3	4	5	≥ 6
$n = \frac{12k}{6-k}$	12	24	60	нет решения
$m = n/3$	4	8	20	

Для $p = 3$ (второй тип многоугольников – семиугольник) $n = \frac{18k}{9-3k}$.

Поскольку $k \geq 3$ (самым простым многоугольником является треугольник), в данном случае целочисленные неотрицательные решения отсутствуют.

То есть, получение замкнутой каркасной наноструктуры возможно всего в трех случаях: когда X_k имеет форму треугольников, квадратов и пятиугольников. Каждому случаю отвечает один многогранник.

- 3) Рассчитаем число вершин, ребер и граней всех типов для трех полученных многогранников, отвечающих трем возможным типам каркасов.

		Многогранник		
		<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>
Число вершин у граней первого типа X_k	K	3	4	5
Число вершин у граней второго типа $(X_2Y)_p$	$3p$	6	6	6
Число вершин X	N	12	24	60
Число вершин Y	M	4	8	20
Общее число вершин	$V = n + m$	16	32	80
Число граней X_k	$F_k = n/k$	4	6	12
Число граней второго типа	$F_{3p} = 2/3n + 2 - n/k$	6	12	30
Число ребер	$E = 2n$	24	48	120
Многогранник Y_m		тетраэдр	куб	додекаэдр

Опишем структуру полученных каркасов.

1 многогранник: центры 4 треугольников X_3 лежат в вершинах тетраэдра, причем вершины этих треугольников расположены над гранями такого тетраэдра. В свою очередь, 4 атома Y лежат над центрами граней этого тетраэдра и в вершинах тетраэдра (который пропорционален тетраэдру, дуальному первому). Большие диагонали шестиугольников соединяют попарно атомы Y между собой, одновременно являясь ребрами второго тетраэдра.

2 многогранник: центры 6 квадратов X_4 лежат в вершинах октаэдра, причем вершины этих квадратов расположены над гранями такого октаэдра. В свою очередь, 8 атомов Y лежат над центрами граней этого октаэдра и в вершинах куба (который пропорционален кубу, дуальному октаэдру). Большие диагонали шестиугольников соединяют попарно атомы Y между собой, одновременно являясь ребрами куба.

3 многогранник: центры 12 пятиугольников X_5 лежат в вершинах икосаэдра, причем вершины этих пятиугольников расположены над гранями такого икосаэдра. В свою очередь, 20 атомов Y лежат над центрами граней этого икосаэдра и в вершинах додекаэдра (который пропорционален додекаэдру, дуальному икосаэдру). Большие диагонали шестиугольников соединяют попарно атомы Y между собой, одновременно являясь ребрами додекаэдра.

2. Замкнутые каркасы – не единственные возможные продукты реакций, которые могут получиться из таких реагентов. Очевидно, при высокой скорости реакции, могут образовываться такие фрагменты (например, очень длинные разветвленные цепочки $\dots-Y-X_k-(Y-X_k\dots)-Y-X_k-Y\dots$), для которых структура и стехиометрия не позволяет «свернуться» в замкнутый каркас. При высоких концентрациях также повышается вероятность встречи и реакции друг с другом неполных каркасов (например, связывание друг с другом фрагментов из половинки и $2/3$ каркаса), что тоже не приводит к целевому продукту.

Поэтому для высокого выхода целевых каркасов потребуются маленькие концентрации реагентов и медленное (по каплям) проведение реакции.

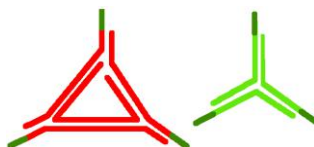
Если быстро слить концентрированные растворы реагентов, то вместо раствора целевых каркасов Z образуется малорастворимый высокомолекулярный материал типа смолы, в котором звенья Y и X_k соединены беспорядочным образом.

3. Нанокаркасы Z удобно использовать в качестве наноконтейнера для транспортировки веществ, например, лекарств. При этом необходимо, чтобы существовал способ «раскрытия» таких наноконтейнеров. Т.е. либо связи $X-X$, либо связи $X-Y$ должны разрушаться в нужном месте, например, в больной клетке (под действием ферментов либо при изменении pH среды). При этом, селективно разрушая только выборочные связи ($X-X$ либо $X-Y$) можно даже менять скорость высвобождения лекарства.
4. Несмотря на то, что фрагменты и X и Y трехвалентны, собрать из трехвалентных фрагментов Y многогранники аналогичные по структуре Z будет практически невозможно. Трехвалентный Y будет преимущественно образовывать наименее напряженные пятиугольники и шестиугольники. Это хорошо демонстрирует синтез

фуллеренов приводящий к смеси разных замкнутых оболочек с преобладанием фуллеренов C_{60} и C_{70} (практически без углеродного аналога третьего каркаса C_{80}). Два других каркаса, содержащие четырехугольники и треугольники, для углерода, а, следовательно, для типичных трехвалентных фрагментов не реализуются из-за слишком больших стерических затруднений. Поэтому нужно использовать подход, при котором структура реагентов и способ их связывания будет однозначно задавать *единственный* вариант замкнутого каркаса **Z**.

5. Пример: X_4 и X_5 – фосфоцены, Y – ионы меди (образование донорно-акцепторных связей между X и Y). (см. задачи «Медно-фосфорный многогранник», математика, заочный тур 2014 года и «Темплатный синтез», химия, очный тур 2012 года).

Фрагментами X_3 X_4 X_5 и Y могут также быть последовательности ДНК (в качестве «связей» между X и Y в этом случае будут выступать двойные цепочки, связывающиеся по принципу комплементарности):



пример для Y и X_3 , темным цветом отмечены «свободные» комплементарные последовательности ДНК, связывающие X и Y .



Физика для школьников

Физика

Категория участников: школьники 7-11 классов

Блок теоретических заданий по **физике для школьников 7-11 классов** включает задачи разной сложности. Для повышения вероятности прохождения на очный тур Вам желательно решить задачи не только по физике, но и по химии, математике, биологии, чтобы набрать больше баллов. Все прошедшие на очный тур обязательно решают задачи по всем четырем предметам.

Задания

1. Двойная нанопленка

Для улучшения оптических свойств материала часто используют специальные просветляющие покрытия. Студент МГУ Вася пошел обратным путем: вместо нанесения покрытий, он протравил кислотой часть кремниевого кристалла...

2. Покрытия для солнечных элементов

Для создания дешевых солнечных элементов используется технология осаждения из газовой фазы тонких (порядка сотен нм) плёнок аморфного кремния. Для получения пленок, легированных бором (B), используют осаждение из смеси газов моносилана SiH_4 и диборана B_2H_6 ...

3. Магнетронное напыление

Магнетронное напыление – способ нанесения тонких пленок. Метод заключается в бомбардировке мишени ионами инертных газов в скрещенных электрических и магнитных полях. Вынесенное вещество осаждается на подложке тонким слоем – от нескольких единиц нанометров и более...

4. Нагрев электронным пучком

При исследовании наночастиц методом просвечивающей электронной микоскопии

высокого разрешения (ПЭМ ВР) замечено, что исследуемые образцы нагреваются и плавятся. Оцените энергию электронов в пучке просвечивающего микроскопа...

5. Наноспутники

Согласно принятой классификации малых космических аппаратов, наноспутником называется аппарат массой от 1 до 10 кг. С появлением и развитием концепции таких малых спутников появилось новое направление в современном ракетостроении – разработка микроракет...

6. Дифракция на нанокристаллах

Дифракция рентгеновских лучей на кристаллах была открыта в 1912 году немецкими учеными под руководством Макса Лауэ. Это открытие доказало волновую природу рентгеновских лучей, так как оказалось, что для объяснения этого явления можно рассматривать...

7. Фотоэлектронная спектроскопия наноматериалов

Одним из методов диагностики структуры материалов является рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Этот метод позволяет получать информацию о составе и характере взаимодействия атомов в тонком приповерхностном слое исследуемого образца...

8. Наносенсор на вирусы

Юный изобретатель Саша предложил схему наносенсора, чувствительного на вирусы. Сенсор представляет из себя двухслойную структуру: нижний слой – пористый кремний pSi (пористость $P = 50\%$, размер пор – 5 нм) толщиной $d_1 = 100$ мкм...

9. Из крайности в крайность

Известно, что механизм диффузии газов через пористые среды во многом обусловлен числом Кнудсена Kn , которое равно отношению длины свободного пробега молекул этого газа l к диаметру пор d . Так, при $Kn \ll 1$ реализуется вязкое течение газа в порах...

10. Автостопом на комете

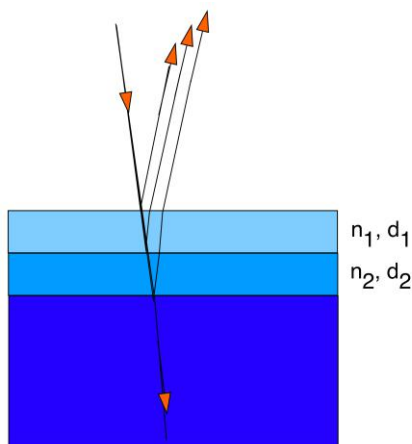
В качестве альтернативы «обычным» ракетным двигателям инженеры NASA предложили использовать для разгона космических кораблей трос, сделанный из углеродных нанотрубок (УНТ). В предложенной схеме космический корабль «ловит» на кончик троса

пролетающую мимо комету...



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 1. Двойная нанопленка



Для улучшения оптических свойств материала часто используют специальные просветляющие покрытия. Студент МГУ Вася пошел обратным путем: вместо нанесения покрытий, он протравил кислотой часть кремниевого кристалла, который хорошо пропускает свет в инфракрасном диапазоне. В результате получился нанопористый слой толщиной d_1 на поверхности с показателем преломления n_1 , меньшим, чем у кремния. Размер пор составлял порядка 50 нм, поэтому слой получился оптически-однородным. Затем Вася протравил второй слой толщиной d_2 , изменив параметры травления, и получил показатель преломления в нем $n_2 > n_1$.

1. Используя полученную структуру, Вася стал изучать интерференцию отраженных лучей, падающих по нормали к поверхности. Считая интенсивности всех трех отраженных лучей равными, сформулируйте критерии интерференционных минимумов. **(7 баллов)**
2. Приведите пример толщин d_1 , d_2 , при которых наблюдается минимум для длины волны $\lambda = 1200$ нм, если $n_1 = 1.6$, а $n_2 = 2$. **(3 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 1. Двойная нанопленка

Учитывая разность хода волн, зависимость напряженности электрического поля можно для каждого из трех лучей выразить как:

$$E_1 = E_0 \cos(\omega t) \quad (1)$$

$$E_2 = E_0 \cos(\omega t - \alpha) \quad (1)$$

$$E_3 = E_0 \cos(\omega t - \alpha - \beta) \quad (2)$$

при этом:

$$\alpha = \frac{2\pi n_1 d_1}{\lambda} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{2\pi n_2 d_2}{\lambda} \quad (4)$$

Таким образом, суммарная напряженность E будет равна:

$$E = E_0 \cos(\omega t) + E_0 \cos(\omega t - \alpha) + E_0 \cos(\omega t - \alpha - \beta) \quad (5)$$

$$E = E_0 (\cos(\omega t) + \cos(\omega t) \cos \alpha + \sin(\omega t) \sin \alpha + \cos(\omega t) \cos(\alpha + \beta) + \sin(\omega t) \sin(\alpha + \beta)) \quad (6)$$

$$E = E_0 (\cos(\omega t) (1 + \cos \alpha + \cos(\alpha + \beta)) + \sin(\omega t) (\sin \alpha + \sin(\alpha + \beta))) \quad (7)$$

Для того, чтобы привести к формуле косинуса суммы, вычислим сумму квадратов коэффициентов при $\cos$ и $\sin \omega t$:

$$\Sigma = (1 + \cos \alpha + \cos(\alpha + \beta))^2 + (\sin \alpha + \sin(\alpha + \beta))^2 = 1 + \cos^2 \alpha + \cos^2(\alpha + \beta) + 2\cos \alpha + 2\cos(\alpha + \beta) + 2\cos \alpha \cos(\alpha + \beta) + \sin^2 \alpha + \sin^2(\alpha + \beta) + 2\sin \alpha \sin(\alpha + \beta) \quad (8)$$

Учитывая основное тригонометрическое тождество и формулу для косинуса разности, получаем

$$\Sigma = 3 + 2\cos \alpha + 2\cos(\alpha + \beta) + 2[\cos \alpha \cos(\alpha + \beta) + \sin \alpha \sin(\alpha + \beta)] = 3 + 2\cos \alpha + 2\cos(\alpha + \beta) + 2\cos \beta \quad (9)$$

Далее используем формулу для косинуса двойного угла ($a + b$) и формулу для суммы косинусов:

$$\begin{aligned}
 \Sigma &= 3 + 2\cos\alpha + 2\cos\beta + 4\cos^2\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right) - 2 = \\
 &1 + 4\cos^2\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right) + 4\cos\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right)\cos\left(\frac{\alpha - \beta}{2}\right) = \\
 &1 + 4\cos\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right)\left(\cos\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right) + \cos\left(\frac{\alpha - \beta}{2}\right)\right) = \\
 &1 + 8\cos\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right)\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\cos\left(\frac{\beta}{2}\right)
 \end{aligned} \tag{10}$$

С учетом полученного тождества выражение для напряженности поля примет вид:

$$E = E_0\sqrt{\Sigma}\cos(\omega t + \phi_0), \tag{11}$$

где ϕ_0 – сдвиг фаз. Отсюда амплитуда интенсивности отраженного луча будет равна:

$$I = I_0\Sigma \tag{12}$$

Очевидно, что критерием минимума является равенство нулю Σ :

$$\cos\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right)\cos\frac{\alpha}{2}\cos\frac{\beta}{2} = -\frac{1}{8} \tag{13}$$

Критерий выполняется, например, в случае:

$$\begin{aligned}
 \frac{\alpha}{2} = \frac{\beta}{2} &= -\frac{\pi}{3} + 2\pi n, n \in Z \\
 \alpha = \beta &= -2\frac{\pi}{3} + 2\pi n, n \in Z
 \end{aligned} \tag{14}$$

Подставляя значения для сдвигов по фазе:

$$2\pi n_1 \frac{d_1}{\lambda} = 2\pi n_2 \frac{d_2}{\lambda} = 4\frac{\pi}{3} \tag{15}$$

$$n_1 d_1 = n_2 d_2 = 2\frac{\lambda}{3} = 800 \text{ нм} \tag{16}$$

Отсюда $d_1 = 500 \text{ нм}$, $d_2 = 400 \text{ нм}$.



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 2. Покрyтия для солнечных элементов



Для создания дешевых солнечных элементов используется технология осаждения из газовой фазы тонких (порядка сотен нм) плёнок аморфного кремния. Для получения плёнок, легированных бором (В), используют осаждение из смеси газов моносилана SiH_4 и диборана B_2H_6 после термического разложения газов. Для получения контролируемой концентрации примеси, получают смесь газов в нужной пропорции. Для этого газы напускают в камеру, где происходит осаждение, из двух сосудов одинакового объема. В первом содержится силан при давлении $P_1 = 10^5$ Па и температуре $T_1 = 200^\circ\text{C}$, а во втором диборан при некотором давлении P_2 и температуре $T_2 = 20^\circ\text{C}$.

1. Каким должно быть давление P_2 , чтобы концентрация примеси в пленке аморфного кремния составляла $n = 10^{19} \text{ см}^{-3}$? (5 баллов)
2. Какой объем газа силана потребуется пропустить через сосуд с $P_1 = 10^5$ Па и $T_1 = 200^\circ\text{C}$ для того, чтобы выросла плёнка аморфного кремния, толщиной $d = 10$ нм и площадью $S = 10 \text{ мм}^2$? (5 баллов)

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 2. Покрyтия для солнечных элементов

1. В 1 см^3 аморфного кремния содержится $5 \cdot 10^{22}$ атомов. Атомов примеси – 10^{19} , т. е. в 5000 раз меньше. С учетом того, что при термическом разложении силана $\text{SiH}_4 \xrightarrow{600-700^\circ\text{C}} \text{Si} + 2\text{H}_2$ из одной молекулы газа образуется один атом кремния, а при термическом разложении диборана $\text{B}_2\text{H}_6 \xrightarrow{300-550^\circ\text{C}} 2\text{B} + 3\text{H}_2$ из одной молекулы диборана образуются два атома бора, следует, что молекул силана больше в 10^4 раз.

Из уравнения идеального газа $P = nkT$ следует, что

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} = 10^4, \quad P_2 = \frac{P_1 T_2}{10^4 T_1} = \frac{10^5 \text{ Па} (273 + 20)}{10^4 (273 + 200)} \approx 6,2 \text{ Па}$$

2. Объем газа найдем из основного уравнения идеального газа $V = \frac{\nu RT_1}{P_1}$.

Количество вещества будет тем же, что и в плёнке аморфного кремния:

$$\nu = \frac{N_{a-Si}}{N_A} = \frac{\rho V}{N_A m_0} = \frac{\rho S d}{N_A m_0} = \frac{4,9 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3} \cdot 10^{-7} \text{ см}^3}{6,0 \cdot 10^{23}} \approx 8 \cdot 10^{-9} \text{ моль}$$

$$V = \frac{\nu RT_1}{P_1} = \frac{8 \cdot 10^{-9} \text{ моль} \cdot 8,3 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \cdot 473 \text{ К}}{10^5 \text{ Па}} = 3 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3 = 0,3 \text{ мм}^3 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3$$



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 3. Магнетронное напыление

Магнетронное напыление – способ нанесения тонких пленок. Метод заключается в бомбардировке мишени ионами инертных газов в скрещенных электрических и магнитных полях. Вынесенное вещество осаждается на подложке тонким слоем – от нескольких единиц нанометров и более. Поверхность мишени, расположенная между местами входа и выхода силовых линий магнитного поля, интенсивно распыляется и имеет вид замкнутой дорожки, геометрия которой определяется формой полюсов магнитной системы.

При подаче постоянного напряжения между мишенью (отрицательный потенциал) и анодом (положительный или нулевой потенциал) возникает электрическое поле и возбуждается тлеющий разряд. Наличие замкнутого магнитного поля у распыляемой поверхности мишени позволяет локализовать плазму разряда непосредственно у мишени.

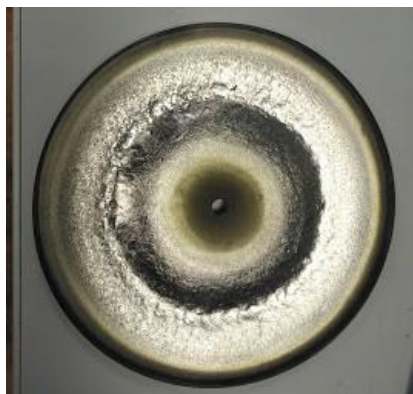


Рис. 1. Мишень после распыления. Вид сверху.

1. Полагая электрическое поле однородным и перпендикулярным поверхности, а магнитное – направленным по радиусу (см. рис. 2), оценить высоту слоя, в котором будут локализованы электроны, движущиеся в скрещенных полях. Считать, что электрон имеет нулевую начальную скорость и находится у поверхности. $E = 100$ В, $B = 0.001$ Тл. **(5 баллов)**
2. Какова будет траектория электрона? **(4 балла)**
3. В какой области будут локализованы ионы аргона? **(1 балл)**

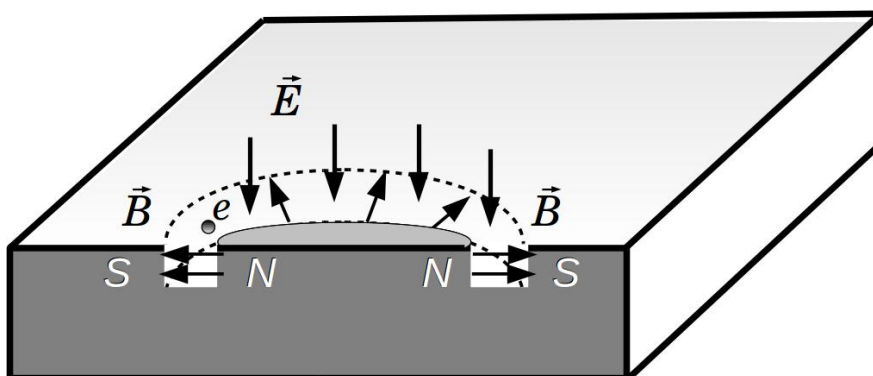


Рис. 2.

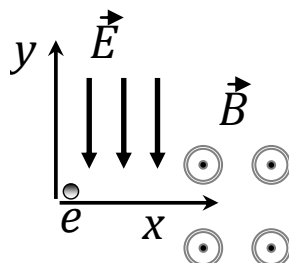
Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 3. Магнетронное напыление

1. Чтобы найти траекторию движения, запишем 2-й закон Ньютона в проекции на оси X Y. (Ось Z сонаправлена магнитному полю, Y перпендикулярна мишени и противоположна электрическому полю).



Ниже учтено, что электрон имеет отрицательный заряд.

$$\begin{aligned} m\dot{v}_x &= ev_y B_z \\ m\dot{v}_y &= -ev_x B_z + eE \end{aligned}$$

откуда приходим к уравнению колебаний для v_y с начальными условиями:

$$\begin{aligned} \ddot{v}_y &= \frac{-e^2 B_z^2}{m^2} v_y \\ v_y(0) &= 0 \\ \dot{v}_y(0) &= \frac{eE}{m} \\ v_x(0) &= 0 \\ \dot{v}_x(0) &= 0 \end{aligned}$$

Откуда получим:

$$\begin{aligned} v_x &= v_0(1 - \cos(\omega_0 t)) \\ v_y &= v_0(\sin(\omega_0 t)) \end{aligned}, \text{ где } \omega_0 = \frac{eB}{m}, v_0 = \frac{E}{B} \quad \begin{aligned} x(t) &= v_0 t - \frac{v_0}{\omega_0} \sin(\omega_0 t) + x_0 \\ y(t) &= \frac{-v_0}{\omega_0} \cos(\omega_0 t) + y_0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x(0) &= 0, y(0) = 0 \\ \text{учитывая } x_0 &= 0, y_0 = \frac{v_0}{\omega_0} \end{aligned}$$

2. Движение заряженной частицы в скрещенных полях будет происходить по циклоиде. Плоскость траектории перпендикулярна магнитному полю. Толщина слоя, в котором локализованы электроны, – это наивысшая точка циклоиды:

$$\Delta y = y(T/2) = \frac{v_0}{\omega_0} \left(1 - \cos\left(\frac{\omega_0 \pi}{\omega_0}\right) \right) = \frac{2v_0}{\omega_0} \approx 1 \text{ мм}$$

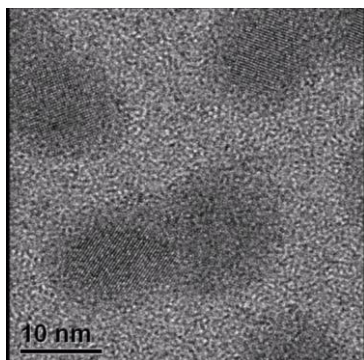
3. Масса ионов аргона на несколько порядков больше, поэтому в масштабах магнетронной установки они не будут локализованы, а полетят к мишени.



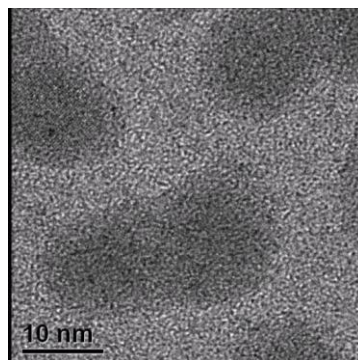
Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 4. Нагрев электронным пучком

При исследовании наночастиц методом просвечивающей электронной микоскопии высокого разрешения (ПЭМ ВР) замечено, что исследуемые образцы нагреваются и плавятся (см.рис.).



Исходный снимок ПЭМ наночастиц.



Снимок ПЭМ тех же наночастиц, сделанный позже.

1. Оцените энергию электронов в пучке просвечивающего микроскопа, необходимую для разрешения атомов в кристаллической решетке? Ответ приведите в электронвольтах. Каким условием определяется эта энергия? **(3 балла)**
2. Часть электронов из пучка в микроскопе высокого разрешения, пройдя сквозь частицу индия диаметром 20 нм, рассеивается, теряя энергию. Чему равна минимальная энергия одного электрона, прошедшего через частицу индия, если в момент прохождения приемник рентгеновского излучения зарегистрировал квант характеристического излучения индия $K_{\alpha 1}$ $E_1 = 24.2$ кэВ, а частица расплавилась? Известно, что при прохождении через частицу электрон потерял половину своей энергии. Вторичные электроны не зарегистрированы. Первоначальная температура частицы 20°C . При расчетах использовать справочные данные для макроскопического индия. **(7 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 4. Нагрев электронным пучком

1. Для того, чтобы разрешать отдельные атомы, необходимо, чтобы длина волны де Бройля была меньше межатомного расстояния. Межатомное расстояние имеет порядок единиц ангстрем. Поэтому $\lambda \leq 0,1 \text{ \AA}$.

Длина волны

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2m_e E}}$$

Энергия

$$E = \frac{h^2}{2m_e \lambda^2} = \frac{6^2 \cdot 10^{-68} \text{ Дж}^2 \text{ с}^2}{2 \cdot 9 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 10^{-22} \text{ м}^2} = 2 \cdot 10^{-15} \text{ Дж} \approx 10 \text{ кэВ}$$

На практике энергия в ПЭМ достигает 100 кэВ.

2. Энергия, которую электрон потратил, пошла на возбуждение атома с последующим испусканием рентгеновского кванта. Избыточная энергия выбитого электрона (т. к. вторичных электронов не было зарегистрировано, то он остался в нанокристалле) была передана кристаллической решетке, и пошла на нагрев с плавлением.

$$\begin{aligned} Q &= E_{K\alpha 1} + cv\Delta t + \lambda v = \\ &= 24,2 \text{ кэВ} + \left(26,7 \frac{\text{Дж}}{\text{Кмоль}} \cdot 136 \text{ К} + 3,24 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} \right) \frac{7,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \frac{4\pi}{3} 10^{-18} \text{ см}^3}{114 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 35,7 \text{ кэВ} \end{aligned}$$

Энергия одного электрона в 2 раза больше Q и равна 71,4 кэВ.



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 5. Наноспутники



Согласно принятой классификации малых космических аппаратов, наноспутником называется аппарат массой от 1 до 10 кг. С появлением и развитием концепции таких малых спутников появилось новое направление в современном ракетостроении – разработка микроракет, предназначенных для вывода на низкую околоземную орбиту (НОО) относительно небольшой полезной нагрузки (десятки и сотни килограммов).

Пусть микроракета «Заря» была спроектирована на выведение максимальной полезной нагрузки в 180 кг на круговую НОО с высотой над поверхностью Земли равной $1/20$ от ее среднего радиуса. Оцените, какое максимальное количество наноспутников массой 8 кг каждый сможет вывести такая микроракета на круговую НОО с вдвое большей высотой орбиты? При расчетах ракету считать одноступенчатой с собственной массой 1320 кг (без топлива), а расход топлива при выходе на заданную орбиту – полным.

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 5. Наноспутники

Воспользуемся законом сохранения энергии. Микроракета совершает полезную работу, используя внутреннюю энергию топлива. Эта полезная работа преобразуется в выигрыш в полной механической (кинетической и потенциальной) энергии самой ракеты и выводимого ей на орбиту груза по сравнению со значением этой энергии у поверхности Земли. В системе отсчета, связанной с Землей, примем за ноль потенциальной энергии $E_{\text{пот}}$ точку, расположенную на бесконечном удалении от Земли, т.е. для тела массы m справедливо: $E_{\text{пот}}(r) = -\frac{mgR^2}{r}$, где R – средний радиус Земли. Тогда, учитывая отсутствие начальной кинетической энергии у груза массы m и ракеты массы M с запасом топлива ΔM , прирост их совокупной механической энергии при выходе на орбиту с радиусом r (он отсчитывается от центра Земли) составит:

$$\Delta E = E_{\text{кон}}(r) - E_{\text{нач}}(R) = \frac{(m + M)v^2}{2} - \frac{(m + M)gR^2}{r} + (m + M + \Delta M)gR$$

где учтено, что начальная энергия системы груз+ракета+топливо у поверхности Земли ($r = R$) равна:

$$-(m + M + \Delta M)gR$$

Поскольку орбита является круговой, конечная скорость груза и ракеты v будет определяться только радиусом орбиты: $v^2 = \frac{gR^2}{r}$. Тогда:

$$\Delta E = -\frac{(m + M)gR^2}{2r} + (m + M + \Delta M)gR$$

Приравнявая этот выигрыш для двух грузов различной массы $m_1 = 180$ кг и m_2 (суммарная масса наноспутников), выводимых на орбиты с радиусами r_1 и r_2 , соответственно, получаем:

$$-\frac{(m_1 + M)gR^2}{2r_1} + (m_1 + M + \Delta M)gR = -\frac{(m_2 + M)gR^2}{2r_2} + (m_2 + M + \Delta M)gR$$

Подставляя $r_1 = R + \frac{R}{20}$ и $r_2 = R + \frac{R}{10}$ и упрощая, получаем:

$$\frac{11}{21}m_1 = \frac{6}{11}m_2 + \frac{5}{231}M$$

Откуда, подставляя $m_1 = 180$ кг и $M = 1320$ кг, получаем $m_2 \approx 120$ кг. Таким образом, микроракета может вывести на орбиту с радиусом r_2 максимум 15 наноспутников массой по 8 кг.



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 6. Дифракция на нанокристаллах

Дифракция рентгеновских лучей на кристаллах была открыта в 1912 году немецкими учеными под руководством Макса Лауэ. Это открытие доказало волновую природу рентгеновских лучей, так как оказалось, что для объяснения этого явления можно рассматривать кристалл как трехмерную дифракционную решетку. На рисунке 1 показана фотопластинка с рентгенограммой (темные области – рефлексы – соответствуют зонам концентрации рентгеновского излучения), полученной от тонкого образца монокристалла некоторого вещества (сориентированного нужным образом) при его облучении узким пучком рентгеновских лучей. Известно, что расстояние от образца до фотопластинки, расположенной перпендикулярно направлению распространения пучка (см. рис. 2), составляло $L = 10$ см, расстояние от центра рентгенограммы (ось пучка) до каждого из точечных рефлексов равно $h = 7.4$ см, а длина волны рентгеновских лучей $\lambda = 0.154$ нм.

1. Определить межплоскостное расстояние в кристалле d , соответствующее наблюдаемым точечным рефлексам. **(5 баллов)**
2. Как изменится рентгенограмма, если на пути пучка установить не монокристалл, а тонкую пленку, содержащую разупорядоченные нанокристаллы из того же материала? **(5 баллов)**

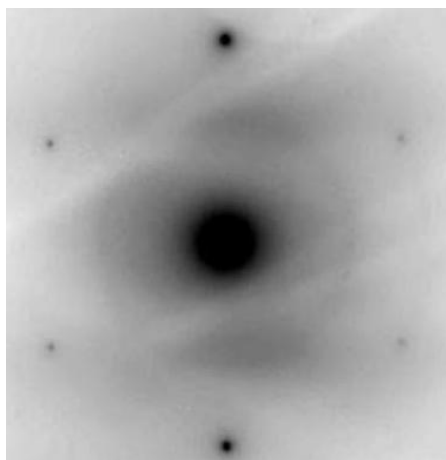


Рис. 1

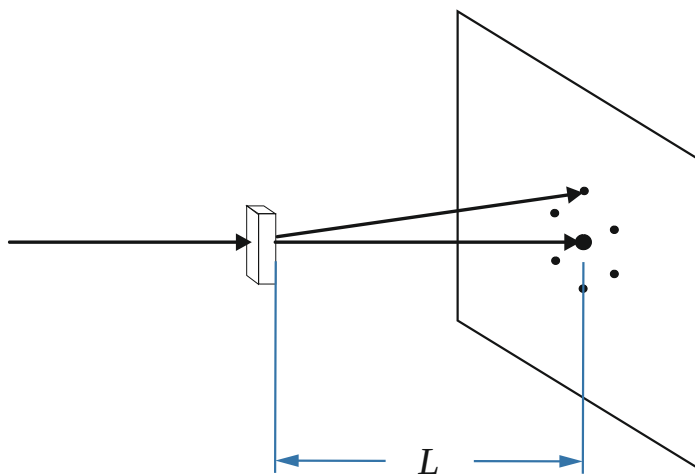


Рис. 2

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 6. Дифракция на нанокристаллах

1. Сложность в том, как правильно определить угол дифракции. Угол между двумя векторами на рисунке 2 – это удвоенный угол дифракции 2θ , в то время как в условии Вульфа-Брэггов входит именно угол дифракции θ :

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

Полагая порядок дифракции $n = 1$ (т.к. ближе к оси пучка других рефлексов нет), получаем для межплоскостного расстояния:

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{\lambda}{2 \sin \left(\frac{1}{2} \arctg \frac{h}{L} \right)} \approx 0.25 \text{ нм}$$

2. Так как нанокристаллы в пленке разупорядочены, т.е. не имеют определенной ориентации, то вместо точечных рефлексов будут наблюдаться темные дифракционные кольца радиуса h .



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 7. Фотоэлектронная спектроскопия наноматериалов

Одним из методов диагностики структуры материалов является рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Этот метод позволяет получать информацию о составе и характере взаимодействия атомов в тонком приповерхностном слое исследуемого образца. Анализируемая глубина составляет обычно не более 5 нм, что позволяет эффективно применять РФЭС для исследования наноструктурированных материалов. Под действием рентгеновского излучения атомы вещества эмитируют фотоэлектроны, распределение которых по их кинетическим энергиям представляет собой фотоэлектронный спектр. Из полученных спектров можно определить энергию связи внутренних (остовных) электронов, зависящую как от заряда ядра атомов (порядкового номера элемента), так и от их степени окисления, что позволяет определять не только элементный состав образца, но и характер химических связей между атомами. Дополнительно для изучения распределения атомов по глубине образца может применяться ионное травление, которое позволяет, в том числе, избавиться от возможных загрязнений исследуемой поверхности или присутствующих на ней чужеродных пленок.

1. В эксперименте методом РФЭС исследовалась тонкая пленка, содержащая распределенные в слое диоксида кремния нанокристаллы кремния, покрытая сверху дополнительным защитным слоем стехиометрического диоксида кремния. Пользуясь полученными при исследовании поверхностного слоя SiO_2 спектрами РФЭС (см. рис. 1), оценить энергию связи электронов Si 2p-уровней, если известно, что энергия связи электронов O 1s-уровней составляет ~ 533 эВ. **(5 баллов)**
2. После травливания поверхностного слоя SiO_2 ионным пучком и измерения спектра РФЭС исследуемой пленки с нанокристаллами кремния в области энергий Si 2p фотоэлектронов было замечено, что в спектре появился дополнительный пик с энергией около 1387 эВ (см. рис. 2). Объяснить наблюдаемое качественное изменение спектра. **(5 баллов)**

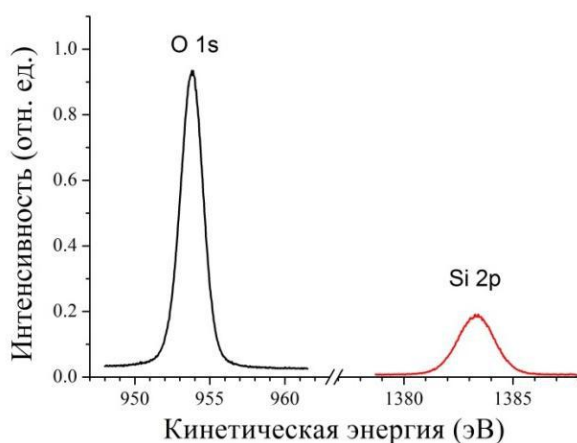


Рис. 1

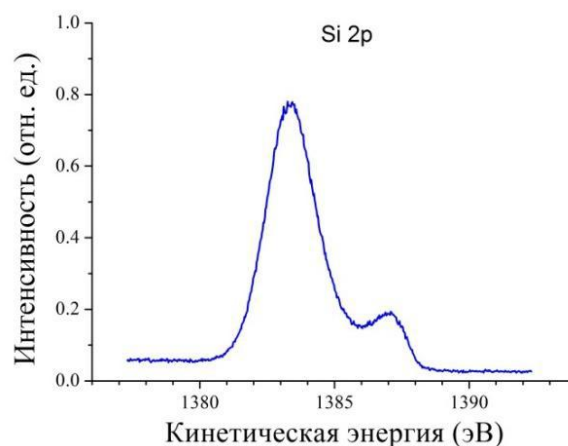


Рис. 2

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 7. Фотоэлектронная спектроскопия наноматериалов

1. Принцип, лежащий в основе метода РФЭС, – явление фотоэффекта, т.е. выбивание электронов из поверхностного слоя вещества под действием падающих квантов электромагнитного излучения. Энергию связи эмитированных фотоэлектронов определяют из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = E_{\text{связи}} + E_{\text{кин}}$$

На рис. 1 имеем два пика с энергиями около 954 эВ ($E_{\text{кин}}^{\text{O1s}}$) и 1383.5 эВ ($E_{\text{кин}}^{\text{Si2p}}$). Исходя из того, что оба пика получены в одном эксперименте, т.е. при одной и той же энергии квантов $h\nu$, получаем выражение для энергии связи электронов Si 2p-уровней:

$$E_{\text{связи}}^{\text{Si2p}} = E_{\text{связи}}^{\text{O1s}} + E_{\text{кин}}^{\text{O1s}} - E_{\text{кин}}^{\text{Si2p}} \approx 533 + 954 - 1383.5 = 103.5 \text{ эВ}$$

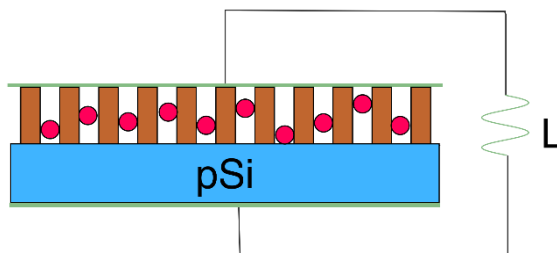
Таким образом, наблюдаемые в РФЭС спектрах на рис. 1 пики соответствуют атомам Si и O, связанным между собой ковалентной полярной связью в диоксиде кремния.

2. Появление дополнительного пика в РФЭС спектре исследуемой пленки с нанокристаллами кремния в области энергий Si 2p-уровней (около 1387 эВ, см. рис. 2) можно объяснить вкладом электронов, вырванных из внутренних оболочек атомов Si, входящих в состав нанокристаллов кремния, т.е. образующих ковалентную неполярную Si-Si связь. Различный характер Si-O и Si-Si связей и обуславливает наблюдаемый относительный сдвиг соответствующих максимумов в фотоэлектронных спектрах. При этом основной пик в спектре на рис. 2 соответствует атомам кремния, входящим в окружающий нанокристаллы слой SiO₂, что следует из совпадения энергии его максимума с максимумом Si 2p пика РФЭС спектра на рис. 1 (~ 1383.5 эВ).



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 8. Наносенсор на вирусы



Юный изобретатель Саша предложил схему наносенсора, чувствительного на вирусы. Сенсор представляет из себя двухслойную структуру: нижний слой – пористый кремний pSi (пористость $P = 50\%$, размер пор – 5 нм) толщиной $d_1 = 100$ мкм, верхний – слой пористых нанонитей диаметром 200 нм и толщиной $d_2 = 500$ нм (эффективная пористость для всего слоя – 25%), который и является чувствительным.

1. Почему чувствительным является только верхний слой? **(1 балл)** Каким образом можно обеспечить селективность такого сенсора? **(2 балла)**

Сверху и снизу на сенсор напылены сеточные металлические контакты и подсоединены к катушке с индуктивностью $L = 0.5$ мкГн.

2. Насколько изменится частота колебаний контура после того, как на поверхности элемента высушить 100 мкл вирусной суспензии с концентрацией вирусных частиц 10^6 мл⁻¹? **(7 баллов)** Площадь сенсора $S = 1$ см², радиус вируса $r = 50$ нм, его диэлектрическая проницаемость, $\epsilon_v = 75$.

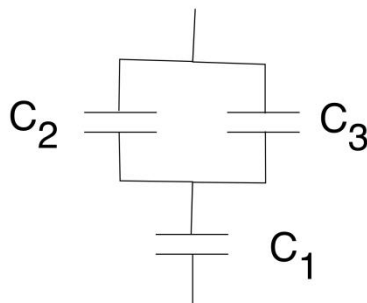
Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 8. Наносенсор на вирусы

1. Чувствительным является только верхний слой, причем его крупные поры, т.к. только туда могут попасть вирусные частицы. Малые поры диаметром 5 нм не позволяют вирусам проникать внутрь нижнего слоя, поэтому он нечувствительный. Для того, чтобы сделать сенсор селективным к определенным видам вирусов, можно, например, иммобилизовать (присоединить к поверхности) специальные антитела – биологические молекулы которые будут связываться с рецепторами определенных вирусов.
2. Рассмотрим сенсорный элемент как три конденсатора: параллельно соединенные, которые соответствуют кремниевому (C_2) и воздушному (C_3) верхним слоям, в свою очередь последовательно соединенные с нижним слоем (C_1).



При адсорбции вирусов изменяется только C_3 . Диэлектрическую проницаемость для C_1 и C_2 примем равной $(12 + 1) / 2 = 6.5$, учитывая, что для кристаллического кремния данная величина равна 12. Теперь рассчитаем общую емкость всего сенсорного элемента:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2 + C_3}. \quad (1)$$

Емкости каждого конденсатора определяются по формуле для плоского конденсатора:

$$C_{1,2,3} = \epsilon_{1,2,3} \epsilon_0 \frac{S}{d_{1,2,3}}. \quad (2)$$

После адсорбции вирусов емкость C_3 изменится на C'_3 , соответственно и общая емкость будет C' вместо C . Найдём отношение:

$$\frac{C}{C'} = \frac{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2 + C_3}}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2 + C'_3}} = \frac{(C_2 + C_3)(C_2 + C'_3) + C_1(C_2 + C'_3)}{(C_2 + C_3)(C_2 + C'_3) + C_1(C_2 + C_3)} \quad (3)$$

$$\frac{C}{C'} = \frac{(C_2 + C_3)(C_2 + C'_3) + C_1(C_2 + C'_3 + C_3 - C_3)}{(C_2 + C_3)(C_2 + C'_3) + C_1(C_2 + C_3)} =$$

$$= 1 + \frac{C_1(C'_3 - C_3)}{(C_2 + C_3)(C_2 + C'_3) + C_1(C_2 + C_3)} \quad (4)$$

Допустим, что C'_3 близко к C_3 (позже увидим, что это действительно так), а также, что $C_1 \ll C_2, C_3$. Тогда выражение упростится:

$$\frac{C}{C'} = 1 + \frac{C_1(C'_3 - C_3)}{(C_2 + C_3)^2} = 1 + \frac{C_1 \Delta C_3}{(C_2 + C_3)^2}, \quad (5)$$

где ΔC_3 – разница C_3 до и после адсорбции вирусов. Отсюда относительное изменение общей емкости δC (безразмерная величина):

$$\delta C = \frac{C_1 \Delta C_3}{(C_2 + C_3)^2}. \quad (6)$$

Для того, чтобы рассчитать ΔC_3 , найдем суммарный объем вирусов в капле:

$$V = V_{drop} \cdot C \frac{4}{3} \pi r^3 = 0.1 \cdot 10^6 \cdot 4.2 \cdot (5 \cdot 10^{-8})^3 = 5.2 \cdot 10^{-17} \text{ м}^3 \quad (7)$$

Объем пор (крупных, доступных для вирусов) составляет:

$$V_0 = d_2 S P = 0.5 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-4} \cdot 0.5 = 2.5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3 \quad (8)$$

Таким образом, домножая фактор заполнения (отношение объемов) на диэлектрическую проницаемость самих вирусов, получим:

$$\Delta C_3 = \epsilon_0 \frac{S}{d_2} \frac{V}{V_0} \epsilon_v = \epsilon_0 S \frac{2 \cdot 10^{-8} \cdot 75}{0.5 \cdot 10^{-6}} = \epsilon_0 S \cdot 3 \quad (9)$$

Найдем также выражения для C_1, C_2 и C_3 .

$$C_1 = \epsilon_0 S \frac{6.5}{10^{-4}} = \epsilon_0 S \cdot 6.5 \cdot 10^4. \quad (10)$$

$$C_2 = \epsilon_0 \frac{S}{2} \frac{6.5}{5 \cdot 10^{-7}} = \epsilon_0 S \cdot 6.5 \cdot 10^6. \quad (11)$$

$$C_3 = \epsilon_0 \frac{S}{2} \frac{1}{5 \cdot 10^{-7}} = \epsilon_0 S \cdot 10^6. \quad (12)$$

Отсюда δC :

$$\delta C = \frac{6.5 \cdot 10^4 \cdot 3}{(7.5 \cdot 10^6)^2} = 3.5 \cdot 10^{-9} \quad (13)$$

Частота колебательного контура будет определяться наименьшей емкостью из последовательно включенных, т.е. C_1 . Таким образом:

$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}} = \frac{1}{6.3\sqrt{0.5 \cdot 10^{-6} \cdot 6.5 \cdot 10^4 \cdot 8.82 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-4}}} = \\ &= \frac{1}{6.3 \cdot 5.3 \cdot 10^{-9}} = 3 \cdot 10^7 = 30 \text{ МГц} \end{aligned} \quad (14)$$

Измерение частоты будет связано с изменением δC , которое в силу малости и извлечения корня будет умножаться на 0.5:

$$\sqrt{1+x} \approx 1 + \frac{x}{2}, \quad x \ll 1 \quad (15)$$

Отсюда искомое изменение частоты:

$$\delta f = f \frac{\delta C}{2} = 5.25 \cdot 10^{-2} \text{ Гц.} \quad (16)$$



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 9. Из крайности в крайность



диффузия Кнудсена



вязкое течение

Известно, что механизм диффузии газов через пористые среды во многом обусловлен числом Кнудсена Kn , которое равно отношению длины свободного пробега молекул этого газа λ к диаметру пор d . Так, при $Kn \ll 1$ реализуется вязкое течение газа в порах, а при $Kn \gg 1$ – кнудсеновская диффузия. Принципиальное отличие этих двух механизмов состоит в том, что вязкий поток газа представляет собой движение сжимаемой сплошной среды, а в случае кнудсеновской диффузии молекулы проникают через пористую среду как изолированные частицы. Вязкий поток газа задаётся выражением:

$$J_p = \frac{\pi d^4}{128\eta} \cdot \frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{P_1 + P_2}{2P_2},$$

где η – динамическая вязкость газа, P_1 – давление на входе в пору, P_2 – давление на выходе из поры, L – длина пор. Кнудсеновский поток газа через единицу площади мембраны можно рассчитать по формуле:

$$J_{Kn} = \frac{2dV_m}{3L} \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi MRT}} \cdot \Delta P,$$

где V_m – молярный объём, M – молярная масса газа, R – универсальная газовая постоянная, T – температура.

1. На основе представленных данных оцените наибольший диаметр пор, для которых ещё может наблюдаться ощутимый вклад Кнудсеновской диффузии при пропускании азота под давлением 1 атм и при температуре 27 °С. Диаметр молекулы азота равен 0.37 нм. **(4 балла)**
2. Представьте, что для экспериментов доступны мембраны трёх видов со средним диаметром пор 10 нм, 50 нм и 100 нм. Какую из них следует выбрать для более эффективного разделения смеси N_2 ($d = 0.37$ нм, $\eta = 1778$ Па·с) и He ($d = 0.256$ нм, $\eta = 1968$ Па·с), взятых в мольном соотношении 1:1 при давлении 1 атм? Ответ обоснуйте. Каким при этом в идеале будет мольное соотношение газов в смеси, прошедшей через мембрану? **(6 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 9. Из крайности в крайность

1. Длина свободного пробега молекул газа определяется по формуле

$$\lambda = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi r^2 n},$$

где n – концентрация молекул газа, r – их радиус. Концентрацию молекул газа можно рассчитать согласно молекулярно-кинетической теории: $P = nkT$, где P – давление, n – концентрация, k – постоянная Больцмана, T – температура. Отсюда получаем, что при заданных условиях

$$n = \frac{101325 \text{ Па}}{1.6 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot 300 \text{ К}} = 2.11 \cdot 10^{25} \frac{1}{\text{м}^3}.$$

Теперь можно определить длину свободного пробега молекул азота:

$$\lambda = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi \cdot (0.17 \cdot 10^{-9} \text{ м})^2 \cdot 2.11 \cdot 10^{25} \frac{1}{\text{м}^3}} = 9.2 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 92 \text{ нм}.$$

Из условия следует, что с ростом числа Кнудсена увеличивается доля кнудсеновской диффузии, поэтому её вклад будет ощутимым, если Kn по меньшей мере больше 1. Следовательно, $d < \lambda$, или $d < 92 \text{ нм}$. Таким образом, диаметр пор должен быть меньше 100 нм.

2. Диаметры молекул азота и гелия намного меньше среднего диаметра пор всех предложенных мембран, поэтому разделение газовой смеси, основанное на различиях в размерах молекул, невозможно ни для одного из описанных образцов. Однако разделение можно осуществить, подобрав необходимый механизм диффузии. Вязкий поток селективностью не обладает, так как вязкости N_2 и He довольно близки ($\eta(\text{He}) / \eta(N_2) = 1.11$). Зато кнудсеновский поток зависит от молекулярной массы газа, поэтому для разделения смеси её необходимо пропускать через мембрану в режиме кнудсеновской диффузии, то есть при больших Kn . Так как число Кнудсена обратно пропорционально размеру поры, то следует выбрать мембраны со средним диаметром пор 10 нм.

В идеальном случае мольное соотношение газов определяется отношением потоков в режиме диффузии Кнудсена. Поэтому оно будет равно

$$\frac{v_{\text{He}}}{v_{N_2}} = \frac{J_{Kn, \text{He}}}{J_{Kn, N_2}} = \frac{\frac{2dV_m}{3L} \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi M_{\text{He}} RT}} \cdot \Delta P}{\frac{2dV_m}{3L} \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi M_{N_2} RT}} \cdot \Delta P} = \sqrt{\frac{M_{N_2}}{M_{\text{He}}}} = \sqrt{\frac{0.028 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{0.004 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}} = \sqrt{7}$$



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 10. Автостопом на комете

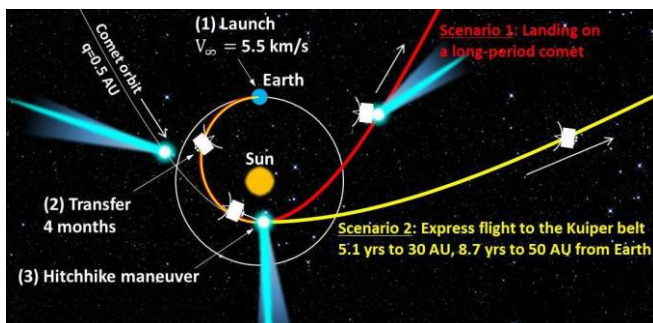


Рис. а



Рис. б

В качестве альтернативы «обычным» ракетным двигателям инженеры NASA предложили использовать для разгона космических кораблей трос, сделанный из углеродных нанотрубок (УНТ). В предложенной схеме космический корабль «ловит» на кончик троса пролетающую мимо с большой скоростью комету, и, разматывая натянутый трос, постепенно увеличивает свою скорость. В нужный момент времени трос отделяется, и разогнавшийся корабль продолжает свое путешествие на окраины Солнечной системы (рис. а).

Оценим эффективность предложенной схемы на простом примере (рис. б).

1. Найдите массу m_{nt} , длину l и толщину d УНТ троса, если
 - масса космического корабля с тросом составляет $m = 1000$ кг;
 - максимальное ускорение, которое может выдержать корабль, составляет $10g$ (в десять раз больше ускорения свободного падения на Земле);
 - кораблю необходимо разогнаться при помощи троса до скорости кометы; ее скорость изначально больше скорости корабля на $\Delta v = 7$ км/с. **(5 баллов)**
2. Сравните, во сколько раз приращение скорости корабля при разгоне УНТ тросом будет отличаться от приращения скорости с использованием реактивного топлива, если массы троса и топлива равны. Для расчета использовать формулу Циолковского*, удельный импульс ракетного двигателя на корабле считать равным 5000 м/с. **(1 балл)**
3. Оцените, какое предельное значение Δv возможно при разгоне корабля с использованием троса из УНТ (т.е. безотносительно суммарной массы корабля и его максимально возможного ускорения). **(4 балла)**

Считать, что:

- трос из УНТ можно для удобства расчетов представить как «рулон» из листа графена той же массы, длины, диаметра и прочности; плотность графена равна 2260 кг/м³, прочность на разрыв – $1,3 \cdot 10^{11}$ Н/м²;
- комета движется параллельно курсу корабля и имеет несоизмеримо большую массу;
- ускорение корабля, «поймавшего» комету, постоянно и равно максимальному;
- растяжением троса можно пренебречь.

*Формула Циолковского определяет скорость, которую развивает летательный аппарат под воздействием тяги ракетного двигателя: $\Delta v = I \cdot \ln(m/m_2)$, где Δv – изменение скорости корабля, I – удельный импульс ракетного двигателя, m – начальная масса корабля с топливом, m_2 – масса корабля, выработавшего топливо.

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 10. Автостопом на комете

1.

- 1) За время $t = \Delta v/a$ от момента «загарпунивания» корабль достигает скорости Δv и проходит расстояние $L_1 = at^2/2 = \Delta v^2/2a$. За это же время комета проходит расстояние $L_2 = \Delta v t = \Delta v^2/a$.

Разность пройденных путей равна длине троса:

$$L = L_1 - L_2 = \Delta v^2/a - \Delta v^2/2a = \Delta v^2/2a$$

$$L = \Delta v^2/2a = 7000^2/(2 \cdot 10 \cdot 9,8) = 250000 = 2,5 \cdot 10^5 \text{ м} = \underline{\underline{250 \text{ км}}}$$

- 2) Поскольку ускорение корабля постоянно, то сила, ускоряющая корабль, составляет $F = ma$. Необходимо, чтобы трос в момент прикрепления к комете выдерживал эту силу, т.е. $F = \sigma s$. Следовательно, $ma = \sigma s$.

Стоит отметить, что трос имеет две особых точки – точку соприкосновения с кораблем и точку крепления к комете. Силы, действующие на трос в этих точках, при выбранной схеме ускорения со временем станут меньше F (следовательно, не повлияют на выбор толщины троса). В первой точке – из-за разматывания троса и уменьшения массы корабля (т.к. ускорение корабля постоянно); во второй точке – из-за меньшего ускорения точки центра масс системы трос-корабль (т.к. точка центра масс удаляется от движущегося с постоянным ускорением корабля).

$$s = \frac{ma}{\sigma} = \frac{1000 \cdot 10 \cdot 9,8}{1,3 \cdot 10^{11}} = 7,54 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$$

$$s = \frac{\pi d^2}{4}, d = \sqrt{\frac{4s}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,54 \cdot 10^{-7}}{3,14}} = 9,8 \cdot 10^{-4} \text{ м} \approx \underline{\underline{1 \text{ мм}}}$$

$$m_{nt} = sL\rho = \frac{F}{\sigma} L\rho = \frac{ma}{\sigma} L\rho = \frac{1000 \cdot 10 \cdot 9,8 \cdot 2,5 \cdot 10^5 \cdot 2260}{1,3 \cdot 10^{11}} = \underline{\underline{426 \text{ кг}}}$$

2. По формуле Циолковского

$$\Delta v = I \ln \left(\frac{m}{m_2} \right) = I \ln \left(\frac{m}{m - m_{nt}} \right) = 5000 \cdot \ln \left(\frac{1000}{1000 - 426} \right) = 2,78 \text{ км/с}$$

прирост скорости для такой же массы реактивного топлива в $7/2,78 = \underline{\underline{2,5 \text{ раза меньше}}}$. Трос из нанотрубок заметно превосходит лучшие из ракетных топлив.

3. Из $L = \Delta v^2/2a$ находим

$$\Delta v = \sqrt{2aL} = \sqrt{2L \frac{F}{m + m_{nt}}} = \sqrt{2L \frac{s\sigma}{m + m_{nt}}} = \sqrt{\frac{2m_{nt}\sigma}{\rho(m + m_{nt})}}$$

$$\lim_{\frac{m_{nt}}{m+m_{nt}} \rightarrow 1} \Delta v = \sqrt{\frac{2\sigma}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,3 \cdot 10^{11}}{2260}} = 10725 \text{ м/с} \approx \underline{\underline{11 \text{ км/с}}}$$

Стоит отметить, что использовавшаяся в задаче упрощенная схема ускорения корабля и нагрузки троса не оптимальна (трос только в первый момент времени испытывает натяжение близкое к максимальному). Например, рациональнее было бы использовать трос с уменьшающимся сечением, однако это заметно усложнит расчеты, приводя к качественно близкому решению.



Биология для школьников

Биология

Категория участников: школьники 7-11 классов

Блок теоретических заданий по **биологии для школьников 7-11 классов** включает задачи разной сложности. Для повышения вероятности прохождения на очный тур Вам желательно решить задачи не только по биологии, но и по физике, математике, химии, чтобы набрать больше баллов. Все прошедшие на очный тур обязательно решают задачи по всем четырём предметам.

Задания

1. Нанороботы в системе кровообращения

Профессор Гемоглобинов изобрел наноробота для диагностики системы кровообращения. Этот наноробот прикреплялся к одному из ретикулоцитов в крови и активировался в тот момент, когда ретикулоцит превращался в эритроцит...

2. Эндосимбиоз в клетках

Природа начала создавать наномашин задолго до того, как это начал делать человек. Так, митохондрия – это готовая фабрика по созданию высокоэнергетического топлива – молекулы АТФ. Считается, что митохондрия – это результат эндосимбиоза...

3. Урок зельеварения

Гермиона решила вступить в клуб Зельеварения. Руководила клубом новая учительница, которая особо увлекалась таким разделом науки маглов, как нанобиотехнологии. На первом же занятии учительница сняла с руки кольцо и кинула его в раствор 50% азотной кислоты...

4. Приключения Ясона и Геракла

Ясон и Геракл решили стать биологами. Ясон был первым, кто изобрел машину времени и совершил путешествие в архейскую эру. А Геракл в это время изучал кишечник коровы.

Что Ясону надо было бы обязательно взять с собой...

5. «Прививка от Кроша»

В мультфильме «Смешарики. Прививка от Кроша» друзья Крош и Ежик решают помочь выздороветь заболевшему гриппом пингвину Пину. В специальной летающей и плавающей капсуле они уменьшаются, попадают в стакан с лекарством, который выпивает Пин...

6. Синдром Рефсума

Слышали ли Вы что-нибудь об орфанных заболеваниях? В эту категорию выделяют заболевания, которыми болеет небольшая часть популяции, это – редкие заболевания. При этом в какой-либо стране или среди группы людей заболевание может быть широко распространено...

7. Митохондриальные заболевания

В эту группу выделяют наследственные заболевания, связанные с нарушением в функционировании митохондрий. Это приводит к нарушению энергетических функций в различных органах и тканях. В настоящее время не существует надежного способа лечения митохондриальных заболеваний...

8. Светящиеся в темноте

Студент-биолог Вася нырял с аквалангом ночью в море и увидел интересных полупрозрачных животных, светящихся сине-зеленым светом и переливающихся разными цветами. Поскольку Вася хорошо знал зоологию беспозвоночных, он сразу узнал, к какому типу относятся эти животные...

9. Вот это поворот!

Афанасий Тимофеевич Филимонов прибывает на станцию Энергетическая с двумя чемоданами. Он становится возле дверей, а мимо него пробегает Парамон, а потом снова и снова. И тут – вот это поворот! – у Афанасия Тимофеевича уже три чемодана!..

10. Вижу цель, не замечаю препятствий

Живые клетки у растений и животных разделены мембранами на отдельные пространства – компартменты, так же, как дом разгорожен стенами на комнаты. И, конечно, вся клетка отделена надежной стеной – мембраной – от окружающей среды...

Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 1. Нанороботы в системе кровообращения

Профессор Гемоглобинов изобрел наноробота для диагностики системы кровообращения. Этот наноробот прикреплялся к одному из ретикулоцитов в крови и активировался в тот момент, когда ретикулоцит превращался в эритроцит. Начиная с этой стадии, наноробот передавал информацию о линейной скорости кровотока, диаметре сосуда, который он в данный момент проходит, и о количестве кислорода в эритроците. Так наноробот проходил общую сонную артерию диаметром 7 мм со скоростью 13 см/с.

1. Какой объем крови проходит через эту артерию в мл, если объемная скорость кровотока равна произведению линейной скорости кровотока на площадь поперечного сечения сосуда? **(1 балл)**

Наноробот передал информацию, о том, что прошел один из участков кровеносной системы с линейной скоростью 45 см/с, а второй — со скоростью 15 см/секунду.

2. Что вы можете сказать о сосудах, которые он проходил? **(1 балл)**
3. Где в итоге будет наноробот утилизирован? Через сколько примерно дней после его активации это произойдет? **(1 балл)**
4. Учитывая тот факт, что полный круг кровообращения занимает 24 секунды и вы знаете среднюю продолжительность жизни эритроцита, сколько раз наноробот передаст сигнал из общей сонной артерии? Сколько раз из наружной сонной артерии? **(1 балл)**

Всего – 4 балла

Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 1. Нанороботы в системе кровообращения

1. Объемная скорость кровотока = $13 \text{ см/с} \cdot 0.35 \text{ см} \cdot 0.35 \text{ см} \cdot 3.14 = 5 \text{ мл/с}$.
2. Чем выше линейная скорость кровотока, тем больше диаметр сосудов, по которым проходит наноробот.
3. Наноробот будет утилизирован в печени или селезенке – макрофагами.
4. Средняя продолжительность жизни эритроцита – 120 дней. Сонную артерию наноробот проходит за один круг кровообращения длительностью в 24 секунды.

$$60 \cdot 60 \cdot 24 / 24 = 3600 \text{ раз в сутки или } 3600 \cdot 120 = 432000 \text{ в течение всей жизни.}$$

Так как она раздваивается, то за время жизни эритроцита наноробот пройдет наружную сонную артерию 216000 раз.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 2. Эндосимбиоз в клетках

Природа начала создавать наномашинны задолго до того, как это начал делать человек. Так, митохондрия – это готовая фабрика по созданию высокоэнергетического топлива – молекулы АТФ. Считается, что митохондрия – это результат эндосимбиоза, при котором одна прокариотическая клетка проникла в другую и обе получили от этого неоспоримые преимущества.

1. Какие признаки указывают на бактериальное происхождение митохондрий? **(1 балл)**
Приведите другой пример эндосимбиоза, приведший в итоге к образованию органеллы в растительной клетке. **(1 балл)** Какая еще форма взаимоотношений по вашему мнению могла привести к возникновению митохондрий? **(1 балл)**

В митохондриях используется белковый наноротор для синтеза АТФ.

2. Предложите обоснованные примеры использования этого ротора в будущем и какие особенности их конструкции ограничивают условия их применения? **(2 балла)**

Всего – 5 баллов

1. На бактериальное происхождение митохондрий указывает наличие собственной ДНК, бинарное размножение, собственные рибосомы, а также собственная двойная мембрана.

Другой пример эндосимбиоза – это хлоропласты в растительных клетках.

Кроме эндосимбиоза к возникновению митохондрий могло привести то, что бактерия, которая в будущем стала митохондрией, первоначально была бактериальным паразитом.

2. На поверхности лежит его использование для биомедицинских целей – в качестве мотора в более сложных наноразмерных системах для доставки лекарств или диагностических чипов. Также изучение его строения поможет создавать более эффективные моторы в будущей наноробототехнике. Существенным недостатком является их слабая управляемость и то, что они способны работать только в водных растворах.

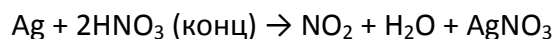
Гермиона решила вступить в клуб Зельеварения. Руководила клубом новая учительница, которая особо увлекалась таким разделом науки маглов, как нанобиотехнологии.

На первом же занятии учительница сняла с руки кольцо и кинула его в раствор 50% азотной кислоты. стакан она поместила под тягу, а из стакана с раствором пошел дым, который учительница назвала «лисьим хвостом». А когда жидкость остыла, на дне образовались белые кристаллы. стакан учительница отдала Гермионе и попросила ее отфильтровать его содержимое. После этого она заварила чай из листьев герани, в приготовленный экстракт высыпала отфильтрованные Гермионой кристаллы и поставила это все на мешалку. По уверению учительницы в конце процедуры цвет экстракта должен измениться и в нем должны зародиться таинственные наночастицы. С помощью этих частиц маглы усиливают сигнал падающего света от молекул при условии, что наночастицы находятся рядом с молекулами.

1. Из какого металла должно было быть сделано кольцо? **(1 балл)**
Что из себя представляет дым, названный учительницей «лисьим хвостом»?
Напишите схему реакции. **(1 балл)**
2. Как вы думаете, зачем нужен экстракт из листьев герани и как называется химический процесс, в ходе которого получают наночастицы? **(1 балл)** Почему должен измениться цвет экстракта? **(1 балл)**
3. Как называется метод маглов? **(1 балл)**
Какими преимуществами обладает такой метод получения наночастиц по сравнению с другими? **(2 балла)**

Всего – 7 баллов

1. Это кольцо должно быть сделано из серебра. «Лисий хвост» – это жаргонное название оксида азота (IV).



2. В фитоэкстрактах герани образуются вещества которые являются восстановителями. В результате реакции фитоэкстрактов с нитратом серебра образуются коллоидные растворы наночастиц серебра (гидрозоли наночастиц серебра).

При образовании наночастиц серебра цвет раствора меняется, так как наночастицы серебра обладают оптическими свойствами, обусловленными поверхностным плазмонным резонансом – они становятся красновато-бурыми.

3. Метод маглов называется спектроскопией гигантского комбинационного рассеяния.

Считается, что методы зеленой химии более экологичны и дешевы.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 4. Приключения Ясона и Геракла

Ясон и Геракл решили стать биологами. Ясон был первым, кто изобрел машину времени и совершил путешествие в архейскую эру. А Геракл в это время изучал кишечник коровы.

1. Что Ясону надо было бы обязательно взять с собой, чтобы выйти из машины времени и изучить живые организмы в архейскую эру? **(2 балла)**
2. Когда Ясон и Геракл сравнили свои исследования, то они были сильно удивлены, так как нашли в них много общего. Как вы думаете, что общего они нашли, а что отличалось? **(2 балла)**
3. Какие живые организмы, жившие в архейскую эру, стали причиной такого многообразия жизни в наше время и благодаря каким своим свойствам? **(2 балла)**

Ясон и Геракл решили изобрести медицинского наноробота для борьбы с особо опасными инфекциями. Прежде, чем перейти к своему изобретению, они решили изучить, какими особыми свойствами обладает макрофаг – клетка иммунной системы и что ее отличает от других клеток.

4. Как вы думаете, какими обязательными характеристиками должен обладать макрофаг, чтобы выполнять свою функции? **(2 балла)**

Всего – 8 баллов

1. Так как в атмосфере архейской эры практически не было кислорода, то Ясону обязательно нужно было взять с собой скафандр. Для изучения флоры и фауны ему нужно было взять микроскоп, так как в то время Землю населяли бактерии и археи.
2. Атмосфера архейской эры по газовому составу, как предполагают, была такой: углекислый газ, азот, водород, метан, аммиак, сероводород, хлористый водород. Состав кишечных газов: азот, углекислый газ, водород, метан, кислород, аммиак, сероводород. Как и в кишечнике коровы основные жители архейской эры были бактерии и археи, в основном анаэробы, например метаногены – жили в архейских период и до сих пор живут в болотах, а также в кишечнике жвачных и человека.
3. Благодаря цианобактериям, которые в процессе фотосинтеза в качестве побочного продукта производили кислород, атмосфера на земле с восстановительной поменялась на окислительную и доля кислорода в атмосфере выросла до 20%. В результате кислородной катастрофы многие жители архейского периода погибли – но те, кто выжил, дали жизнь всему тому многообразию, которое мы в данный момент наблюдаем.
4. Для того, чтобы макрофаг был способен исполнять свои функции, он должен быть большой клеткой, с развитым цитоскелетом, чтобы двигаться и быть способным к фагоцитозу. Также у него должно быть много митохондрий, потому что его функции очень энергозатратны и требуют много АТФ. Кроме того, фагоцит должен быть способен генерировать активные формы кислорода, чтобы уничтожать бактерии.

В мультфильме «Смешарики. Прививка от Кроша» друзья Крош и Ежик решают помочь выздороветь заболевшему гриппом пингвину Пину. В специальной летающей и плавающей капсуле они уменьшаются, попадают в стакан с лекарством, который выпивает Пин, и проникают в его кровеносную систему, где отправляются на поиски «захватчиков» – вирусов гриппа и «собственной армии» Пина – иммунных клеток. Однако на самом деле все оказывается намного сложнее, чем они подозревали. В кровеносных сосудах Крош и Ежик встречают, как они считают, ужасных монстров: одни «плюются» липкими «снарядами», другие пытаются съесть уменьшающую капсулу с друзьями. При этом со всех сторон капсулу «толкают» многочисленные округлые красные клетки.

1. О каких «монстрах» идет речь и в чем их функция в организме? **(2 балла)**
2. Чем являлись липкие «снаряды»? В чем их функция и чем обеспечивается «прилипание» снарядов к предполагаемой мишени? Как Вы думаете, а могли эти «снаряды» на самом деле прилипнуть к уменьшающей капсуле Кроша и Ежика? За счет чего? **(4 балла)**
3. Каких бы «монстров» не было, если бы Пин был не пингвином, а, например, кузнечиком? Ответ обоснуйте. **(2 балла)**
4. Каких «монстров» встретили бы Крош и Ежик, если бы проникли не в кровь, а слои кожи? Назовите их и опишите функции. **(2 балла)**
5. Как Вы считаете, какую функцию выполняют многочисленные красные клетки? У кого эти клетки будут работать эффективнее, у пингвина Пина или, например, зайчика Кроша? Почему? **(2 балла)**
6. По сюжету мультфильма Пин отказался делать прививку от гриппа. Опишите, каким образом прививки помогают организму не заболеть или, во всяком случае, перенести заболевание быстрее и легче. **(2 балла)**

Всего – 14 баллов

1. «Плюющиеся» монстры – это В-лимфоциты (клетки приобретенного иммунитета), производящие антитела, а «монстры», пытающиеся съесть капсулу – это макрофаги. Также это могут быть дендритные клетки и нейтрофилы. Макрофаги, дендритные клетки и нейтрофилы – это клетки врожденного иммунитета. Их роль – быстрая, первоочередная защита организма от инфекции. Макрофаги и нейтрофилы эндоцитируют чужеродный агент – патоген. Дендритные клетки также захватывают патоген, но их основная функция после этого – активировать лимфоциты, передав им информацию о съеденном патогене. Так, активированные В-лимфоциты начинают производить антитела, которые будут иметь точное соответствие и способность прилипнуть к компонентам патогена. При выделении антител из В-лимфоцитов они специфически связываются с компонентами чужеродного агента и тем самым привлекают другие лимфоциты и макрофаги.
2. «Липкие снаряды» – это антитела. Антитела специфическим образом взаимодействуют с белками чужеродных агентов-патогенов. Подобная специфичность закладывается при синтезе антител в В-лимфоцитах, активированных дендритными клетками, поглотившими патоген или его белковые компоненты. Таким образом, «снаряды»-антитела не могли «прилипнуть» к уменьшающей капсуле с Крошем и Ежиком. Некоторое неспецифическое «прилипание» могло произойти только за счет случайного гидрофобного или электростатического взаимодействия.
3. Если бы Пин был кузнечиком, то у него бы не было приобретенного иммунитета и В-лимфоциты отсутствовали.
4. Если бы Крош и Ежик попали в слои кожи, то они там бы там тоже встретили «монстров»-пожирателей – дендритные клетки и нейтрофилы, которые перемещаются по всему организму в поисках чужеродных агентов. Кроме того, в нижние слои кожи при индукции воспаления перемещаются лимфоциты, в том числе, В-лимфоциты, синтезирующие антитела – «липкие снаряды».
5. Многочисленные клетки – это эритроциты, основная функция которых – это перенос кислорода. У птиц эритроциты круглые и содержат ядро, в то время, как у млекопитающих эритроциты имеют форму двояковогнутого диска без ядра. Таким образом, у эритроцитов млекопитающих создается больший объем, заполненный гемоглобином, в связи с чем они более эффективно переносят кислород.
6. Прививки вводят в организм кусочки патогена, которые активируют иммунную систему, заставляя В-клетки производить антитела. Часть В-лимфоцитов запоминает патогена и сохраняется (формируются клетки памяти). Когда в организм попадает уже настоящий возбудитель заболевания, то лимфоциты активируются очень быстро, что и позволяет не заболеть или справиться с инфекционным агентом значительно быстрее, чем было бы без прививки.



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 6. Синдром Рефсума

Слышали ли Вы что-нибудь об орфанных заболеваниях? В эту категорию выделяют заболевания, которыми болеет небольшая часть популяции, это – редкие заболевания. При этом в какой-либо стране или среди группы людей заболевание может быть широко распространено, а другом региона мира или среди других групп людей чрезвычайно редким. Также не существует единых норм определения заболевания как редкого. В России, например, заболевание относят к категории редких, если зарегистрировано менее 10 случаев на 100 000 человек.

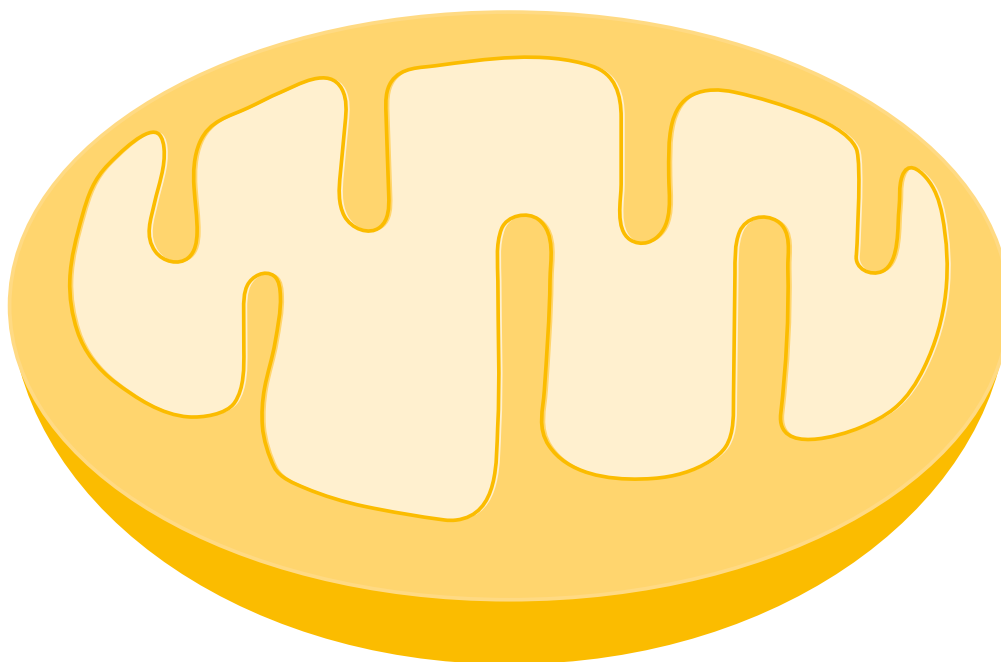
Основная проблема в случае наличия таких заболеваний – это сложность их диагностики, а значит и правильного лечения, из-за их редкой встречаемости, а также отсутствие необходимых лекарств и методов лечения, поскольку их крайне невыгодно разрабатывать. Обычно для стимуляции исследований орфанных заболеваний и разработки лекарств требуется поддержка государства или больших благотворительных фондов. Это приводит к тому, что около трети детей, имеющих редкие заболевания, не доживают до 5 лет.

Многие такие заболевания являются наследственными, при этом многие из них, как впрочем, и «обычные» заболевания, могут проявляться не сразу. В последнее время бурное развитие бионанотехнологии позволяет достаточно успешно выявлять, сдерживать и даже излечивать такие заболевания (одним из наиболее ранних и успешных примеров является фенилкетонурия). Ниже мы предлагаем вам проверить свои знания об одном из таких заболеваний – синдроме Рефсума.

1. Что такое синдром Рефсума? **(2 балла)**
2. Какая диета будет способствовать усилению проявления синдрома Рефсума – вегетарианская, углеводная, диета с большим содержанием молочных продуктов или диета с большим количеством мяса? (Обоснуйте свой ответ, в противном случае баллы не будут засчитаны) **(5 баллов)**
3. Почему при этом заболевании поражается нервная система? **(2 балла)**
4. Почему в малых сообществах наблюдается повышенное количество людей с этим синдромом? **(2 балла)**
5. Поможет ли прием антиоксидантов при развитии этого синдрома (обоснуйте свой ответ) **(2 балла)**
6. Какие варианты лечения вы бы предложили? **(2 балла)**

Всего – 15 баллов

1. Синдром Рефсума – редкое наследственное заболевание, характеризующееся накоплением фитановой кислоты в плазме и тканях из-за отсутствия специализированного фермента.
2. Наиболее опасной диетой для людей, страдающих синдромом Рефсума, будет вегетарианская, так как в растениях содержится хлорофилл, конечным продуктом распада которого в организме является фитановая кислота; молочная диета менее опасна, тем не менее следует избегать продуктов с высоким содержанием животных жиров, которые являются источником фитола, метаболитом которого является фитановая кислота. Мясная и углеводная диеты (в отсутствие большого количества животных жиров) будут наиболее безопасны для людей с этим синдромом, так как углеводы и белки не являются источником фитановой кислоты.
3. Фитановая кислота накапливается в миелиновых (липидных) оболочках нервных волокон и замещает другие жирные кислоты, в том числе такие, как незаменимые линолевые и арахидоновые кислоты, это приводит к активации перекисного окисления липидов, разрушению миелиновой оболочки и, в конечном счете, к дегенерации нервного волокна.
4. Данное заболевание – наследственное и передается по аутосомно-рецессивному типу наследования, т.е., для проявления этого заболевания аллель, содержащая нарушения, должна быть унаследована от обоих родителей. В малых сообществах вероятность такого события увеличивается, чем и объясняется высокий процент наследственных заболеваний внутри таких сообществ.
5. В какой-то степени. Антиоксиданты не являются панацеей от всех болезней, но могут быть полезны как часть общеукрепляющей диеты. Кроме того, использование антиоксидантов может помочь подавить некоторые симптомы данного заболевания, а использование жирорастворимых антиоксидантов, способных накапливаться в липопротеинах плазмы или миелине, возможно, замедлят развитие этого синдрома.
6. В настоящее время эффективного способа бороться с этим заболеванием нет. Обычно назначают специализированную диету, проводят плазмафорез (забор, очистка и возвращение крови), кроме того, стараются уменьшить проявление симптомов. Возможно в будущем использование различных вариантов генотерапии, исправляющих этот дефект.



В эту группу выделяют наследственные заболевания, связанные с нарушением в функционировании митохондрий. Это приводит к нарушению энергетических функций в различных органах и тканях. В настоящее время не существует надежного способа лечения митохондриальных заболеваний, однако, развитие бионанотехнологических методов дает надежду пациентам, страдающим этими заболеваниями. Попробуйте ответить на несколько вопросов, связанных с митохондриальными заболеваниями.

1. Дайте точное определение митохондриальных заболеваний. **(2 балла)**
2. Каковы особенности строения митохондриального ДНК? **(2 балла)**
3. Кратко укажите как происходит наследование митохондриальной ДНК у человека, как вы думаете, почему так происходит? **(3 балла)**
4. Как вы думаете, почему митохондриальная ДНК считается менее устойчивой по сравнению с ядерной? **(2 балла)**
5. Почему одна и та же митохондриальная болезнь у разных пациентов может проявляться по-разному? Объясните Ваш ответ? **(5 баллов)**
6. В каких органах и тканях чаще всего проявляются митохондриальные заболевания? **(1 балл)**

Всего – 15 баллов

Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 7. Митохондриальные заболевания

1. Иногда митохондриальные заболевания предлагают разделять на первичные, при которых имеются врожденные дефекты в структуре и функции митохондрий, и вторичные, при которых митохондрии являются главной мишенью в процессе развития таких патологий как механические повреждения ткани, воспаление, гипоксия, аутоиммунные реакции, действие токсинов и т.д. В обоих случаях наблюдается нарушения в работе митохондрий и, как результат, нарушения энергетического обмена. Первичные митохондриальные заболевания – это группа наследственных заболеваний, обусловленных мутациями генов митохондриальной (мтДНК) и ядерной ДНК, кодирующих белки, отвечающих за функционирование митохондрии, что приводит к уменьшению количества «вырабатываемой» митохондриями энергии. Здесь под митохондриальными заболеваниями мы будем подразумевать именно первичные митохондриальные заболевания.
2. Митохондриальная ДНК (мтДНК) – внехромосомная ДНК, находящаяся внутри митохондрий. Митохондрии человека представляют собой кольцевую двуспиральную молекулу, состоящую из менее чем, 20000 пар нуклеотидов, при этом в митохондрии содержится от 2 до 10 идентичных кольцевых молекул ДНК (в среднем около 5). Обычно в соматических клетках находится до 10000 копий молекул мтДНК.
3. мтДНК наследуется только по материнской линии. При этом ооцит (яйцеклетка) содержит гораздо больше митохондрий (около 300000) и, соответственно копий молекул мтДНК, чем сперматозоид. У человека в сперматозоиде присутствует одна большая митохондрия, которая, помимо всего прочего, еще и разрушается после оплодотворения.
4. Известно, что митохондриальная ДНК накапливает мутации более чем в 10 раз быстрее чем ядерная. Это связано с двумя основными причинами:
 - 1) близость дыхательной цепи митохондрий приводит к значительному увеличению активных форм кислорода и других радикалов вблизи молекул мтДНК;
 - 2) мтДНК не связана с белками-гистонами, выполняющими защитную функцию в случае ядерной ДНК и, хотя мтДНК также связана с белками, они не настолько эффективно защищают ДНК, как гистоны.
5. Митохондриальные заболевания могут проявиться в любом возрасте в любом возрасте и могут быть представлены широким спектром симптомов, которые включают развитие функциональных нарушений различных органов и тканей. Это связано со строением и особенностями передачи мтДНК, подверженному мутациям гораздо чаще, чем ядерное ДНК. Митохондриальная ДНК наследуется только от матери; в клетке или даже митохондрии может находиться одновременно как нормальный (дикий) и мутантный мтДНК (т.н. гетероплазмия), при этом в процессе деления клетки нормальная и мутантная мтДНК могут случайным образом распределяться между дочерними клетками (т.н. митотическая сегрегация). Таким образом, в процессе онтогенеза поврежденная мтДНК может оказаться в различных органах и тканях. Кроме того, тяжесть заболевания коррелирует с соотношением

нормальной и мутантной ДНК в соответствующих органах. Для проявления симптомов доля мутантной ДНК в клетках должна превышать пороговый уровень. Процентный уровень мутантной мтДНК может варьировать у индивидов, а также в органах и тканях.

6. Симптомы таких заболеваний наиболее часто проявляются в органах и тканях с высоким потреблением энергии, таких как нервные волокна (центральная и периферическая нервная система), мышцы, глаза, поскольку именно там нарушения в работе митохондрий наиболее заметны.

Студент-биолог Вася нырял с аквалангом ночью в море и увидел интересных полупрозрачных животных, светящихся сине-зеленым светом и переливающихся разными цветами. Поскольку Вася хорошо знал зоологию беспозвоночных, он сразу узнал, к какому типу относятся эти животные.

1. А вы знаете, какие животные изображены на фотографиях? **(1 балл)**



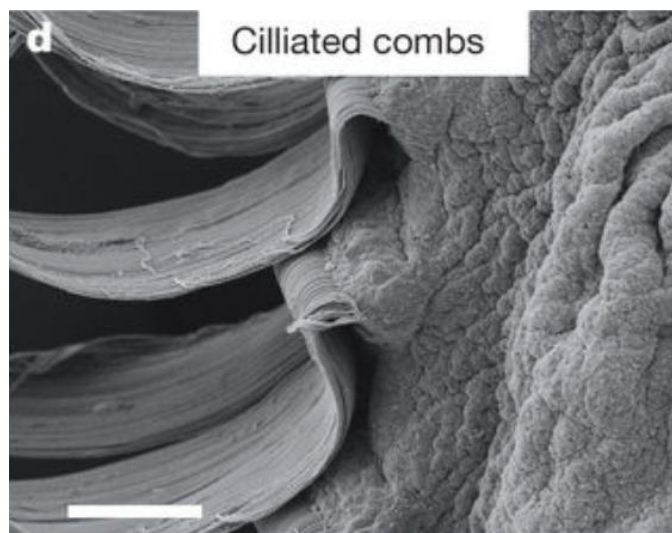
Постоянное свечение сине-зеленого цвета, как заметил Вася, сконцентрировано в 8 радиальных лучах, проходящих вдоль тела. «Ну, почему они светятся, это понятно», – подумал Вася.

2. А вы знаете, почему эти животные, как и многие другие подводные обитатели, светятся? **(2 балла)**
3. А почему свечение, как правило, имеет именно зелено-голубую окраску? **(3 балла)**

Однако поверх этого свечения было видно еще и другое, переливающееся всеми цветами радуги, которое распространялось от одного конца вытянутого тела к другому.

Вася заглянул в интернет и быстро нашел, с чем связано красивое радужное свечение. «Но как же так?» - подумал Вася, увидев полученную в электронный микроскоп фотографию, подписанную «Гребные пластинки, образованные ресничками» и обратив внимание на масштаб (длина белой полосы на фотографии равна 100 мкм). – «Ведь они слишком большие!»

4. С чем связано радужное переливающееся свечение этих животных? **(1 балл)**
5. А почему это свечение переливается и распространяется вдоль тела животного? **(2 балла)**
6. Что удивило Васю и в чем он увидел противоречие? **(2 балла)**



Но потом Вася нашел еще одну статью, и подумал: «Теперь понятно, откуда берутся радужные переливы! Эта структура как раз подходит по размерам».

7. Какую структуру имеет в виду Вася? **(4 балла)**

Потом Вася задумался: будет ли видно радужное свечение, если животных посадить в абсолютно темное пространство. Прodelав не очень гуманный эксперимент и посадив животное в самую большую кювету спектрофлуориметра, какую он только нашел, он подтвердил свои догадки.

8. А вы как думаете – будет ли видно радужное свечение у этих животных в абсолютной темноте? Почему? **(2 балла)**

Пока студент Вася разбирался с радужным свечением, он заодно узнал, что глубоководные виды этих животных, как и многие другие глубоководные животные, имеют яркую красную пигментацию.



«Интересно! – подумал Вася. – Ведь в глубокие слои воды проникает очень мало света. Зачем нужна в темноте яркая окраска?» Но тут он вспомнил, что сами по себе многие морские животные светятся сине-зеленым светом, как он уже узнал раньше, и ему стало все понятно.

9. Почему глубоководные животные бывают окрашены в ярко-красный цвет? **(2 балла)**

Всего – 19 баллов

Пожалуйста, при ответе ставьте номер вопроса, на который вы отвечаете. Ответы без указания вопроса засчитаны не будут.

1. На фотографиях представители типа Гребневики.
2. В специальных клетках — фотоцитах — содержатся флуоресцентные белки, которые светятся в результате хемилюминесценции.
3. Зелено-голубое свечение соответствует максимуму проницаемости воды (минимуму поглощения), такой свет лучше всего распространяется в воде, организмы эволюционировали таким образом, чтобы хемилюминесценция приходилась именно на эту спектральную область.
4. На гребных пластинках происходит дифракция света.
5. Пластинки движутся (и за счет этого гребневики перемещаются), поэтому угол наклона пластинок относительно наблюдателя меняется. Движение пластинок распространяется от переднего конца тела к заднему.
6. Сами гребные пластинки имеют достаточно большие размеры, чтобы быть дифракционной решеткой.
7. Но поскольку пластики образованы слипшимися ресничками, которые образуют массив, период которого составляет примерно 200 нм (от центра одной реснички до центра другой), то эта периодичность как раз приблизительно равна длине волны, и такие массивы могут служить дифракционной решеткой.
8. В темноте радужного свечения быть не должно, т. к. это отраженный белый свет, разложенный в спектр.
9. На большую глубину не проникает солнечный свет, однако там есть люминесцирующие организмы, которые светятся, как правило, сине-зеленым. Этот свет не отражается красными поверхностями, и поэтому красные животные в этом свете не видны, это выгодно для хищников.

Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 9. Вот это поворот!



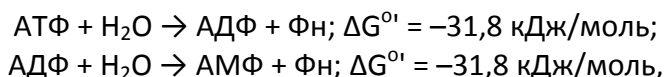
Афанасий Тимофеевич Филимонов прибывает на станцию Энергетическая с двумя чемоданами. Он становится возле дверей, а мимо него пробегают Парамон, а потом снова и снова. И тут – вот это поворот! – у Афанасия Тимофеевича уже три чемодана!

1. Расскажите, кто такие Афанасий Тимофеевич и Парамон, что представляют собой чемоданы и станция, а также какой поворот имеется в виду. **(1 балл)**
2. Сколько Парамонов должно пробежать мимо Афанасия Тимофеевича, чтобы он получил третий чемодан? **(2 балла)**
3. Сколько господин Филимонов может выручить, продав третий чемодан? За сколько может продать второй, когда у него осталось только 2 чемодана? Сколько он может получить, продавая последний чемодан? **(1 балл)**
4. Как мы видели, третий чемодан Афанасий Тимофеевич получает в дверях станции Энергетическая. А где еще ему могут выдать третий чемодан? **(1 балл)**
5. Как Афанасий Тимофеевич может получить второй чемодан, когда у него есть только один? **(2 балла)**

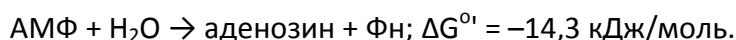
Пожалуйста, при ответе ставьте номер вопроса, на который вы отвечаете.

Всего – 7 баллов

1. А.Т. Филимонов — молекула АТФ, Парамон — протон, проходящий через канал АТФ-синтазы, чемоданы — остатки фосфорной кислоты, станция Энергетическая — митохондрия (потому что энергетическая станция). Поворот — поворот гамма-субъединицы F1-комплекса АТФ-синтазы.
2. Для синтеза молекулы АТФ из АДФ должен произойти полный поворот гамма-субъединицы и пройти 3 протона через канал (по некоторым данным — 4). При полном обороте γ-субъединицы синтезируются три молекулы АТФ т. к. на F1 имеются 3 сайта связывания АДФ. При этом у разных организмов из межмембранного пространства в матрикс проходит от 10 до 14 протонов — по числу с-субъединиц F0.
3. Молекула АТФ содержит две макроэргические фосфатные связи, при гидролизе которых высвобождается значительное количество свободной энергии:

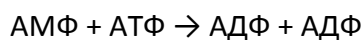


Отщепление последней фосфатной группы от молекулы АМФ приводит к значительно меньшему высвобождению свободной энергии:



Последний чемодан получается в два раза дешевле.

4. В результате субстратного фосфорилирования, например в ходе гликолиза. Фотофосфорилирование — градиент протонов создается за счет процесса фотосинтеза.
5. В результате аденилаткиназной реакции:



Реакция обратимая, как правило идет в обратную сторону в мышцах при утомлении (расходе большого количества АТФ и накоплении АДФ).



Картинки иллюстрируют избирательную проницаемость мембран.

Живые клетки у растений и животных разделены мембранами на отдельные пространства – компартменты, так же, как дом разгорожен стенами на комнаты. И, конечно, вся клетка отделена надежной стеной – мембраной – от окружающей среды. Однако известно, что различные вещества могут проникать внутрь клетки или выходить наружу, а также перемещаться между компартментами. Как же транспортируемые вещества преодолевают такое серьезное препятствие, как мембрана?

Выберите все правильные ответы (их может быть больше одного), при необходимости ответ поясните (**по 1 баллу за каждый правильный ответ, за частично правильный – по 0.3 балла**)

1. К клеточным компартментам можно отнести:

- а. Ядро
- б. Эндоплазматический ретикулум
- в. Клеточный центр
- г. Микротрубочки
- д. Митохондрии

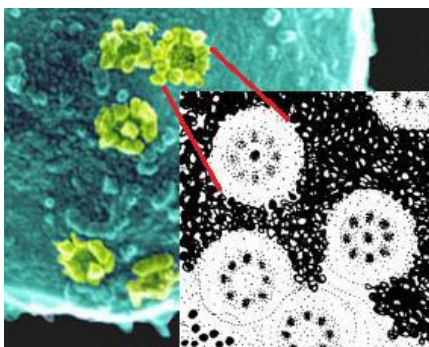
Поясните, почему Вы считаете, что выбранные Вами структуры являются компартментами клетки.

2. Через плазматическую мембрану напрямую (через липидный бислой), без специальных структур, предназначенных для транспортировки молекул могут проходить:

- а. Белки
- б. Антитела
- в. Кислород
- г. Гидрофильные (водорастворимые) соединения (например, глюкоза)
- д. Липофильные (жирорастворимые) соединения
- е. Никакие соединения через липидный бислой проходить не могут

Поясните, почему Вы считаете, что выбранные Вами вещества могут проникать через мембрану.

3. Какие приспособления в живой клетке существуют для того, чтобы обеспечить перенос веществ с одной стороны мембраны на другую?
 - а. Каналы (отверстия в мембране), образованные микротрубочками
 - б. Каналы (отверстия в мембране), образованные специальными белками
 - в. Отверстия в мембране размером более 500 нм
 - г. Белки-переносчики, присоединяющие вещество с одной стороны мембраны и перемещающие его на другую сторону в результате изменения своей формы (конформационной перестройки)
 - д. Поровые комплексы, образованные несколькими белками, пронизывающими мембрану
4. С помощью специальных приспособлений (всех, отмеченных Вами в п.3) возможен перенос с одной стороны мембраны на другую:
 - а. Только молекул воды
 - б. Только ионов
 - в. Ионов и низкомолекулярных соединений (молекул малых размеров)
 - г. Только высокомолекулярных соединений — белков и нуклеиновых кислот
 - д. Всех перечисленных выше веществ
 - е. Никаких из перечисленных выше веществ
5. В процессе экзоцитоза:
 - а. Клеточная мембрана выпячивается и отпочковывается наружу, образуя пузырек, содержащий транспортируемое вещество (например, нейромедиатор)
 - б. Пузырек подходит к мембране с внутренней стороны, сливается с ней и выбрасывает наружу транспортируемое вещество
 - в. Клеточная мембрана выпячивается вовнутрь и отпочковывается пузырек, содержащий вещество, который затем переносится к другим органеллам клетки
 - г. Клетка выворачивается наизнанку
 - д. Из клетки выбрасывается ядро и другие органеллы
6. Представленные на рисунке поры обеспечивают перенос:



- а. Глюкозы из внеклеточного пространства внутрь клетки
- б. Холестерина из аппарата Гольджи к клеточной мембране
- в. Иона водорода через мембрану митохондрий
- г. Молекул РНК через ядерную мембрану в цитоплазму
- д. Рибосом через ядерную мембрану внутрь ядра
- е. Ионов между двумя соседними клетками

Всего – 6 баллов



Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 10. Вижу цель, не замечаю препятствий

1. а, б, д
2. в, д
3. б, г, д
4. д
5. б
6. г



Математика для школьников

Математика

Категория участников: школьники 7-11 классов

Блок теоретических заданий по **математике для школьников 7-11 классов** включает задачи разной сложности. Для повышения вероятности прохождения на очный тур Вам желательно решить задачи не только по математике, но и по физике, биологии, химии, чтобы набрать больше баллов. Все прошедшие на очный тур обязательно решают задачи по всем четырём предметам.

Задания

1. G-квадруплексы

Единичные нити ДНК* с определенным расположением гуанина **G** способны самопроизвольно сворачиваться в четырёхцепочечные спирали – обладающие повышенной устойчивостью G-квадруплексы, которые участвуют во многих жизненно важных процессах...

2. Тетраэдры и пирамиды

Два школьника получили одинаковые наборы шариков и задание: сложить из них модели тетраэдрических и пирамидальных нанокластеров так, чтобы ни одного лишнего шарика не осталось. Оба школьника с заданием справились...

3. Рост дендримера

Рост дендримера – макромолекулы с симметричной древообразной структурой с регулярными ветвлениями – происходит поэтапно, поколение за поколением. Число мономерных звеньев, присоединившихся к звену предыдущего поколения, называют коэффициентом ветвления **k**...

4. Пористый материал

Из некоторого вещества с истинной плотностью $\rho = 3 \text{ г/см}^3$ получили пористый материал

М с удельной площадью поверхности пор $S_{уд} = 500 \text{ м}^2/\text{г}$. Известно, что все поры материала **М** имеют форму цилиндров радиуса **r**, оси этих цилиндров параллельны...

5. Полые металлические кластеры

Поверхность полого высоко симметричного металлического кластера (ПМК) $M_{N(n,m)}$ можно представить в виде «выкройки» из плотноупакованного листа атомов металла **М**. Такая «выкройка» состоит из 20 одинаковых равносторонних треугольников...

6. ДНК для хранения информации: от теории к практике

Молекулы ДНК обладают одной из самых больших плотностей хранения информации. Недавно группа ученых предложила способ кодирования информации с использованием адресной записи в короткие последовательности нуклеотидов...

7. Золотые октаэдры

Атомы золота могут образовывать кластеры в форме: а) октаэдра **О** с ребром **n** атомов; б) правильного усеченного октаэдра **ТО** с ребром **m** атомов и общим числом атомов. Сколько атомов золота приходится на каждую грань октаэдрического кластера с ребром в **n** атомов?..

8. Наноторы из нанотрубок: от больших к самому маленькому

Если вырезанную из листа графена фигуру свернуть и затем склеить по горизонтальному «шву» как показано на рис., то мы получим углеродную нанотрубку. Сгибая эту трубку и склеивая ее торцы, мы получаем углеродный нанотор...

9. Фуллерены

Молекулы фуллеренов представляют собой выпуклые многогранники, составленные из атомов углерода* и имеющие только пяти- и шестиугольные грани. Воспользовавшись теоремой Эйлера для выпуклых многогранников...

10. Изомерия икосаэдрических фуллеренов

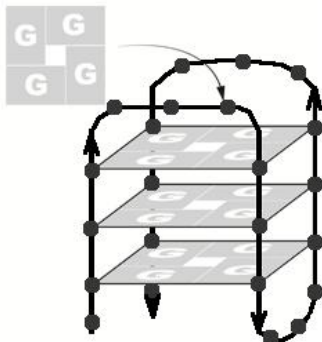
Любой икосаэдрический фуллерен можно представить в виде «выкройки» на графеновой плоскости. Общее число атомов при этом определяется по формуле. Изомерными называются молекулы икосаэдрических фуллеренов, имеющие одинаковое число атомов **N**...



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 1. G-квадруплексы

Единичные нити ДНК* с определенным расположением гуанина **G** способны самопроизвольно сворачиваться в четырёхцепочечные спирали – обладающие повышенной устойчивостью G-квадруплексы, которые участвуют во многих жизненно важных процессах и широко представлены во всех известных геномах. При этом четыре нуклеотида **G** из разных цепей образуют плоскую структуру, называемую G-квartetом (см. рис.).



1. Найдите вероятность того, что случайная последовательность ДНК фиксированной длины является G-квадруплексом с взаимным расположением G-квartetов и петель как на рисунке. Считать, что:
 - первый и последний символы в G-квадруплексе не являются гуанином;
 - все три петли G-квадруплекса а) могут содержать **G (2 балла)** и б) не содержат **G. (2 балла)**
2. Для случая (б) рассчитайте долю **G** в общем числе нуклеотидов нити ДНК, отвечающей G-квадруплексу. **(1 балл)** Во сколько раз она отличается от доли нуклеотидов **G** для случайной последовательности ДНК? **(1 балл)**

* Наследственную информацию в ДНК-последовательности можно рассматривать как строку текста, записанную четырьмя буквами – **A, G, T, C**, которые отвечают четырем нуклеотидам.

Всего – 6 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 1. G-квадруплексы

1. Рассчитаем общее число нуклеотидов в последовательности:

$$1 + 3 \cdot 4 \text{ (G-области)} + 3 \cdot 3 \text{ (петли)} + 1 = 23.$$

Такая нить ДНК может иметь 4^{23} варианта записи при помощи четырех букв нуклеотидов.

- а) Число возможных вариантов G-квадруплексов выбранной структуры равно произведению вариантов каждого из его фрагментов:

$$3 \cdot 1 \cdot 4^3 \cdot 1 \cdot 4^3 \cdot 1 \cdot 4^3 \cdot 1 \cdot 3 = 9 \cdot 4^9.$$

По множителям:

начало·G-область·петля·G-область·петля·G-область·петля·G-область·конец.

Тогда вероятность

$$P_a = (9 \cdot 4^9) / 4^{23} = 9 / 4^{14} = 3,35 \cdot 10^{-8}.$$

- б) Число возможных вариантов G-квадруплексов:

$$3 \cdot 1 \cdot 3^3 \cdot 1 \cdot 3^3 \cdot 1 \cdot 3^3 \cdot 1 \cdot 3 = 3^{11}.$$

Тогда вероятность

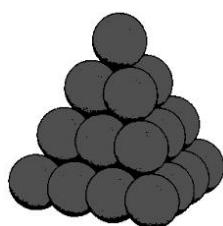
$$P_a = 3^{11} / 4^{23} = 2,52 \cdot 10^{-9}.$$

2. Доля **G** в нити ДНК, отвечающей G-квадруплексу, составляет $\varphi_G = 12/23 \approx 0,52$. В свою очередь, доля **G** в случайной последовательности равна $\phi = 0,25$ (все четыре «буквы» в этом случае равновероятны). То есть, $\varphi_G / \phi = 0,52 / 0,25 = 2,08$.

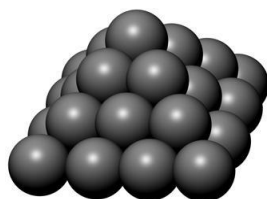


Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 2. Тетраэдры и пирамиды



а



б

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

$$P_n = (2n^3 + 3n^2 + n)/6$$

в

Рис. Примеры моделей а) тетраэдрического Td_4 и б) пирамидального P_4 нанокластеров с длиной ребра $n = 4$ атома. в) Зависимости общего числа атомов в нанокластерах от длин их ребер.

Два школьника получили одинаковые наборы шариков и задание: сложить из них модели тетраэдрических и пирамидальных нанокластеров так, чтобы ни одного лишнего шарика не осталось.

Оба школьника с заданием справились. Первый построил пять моделей нанокластеров: тетраэдрическую Td_7 и пирамидальные – P_x , две P_{2x} и P_{4x} . Второй школьник сложил восемь моделей тетраэдрических нанокластеров: пять Td_x , одну Td_{x+7} и две Td_{4x} .

Сколько шариков было в наборе?

Всего – 5 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 2. Тетраэдры и пирамиды

Запишем уравнение:

$$Td_7 + P_x + 2P_{2x} + P_{4x} = 5Td_x + Td_{x+7} + 2Td_{4x}$$

$$\begin{aligned} & (7^3 + 3 \cdot 7^2 + 2 \cdot 7)/6 + (2x^3 + 3x^2 + x)/6 + 2(2(2x)^3 + 3(2x)^2 + 2x)/6 + (2(4x)^3 + 3(4x)^2 + 4x)/6 = \\ & = 5(x^3 + 3x^2 + 2x)/6 + ((x+7)^3 + 3(x+7)^2 + 2(x+7))/6 + 2((4x)^3 + 3(4x)^2 + 2(4x))/6 \\ & 504 + 2x^3 + 3x^2 + x + 2(2(2x)^3 + 3(2x)^2 + 2x) + 2(4x)^3 + 3(4x)^2 + 4x = \\ & = 5(x^3 + 3x^2 + 2x) + (x+7)^3 + 3(x+7)^2 + 2(x+7) + 2((4x)^3 + 3(4x)^2 + 2(4x)) \\ & 34x^3 + 72x^2 + 9x + 504 = 6x^3 + 132x^2 + 217x + 504 \\ & 28x^3 - 60x^2 - 208x = 0 \\ & 7x^3 - 15x^2 - 52x = 0 \\ & x(7x^2 - 15x - 52) = 0, \sqrt{D} = \sqrt{15^2 + 4 \cdot 7 \cdot 52} = 41, x = \frac{15 + 41}{14} = 4 \end{aligned}$$

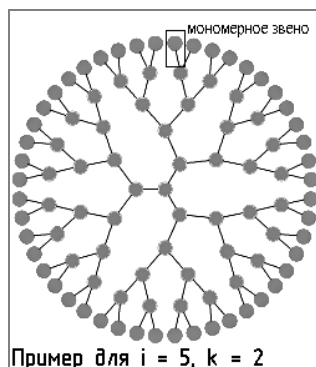
Всего в наборе $Td_7 + P_4 + 2P_8 + P_{16} = 84 + 30 + 2 \cdot 204 + 1496 = \mathbf{2018}$ шариков.



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 3. Рост дендримера

Рост дендримера – макромолекулы с симметричной древообразной структурой с регулярными ветвлениями – происходит поэтапно, поколение за поколением. Число мономерных звеньев, присоединившихся к звену предыдущего поколения, называют коэффициентом ветвления k .



1. Найдите максимальный размер молекулы дендримера (радиус R , число поколений i'), схема ветвления которого все еще отвечает представленной на рисунке. **(3 балла)**
2. По какой причине дальнейший рост молекулы приведет к изменению величины k ? **(1,5 балла)** Рассчитайте k для поколения $i' + 1$. **(1 балл)**
3. Выведите и постройте в виде графика общий вид зависимости $k(i)$. **(2 балла)** Какова величина k для бесконечно больших молекул дендримера? **(1,5 балла)**

Примите, что:

- в любом поколении молекула дендримера имеет форму сферы;
- радиус дендримера с каждым поколением увеличивается на $l = 1$ нм;
- радиус области, занимаемой одним мономерным звеном на поверхности молекулы, равен $r = 0,25$ нм.

Всего – 9 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 3. Рост дендримера

1. Число мономерных звеньев в поколении i при условии постоянного значения величины коэффициента ветвления $k = 2$ равно $N_i = 3 \cdot 2^{i-1}$ (так как в первом поколении число мономерных звеньев равно трем).

Общая площадь поверхности молекулы i -го поколения составляет $S = 4\pi R_i^2 = 4\pi (il)^2$.

При этом одно мономерное звено занимает площадь $S_1 = \pi r^2 / \varphi = \pi r^2 / (\pi/4) = 4r^2$, где φ – доля площади, занимаемая кругом при плотном заполнении плоскости.

Таким образом, максимальное число мономерных звеньев в i -м поколении составляет

$$N'_i = \frac{4\pi (il)^2}{4r^2} = \frac{\pi (il)^2}{r^2}.$$

Максимальным поколением с $k = 2$ будет поколение, для которого еще выполняется условие

$$\frac{N'_i}{N_i} = \frac{\pi (il)^2 / r^2}{3 \cdot 2^{i-1}} \geq 1.$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
16,74	33,49	37,68	33,49	26,17	18,84	12,82	8,37	5,30	3,27	1,98	1,18	0,69

Тогда $R_{i=12} = 12 \cdot 1 = 12$ нм.

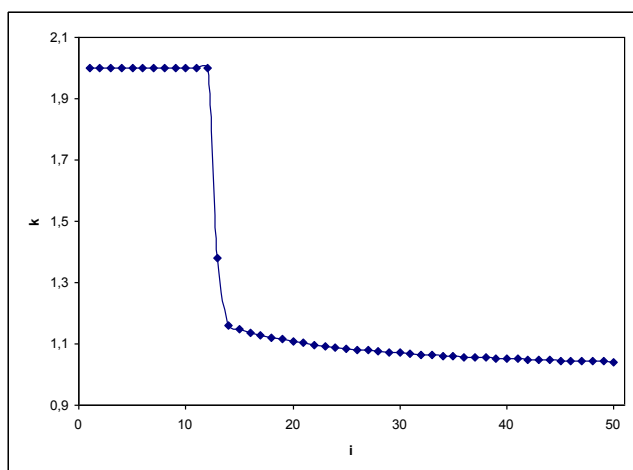
2. Для поколений с $i > i'$ максимальное число мономерных звеньев, которое может быть размещено в слое, будет меньше, чем отвечающее условию $k = 2$. То есть, произойдет снижение величины коэффициента ветвления:

$$k_{13} = \frac{N'_{13}}{N_{12}} = \frac{8490}{6144} = 1,38.$$

3. Для $i \geq 14$ величина коэффициента ветвления составляет

$$k_i = \left(1 + \frac{1}{i-1}\right)^2.$$

Построим график зависимости $k(i)$ на основании всех данных, полученных ранее:

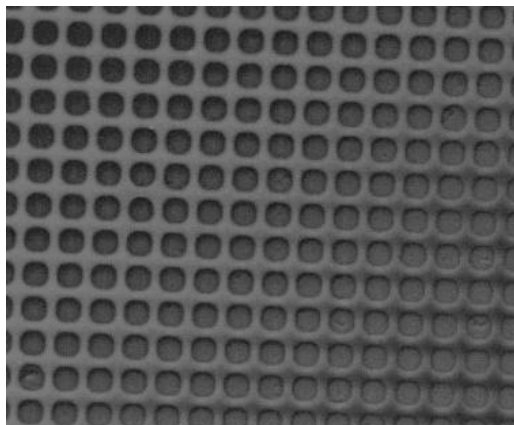


Для бесконечно большой молекулы дендримера значение коэффициента ветвления будет стремиться к $\lim_{i \rightarrow \infty} k_i = 1$, то есть прирост ветвей будет происходить линейно, без разветвлений.



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 4. Пористый материал



Из некоторого вещества с истинной¹ плотностью $\rho = 3 \text{ г/см}^3$ получили пористый материал **М** с удельной² площадью поверхности пор $S_{\text{уд}} = 500 \text{ м}^2/\text{г}$. Известно, что все поры материала **М** имеют форму цилиндров радиуса r , оси этих цилиндров параллельны и расположены друг относительно друга в вершинах квадрата со стороной $2,1r$.

Рассчитайте r (в нм), общую удельную² длину пор $l_{\text{п(уд)}}$ (в м/г), кажущуюся³ (ρ') плотность (в г/см^3) и величину пористости⁴ γ материала **М**.

Подсказка: для удобства расчетов можно считать образец материала **М** кубом со стороной a .

¹ Истинная плотность – это масса единичного объема сплошного материала без пор.

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

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

⁴ Пористость – это величина, равная отношению суммарного объема пор к общему объему пористого материала.

Всего – 10 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 4. Пористый материал

По определению, пористость равна

$$\gamma = \frac{V_n}{V_{me} + V_n} = \frac{(V_{me} + V_n) - V_{me}}{m/\rho'} = \frac{m/\rho' - m/\rho}{m/\rho'} = \frac{m(\rho - \rho')/(\rho\rho')}{m/\rho'} = \frac{\rho - \rho'}{\rho} = 1 - \frac{\rho'}{\rho},$$

где V_{me} – объем твердого вещества, $V_n = \pi d_n^2 r^2$ – суммарный объем пор, $V_{me} + V_n = a^3$ – общий объем материала (как куб со стороной a).

То есть суммарный объем пор равен $V_n = \gamma(V_{me} + V_n) = \gamma m/\rho' = \gamma a^3$.

Общая длина пор в кубе со стороной a равна $l_n = N \cdot a$, где N – общее число пор в кубе со стороной a .

В то же время, $N = \frac{a^2}{2,1^2 r^2}$ (отношение площади грани куба к площади, приходящейся на одну пору), то есть $l_n = \frac{a^3}{2,1^2 r^2}$.

Значит, $V_n = \pi d_n^2 r^2 = \pi r^2 \frac{a^3}{2,1^2 r^2} = \pi \frac{a^3}{2,1^2}$, в то же время, $V_n = \gamma a^3$.

Выражая, получаем $\gamma = \frac{\pi}{2,1^2} = 0,71$.

Кажущаяся плотность равна $\rho' = \rho(1 - \gamma) = 3(1 - 0,71) = 0,86 \text{ г/см}^3$.

Так как общая длина пор $l_n = \frac{a^3}{2,1^2 r^2}$, то общая удельная длина пор равна

$l_{n(y\phi)} = \frac{l_n}{m} = \frac{a^3}{2,1^2 r^2 m} = \frac{1}{2,1^2 r^2 \rho'}$. В то же время, удельная площадь поверхности всех цилиндрических пор составляет: $S_{n(y\phi)} = 2\pi l_{n(y\phi)} r$.

Тогда

$$l_{n(y\phi)} = \frac{S_{n(y\phi)}}{2\pi r} = \frac{1}{2,1^2 r^2 \rho'} \text{ и } r = \frac{2\pi}{2,1^2 S_{n(y\phi)} \rho'} = \frac{2\pi}{2,1^2 \cdot 500 \cdot 0,86 \cdot 10^6} = 3,31 \cdot 10^{-9} \text{ м} = \underline{3,31} \text{ нм.}$$

$$l_{n(y\phi)} = \frac{S_{n(y\phi)}}{2\pi r} = \frac{500}{2\pi \cdot 3,31 \cdot 10^{-9}} = \underline{2,41 \cdot 10^{10}} \text{ м/г.}$$

ИЛИ

$$l_{n(y\phi)} = \frac{1}{2,1^2 r^2 \rho'} = \frac{1}{2,1^2 \cdot (3,31 \cdot 10^{-9})^2 \cdot 0,86 \cdot 10^6} = \underline{2,42 \cdot 10^{10}} \text{ м/г.}$$

Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 5. Полые металлические кластеры

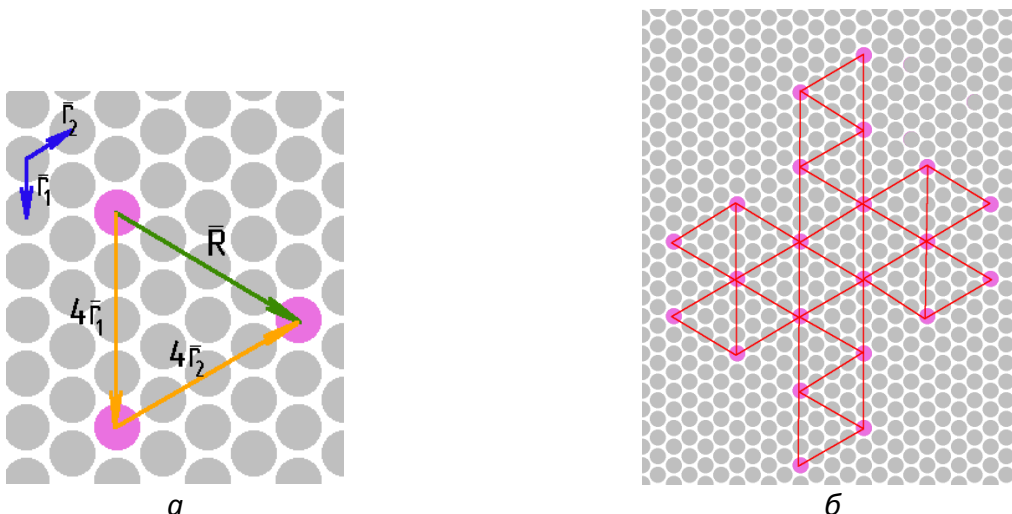


Рис. 1. Пример для $(n, m) = (4, 4)$: а) Единичные векторы r_1 и r_2 , результирующий вектор $\vec{R} = 4\vec{r}_1 + 4\vec{r}_2$. б) Развертка, задаваемая вектором $\vec{R}$: если вырезать по периметру фигуру развертки и, сгибая по красным линиям, склеить в замкнутую оболочку, то получится ПМК $M_{N(4,4)}$ (при этом, в местах склейки вершин атом металла вместо шести-координированного становится пяти-координированным).

Поверхность полого высоко симметричного металлического кластера (ПМК) $M_{N(n,m)}$ можно представить в виде «выкройки» из плотноупакованного листа атомов металла М. Такая «выкройка» состоит из 20 одинаковых равносторонних треугольников (рис. 1). Чтобы однозначно ее выбрать, достаточно задать относительное расположение центров двух будущих пяти-координированных атомов М на листе, которое определяется вектором $\vec{R} = n\vec{r}_1 + m\vec{r}_2$ (суммой единичных векторов с коэффициентами n и m).

1. Сколько атомов металла содержит кластер $M_{N(4,4)}$? Ответ подтвердите расчетом. **(1 балл)**
2. Форму и симметрию какого многогранника имеют кластеры $M_{N(n,m)}$? **(0,5 балла)**
3. Оцените* размер ПМК $M_{N(4,4)}$ из атомов золота радиусом 0,144 нм. **(2 балла)**
4. Сколько атомов металла $N(n,n)$ будет в ПМК $M_{N(n,n)}$ при произвольном значении n ? **(1,5 балла)** Выведите формулу количества атомов $N(n,m)$ для произвольных значений (n,m) . **(3 балла)** Сколько пяти- и шести-координированных атомов (то есть, имеющих пять и шесть соседей, соответственно) содержит такой ПМК? **(0,5 балла)**
5. Каким образом надо расположить атомы углерода относительно атомов М в ПМК, чтобы они «сложились» в фуллерен**? **(0,5 балла)** Как относительно атомов М в исходном ПМК располагаются вершины, ребра и грани такого фуллеренового многогранника? **(0,5 балла)** Найдите все значения (n,m) для ПМК, которым отвечают самый маленький фуллерен C_{20} и бакибол C_{60} . **(2,5 балла)**

* Можно воспользоваться справочными формулами.

** Фуллерен - каркасная молекула из атомов углерода, каждый из которых связан ровно с тремя соседними, а сами эти связи формируют исключительно пяти- и шестиугольные грани.

Всего – 12 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 5. Полые металлические кластеры

1. $N(4,4) = 162$

1 способ: $20 \cdot 15$ (грани) - $30 \cdot 5$ (ребра) + 12 (вершины).

2 способ: как отношение общей площади к площади, приходящейся на один атом М.

2. Икосаэдр

3. Радиус описанной вокруг икосаэдра сферы $R_{ico} = \frac{\sqrt{2(5+\sqrt{5})}}{4} a_{ico}$, где длина ребра икосаэдра $a_{ico} = 8r_{Au}$, тогда радиус сферы, описанный вокруг золотого ПМК $R = R_{ico} + r_{Au} = 2\sqrt{2(5+\sqrt{5})}r_{Au} + r_{Au}$ (так как радиус-вектор соединяет центры атомов золота).

$R = 1,24$ нм, размер 2,48 нм.

4.

1) $N(n, n) = 10n^2 + 2$ – как n -я оболочка икосаэдрического кластера.

2) Число атомов в ПМК с произвольными (n, m) находим как число атомов М, приходящихся на площадь поверхности соответствующего икосаэдра, с учетом поправки для атомов вершин (в сумму площадей они входят как $20 \cdot (1/6) \cdot 3 = 10$ вместо 12).

$$N(n, m) = \frac{S_{ico}}{S_M} + 2 = \frac{20S_{\Delta}}{S_M} + 2 = 10(n^2 - nm + m^2) + 2$$

Здесь $S_{ico} = 20S_{\Delta}$ – площадь икосаэдра, $S_{\Delta} = \frac{\sqrt{3}}{2} |\vec{R}|^2$ – площадь треугольной грани

икосаэдра, $S_M = \frac{\sqrt{3}}{2} |\vec{r}|^2$ – площадь, приходящаяся на один шести-координированный атом металла, $|\vec{r}| = |\vec{r}_1| = |\vec{r}_2|$ – длина единичного радиус-вектора.

Выражение для нахождения длины вектора $\vec{R} = n\vec{r}_1 + m\vec{r}_2$:

$$|\vec{R}|^2 = |n\vec{r}_1|^2 + |m\vec{r}_2|^2 - 2|n\vec{r}_1| \cdot |m\vec{r}_2| \cos(60^\circ) = n^2|\vec{r}|^2 + m^2|\vec{r}|^2 - 2|\vec{r}|^2 nm \cdot (0,5) = (n^2 - nm + m^2)|\vec{r}|^2$$

3) Число пяти- координированных атомов постоянно и равно 12, число шести-координированных составляет $10(n^2 - nm + m^2) - 10$.

5.

1) Надо между тремя касающимися друг друга атомами М расположить по атому углерода, тогда:

- шести- координированные атомы М будут в центрах шестиугольных граней фуллеренового многогранника, пяти- координированные – пятиугольных;
- ребра фуллерена будут перпендикулярны «ребрам» (линии контакта атом металла – атом металла) в ПМК М.

- 2) C₂₀: 12 пятиугольных граней => 12 пяти-координированных атомов в ПМК => два способа выбрать пару индексов ПМК – (1,1) и (1,0) ($n^2 - nm + m^2 = 1$).

C₆₀: 20 шестиугольных и 12 пятиугольных граней => 32 атомов в ПМК => $10(n^2 - nm + m^2) + 2 = 32$, $n^2 - nm + m^2 = 3$ => (2,1): $4 - 2 + 1 = 3$.

Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 6. ДНК для хранения информации: от теории к практике

Молекулы ДНК обладают одной из самых больших плотностей хранения информации. Недавно группа ученых предложила способ кодирования информации с использованием адресной записи в короткие последовательности нуклеотидов. Например, ученые смогли закодировать в ДНК, а затем успешно прочесть разнообразные файлы с данными, включая 3 изображения (рис. 1) и даже операционную систему. Такой способ позволяет быстро находить и считывать только нужные фрагменты данных, не требуя технически сложно реализуемых чтения и записи длинных молекул ДНК.

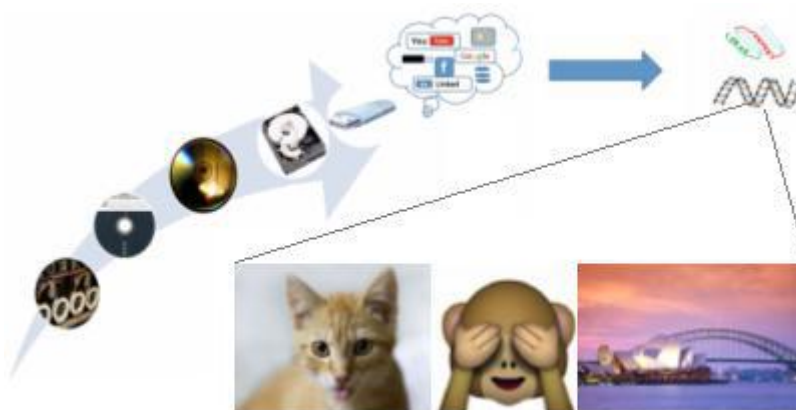


Рис. 1

Рассмотрим пример использования такого способа кодирования информации (рис. 2). Файл, состоящий из логических нулей и единиц, кодируется последовательностью нуклеотидов, записанной 4 буквами (A, C, G, T), которая содержит такое же количество информации. Эта последовательность затем разбивается на строки, содержащие не более 192 нуклеотидов (блок II, рис. 2). Порядковый номер строк (начиная с 0) называется адресом и кодируется в последовательности из 8 нуклеотидов (блок I, рис. 2), для этого он записывается в двоичном виде и кодируется тем же кодом, что и остальные данные.

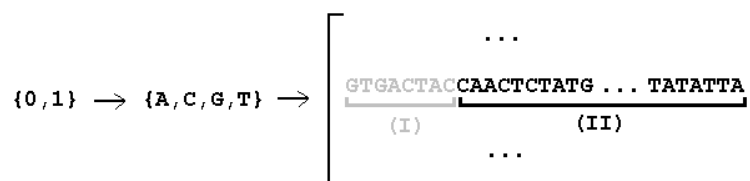


Рис. 2

1. Найдите, какой максимальный объем файла (в мегабайтах) можно закодировать таким способом. **(2 балла)**

Далее приведены все прочтенные ДНК-цепочки (расположенные в случайном порядке), отвечающие некоторому файлу-изображению.

2. Сколько строк и символов нуклеотидов содержит такая запись файла, **(1 балл)** рассчитайте размер (в байтах) исходного файла изображения. **(1 балл)**

3. Сколько возможных вариантов нуклеотидного кода существует для такой записи файла? **(1 балл)** Установите, каким вариантом кода было закодировано изображение. **(3,5 балла)**
4. Напишите программу*, с помощью которой можно будет раскодировать эту ДНК-запись изображения, и опишите вкратце алгоритм ее работы. Что изображено на закодированной картинке? **(8,5 баллов)**

* Программу можно написать на любом языке программирования, но обязательно приведите ее исходный код и полученный файл **image.png**.

Учтите, что в файл изображения **image.png** по мере раскодирования необходимо записывать не *текстовые символы* «0» «1», а *двоичные коды*: «0» «1» (при этом размер файла должен соответствовать рассчитанному в п.2). Если нет ответа на вопрос 3, то при раскодировании файла переберите все возможные варианты кодировок: только верный вариант кода позволит открыть и увидеть картинку.

Приведенные ниже последовательности можно скачать в виде текстового файла **image.txt** (архив: <http://enanos.nanometer.ru/uploads/archive/image.zip>).

GGGGGGTGCTGTGAGCGCGCGGACCGGCCGAGTATCCCCTATTCTAAATAAGAACTCTTTTGTACCATTATACTAACT
GAATATTCCCGCGAGGGCGTTTCGTACCTTCGAAGGATCACTCATTATCCGGATTTAAGCAAGACGTGAACAGTTCTG
TCAGACGTCTCTCGACCTGTCACTCTCTTCTTGGCGGTGGA

GGGGGGATCGGCGGCTTCACTACTCTACAACCAACAACGGACGGCTACCAAGGGTGTAGAGCGATAGAGGCAACAACCC
CTAGACCTAGCCACGCAACAACCTGACCTTGACAGGCCCGCGCGGTAGAAGGCTTTATAATTCGAGCTTGCTTAGTAGAC
TGGTAGATTAGCGCAGTACGGGGCCGCAATAAGTTCCGGTA

GGGGGCGTGGGGGGGGGGGGGGGGGGCGTCCGCCGATCGCGTTATCGGTCTGGTGGT

GGGGGGGAATCGTAAAGACGGTGCCTCATCACAACCTTCCAGAAGAGTCGCCGAGCTCGGCTTCAGTCGGAGTTTAG
GTGCGGGTGTTCACAGGCTGGCCCCGTGCTCGAGTGTTCGTAGCTTCTCAGTGTGGGTGTTCGTGTGGTTTT
TAGTGGACGTTTCGACCTACCCCTACGACCAAGCTACTAGA

GGGGGGGAGGTTTTTCGAGCATCACACAGTCTCGTCGTTTCAATCGCCGACTAACCAACGCGTATCCAATCAAAG
AACTCGAACAAATCCACCTAACGGCTGACCCGGCGCACCAATGCATGTGGAATCATGCGTATACGGGGCTAATACGCCAG
CGGGAATCTCGGCCGAGTTTATGGCTGATAATGTAAGAGTA

GGGGGGCGTCCTTTTCTTATGACCGGTGCCTGGTTCCCTGCTCGCCGCACCTTACAATGGCACAATGCGGTTAACAATC
TCTTGCAATTCGGCAATTGTGAAAGGCGCGTGACACCGGGAATCCGACATCACAATATTTCTGGATGGGTTTGTCTCTAT
GCTAGAGACTGTGCGGATAGCCGATCATTACCTGCCTCGTC

GGGGGGCTTAGGATCGTGGTATACCGATTCTAAGACTGTCCCCGCTCATGGCATTGAGTCGCCAACTTGGAGGTGCC
TCCCCCCCCCCCCACCCATTCCACGGCTTGCTTACGCGTATTCTAGATCCCAGGATCGTATCTTAACGGGCAAGATAAT
CCTCATGGCCCCGTAAGAGATGGGGCGGTGAGCCGGAGCAT

GGGGGGCAAAAGGGCATTGCAAGAGCTTGTGCGGTAGGAACCTTAGTTTTCTAACTTCCAAGAAGAGGCGGATGCCCCGCG
GGTCAGACTAATTGTTTCACTTTAGTCAAACGCGAGACTTAGTGTAAAGCGAATCGCCCTCAGCGCGGATCTCCAACA
ATATGCCGGTCACCTCAGAGTTCATGTGCCAATAGAAGCG

GGGGGGACAGCTCGGGGACATTGCACACGGATCTGGATGCCTTCTAGTGGATCTGTTTGACCCCTACTGTATCTGC
AGGTGGAACATATGGCTCCTATTGGTGTGTTGCGCGCGGAAGCTTCGGCCGCGGATATGGATGGCCCCGTAGCGTATAGCG
TTGAGGACCCCAAAATCGGCCGCCGTTGATGCTTAGTAGC

GGGGGCGCTTGTGTGACGGCACCATCGGTGACTGGTCTCGCTGTTTGGCAAATCACTTAGAACGATTAGACTACAA
AGGCTATACCGCCTCCTTCGGAGTAATCCGGGTTACTGTTCAATTGGCTCGCGCACGTCCCCTCTCATGTTCTAGCGG
CCAATGGGCCCATTTGACTATAGTGCCGGCATGATTCTGGA

GGGGGGTACAGTACCACAACCTTAGGATGTTCAAGAAACGGAGTTAGATTAGATCGAGATCCCGAATGCAAAGCGATA
CACGAAGATTAGGGCAGAGTTAGTGCTTGACGTTTTTTCGCCGAAGATATACCCACTACCGTTAAGACGTGCTCTTC
CCAGTCTTAGTGCTTAAGGCGGGAACGAAACGAGCATATT

GGGGGGTTTATATTATATTTTATTATAACACCTATCGGACTGAACCGTAATCCACGTGTTTGAACCTCTACATCTCGCC
TACTGAATATTCATGAGCCCTACAAAAGTGACTCTAACACTGTCTCTATAACACTCTTTAATATATGGCCGCACATTCC
CCTTAGAGCCGGAGCATGAGGTTTGACGTGAATAAACCCGC

GGGGGGTATGAGTGATACACTACCTGAATTCTTATCATGGGGCGAAACTTTGGCTAATTCTCACCAGAAAGCGATTGCAC
GCGCCTATGCCTGTCAGTGAGCCGCAGTTCATCGCCAGGGACCAAACTTAAACGCGATCTAGGATTTTGAACGATCC
CGACGAATCGACCGTGCCGGATCGCCCAAGCGAGAGTGCCG

GGGGGGGCGAGGGGAGCCCCGGAGGGAAGCTCCAGATGGGGCAGTTGACGTACGCTGGCAGCACCATATGACAATGGCG
TCGCCGGGCGGGACGCCATAACCGGAATGGTAGCGCCGAAGATCTGTGTGAACCGGGAGCTCGAGCACCGGCAGGGATGG
TGTTTCCGCGCCGGTACAGTCGAAATCCTCGCGGGCGGAGTG

GGGGGGGACGAGCTGTGCATACTTGTACCTTACCTAACTGTGTCAAGGCGTGACAGATTATCGGGAATACGACATGACAA
CATCTGCGCCGACAGCGGCAGAGTTCCAGGCGCATGTTGACCTCCTTGTGATATTTAATTATGGACAGTGTAAGGCCG
TGAGATACCTTATATTATACTCTACCGGCTGAGAACGACCC

GGGGGGCGGACTCCGAGATCGGTATACCTCCTCGTAAATGGTGCGTCCTAGCAGGGTTTACTGGTCGTTATCGCAGAAT
GCGATTCTTACTCTGAAGCCATCGTGTGGGTCTCTGGTTCTAGCGCAGGTTCTGGACGTCTGGGCGCGCCGGTAGGCCCT
GATGCTGTGATGTAAGAGCTCCGGCCTCGTTGTGTGTCAGGTA

GGGGGGGGGTGTCCCGGCATCGCAGGACGTTGCTTGGTTGGGGGGGGGGGGGGGACCGTCCGTGCGCGCCGTGGGGGGG
GGGGGTCAGGGGGGGGGGGGGGGAGGGGTGGGGTGGGGGGGGGGGGCTTAGGCGTGCCTGAAGGGGGGGGGGAGAGACGT
CCGCGCGGCCCCGCATGACTTATACCCTAGATACTATAGGA

GGGGGGGGTGACTGTACTCGCATAATCGCTCCGGTCCGTCATATATAATATAATCCCGGTGGTAAGTTGCGCGGGGTGTG
CCCCCTCGGGGACCGTATTTACCTTAACGATCGGTTGCAGTATGGCAGTCTTCTAAAAGACAGGGTCCTGTGCCTCCCC
TCGTCTTCTCAGTGCGGGACATACTTGCGCCCGTGCTTAAG

GGGGGGGCCTTGGTAATTATAATTTTCGCACATGGCACCCCTAAATCCCGATGTTCAAATTTCCATGAGTCAAGAAATCGCA
GTGCAAGCCATTAACTATCTACCGTCTTTTAAAACAAGAAAGCATGGAATTCCACCGAGCAAATAGATAATCCTTATCGG
AAAGACTACGCGCCATCCTAATGATGTATACTCTCTTGTGCG

Всего – 17 баллов

Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 6. ДНК для хранения информации: от теории к практике



Рис. 1

1. Поскольку существуют 4 буквы нуклеотида, то один нуклеотид будет кодировать 2 бита информации, 192 нуклеотида кодируют $192 \cdot 2 = 384$ бит информации.

Сколько описанных в условии строк можно закодировать таким способом? - Столько же, сколько чисел можно закодировать $8 \cdot 2 = 16$ битами, т.е. суммарно $2^{16} = 65536$ строк (или по-другому: максимальный номер строки будет $1111111111111111_2 = 65535$; всего строк, с учетом нулевой, будет 65536). Следовательно, объем информации (в МБ) составит $384 \cdot 65536 / 8 / 1024 / 1024 = \underline{\underline{3 \text{ Мегабайта}}}$.

2. Файл содержит 19 строк, из которых 18 полных (содержат, как указано в условии, 200 символов нуклеотидов, визуально их длина одинакова) и одна неполная из 76 нуклеотидов, следовательно, запись файла состоит из $200 \cdot 18 + 56 = \underline{\underline{3656}}$ символов нуклеотидов, из которых информацию кодируют $3656 - 19 \cdot 8 = 3504$. Поскольку каждый символ кодирует 2 бита информации, то исходный файл имеет размер $3504 \cdot 2 / 8 = \underline{\underline{876 \text{ байт}}}$.
3. Столько же, сколько вариантов сопоставить значения 1 бита (00 01 10 11) нуклеотидам (A C G T), т.е. $4! = \underline{\underline{24}}$.

Расшифруем код, зная, что в адресах строк закодированы цифры от нуля до 18 (19 строк). Самая короткая последовательность – это, очевидно, самая последняя строка. Поскольку всего 19 строк, то ее номер 18, следовательно:

$$18 = 10010_2 \Rightarrow 00 \ 00 \ 00 \ 00 \ 00 \ \underline{01 \ 00 \ 10}_2 \Leftrightarrow G \ G \ G \ G \ G \ \underline{C \ G \ T}$$

Следовательно, C = 01, G = 00 и T = 10 (A = 11 методом исключения).

4. Алгоритм. Читаем последовательно строки из файла **image.txt**, декодируем согласно найденной в предыдущем пункте таблице соответствия, разделяем строку на номер и данные. Записываем данные в ячейку массива с номером строки. После прочтения всех строк перебираем последовательно строки массива, записывая данные в двоичном виде в файл **image.png**, который можно открыть в любой программе, умеющей читать распространенные графические файлы. Это – упрощенный логотип 12-й олимпиады (см. заглавный рисунок).

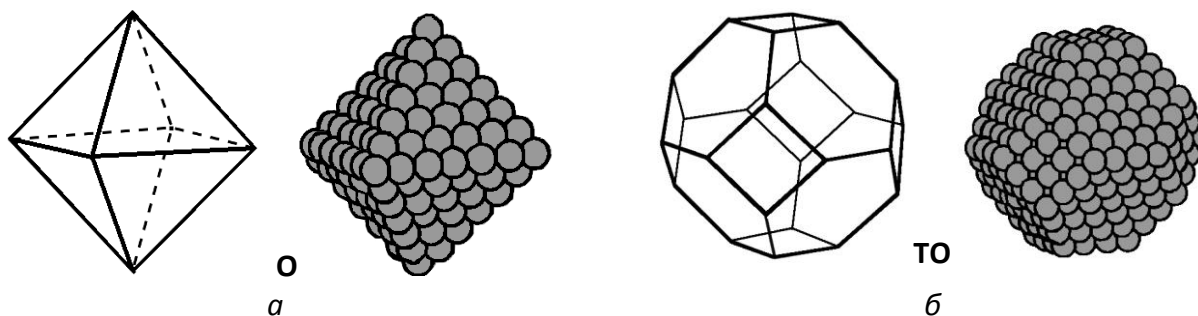
Исходный код программы (PascalABC.NET <http://pascalabc.net/>):

```
var
    { для упрощения программы считаем, что строк не более 256 }
    P : array[0..255] of string;
    txt : text;
    png : file;
    s : string;
    { переменная с двоичным кодом, соответствующим последовательности нуклеотидов }
    b : byte;

procedure decode(nuc: char);
begin
    { (b shl 2) к двоичной записи b, добавляет справа 2 нуля, затем мы по сути
    «добавляем» (справа) двоичный код нуклеотида nuc. Важно отметить, что поскольку
    переменная b имеет тип byte, то в ней не может "храниться" более 1 байта = 8
    бит, т.е. 4 нуклеотидов; последующее «добавление» нуклеотидов по сути "затирает"
    двоичный код крайнего нуклеотида слева и добавляет двоичный код нового
    нуклеотида справа: выполнение decode для 4-х нуклеотидов полностью «вытесняет»
    из нее информацию о предыдущих 4-х нуклеотидах, чем мы далее воспользуемся чтобы
    не обнулять каждый раз переменную b (поскольку информация о номерах строк и
    данные состоят из целого количества байт, следовательно закодированные номера
    строк и информация в строках записаны кратным 4 числом нуклеотидов). }
    case nuc of
        'A': b := (b shl 2) + 3; {A<=>11 т.е 3}
        'C': b := (b shl 2) + 1; {C<=>01 т.е 1}
        'G': b := (b shl 2) + 0; {G<=>00 т.е 0}
        'T': b := (b shl 2) + 2; {T<=>10 т.е 2}
    end;
end;

begin
    { построчно читаем файл image.txt и создаем массив P, в котором номер
    элемента равен номеру строки, а его значение - кодирующая данные
    последовательность }
    assign(txt, 'image.txt');
    reset(txt);
    while not eof(txt) do
        begin
            readln(txt, s); { читаем построчно 'image.txt' }
            for var n := 5 to 8 do decode(s[n]); { декодируем 4 нуклеотида номера }
            P[b] := copy(s, 9, 200); { заносим в массив P строку под декодированным №b }
        end;
    assign(png, 'image.png');
    rewrite(png);
    { перебираем массив P пока в нем есть непустые строки }
    foreach s in P do
        for var n:= 1 to length(s) do { перебираем символы нуклеотидов строки }
            begin
                decode(s[n]);
                {"заполненную" новой четверкой нуклеотидов переменную b пишем в файл}
                if n mod 4 = 0 then write(png, b);
            end;
        end;
    end.
```

Задача 7. Золотые октаэдры



Атомы золота могут образовывать кластеры в форме:

а) октаэдра **O** с ребром **n** атомов и общим числом атомов $O(n) = (2n^3 + n)/3$;

б) правильного усеченного октаэдра **TO** с ребром **m** атомов и общим числом атомов $TO(m) = 16m^3 - 33m^2 + 24m - 6$. На рисунке приведены примеры для **n = 7** и **m = 4**.

1. Сколько атомов золота приходится на каждую грань октаэдрического кластера с ребром в **n** атомов? **(0,5 балла)** Выведите общую формулу для числа атомов в поверхностном слое золотого октаэдра $S_O(n)$. **(1,5 балла)**
2. Форму каких многоугольников имеют грани усеченного октаэдра? **(0,5 балла)** Сколько атомов золота приходится на каждый из них для кластера **TO** с ребром в **m** атомов? **(1,5 балла)** Выведите общую формулу для числа атомов в поверхностном слое золотого октаэдра $S_{TO}(m)$. **(2 балла)**
3. Как правило, при близком общем числе атомов золота более предпочтительной является форма кластера, имеющая меньшую площадь поверхности. Рассчитайте доли поверхностных атомов* для усеченного октаэдра с ребром **m = 5** и для октаэдра, усечением которого он получен, и сделайте вывод, какая форма кластера золота будет более предпочтительной. **(3 балла)**

* Доля поверхностных атомов – отношение числа поверхностных атомов к общему числу атомов.

Всего – 9 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 7. Золотые октаэдры

1. Грань октаэдрического кластера – правильный треугольник, значит, число атомов золота, приходящееся на нее, равно треугольному числу: $A(n) = \frac{n(n+1)}{2}$.

Общее число атомов в поверхностном слое кластера **O**:

$S_o(n) = 8A(n) - 12n + 6$ (атомы на 8 треугольных гранях с ребром n минус повтор атомов на 12 ребрах плюс атомы в 6 вершинах, которые мы сначала четырежды прибавили с атомами на гранях, а затем четырежды вычли вместе с атомами на ребрах)

или $S_o(n) = 6 + 12(n-2) + 8A(n-3)$ (атомы в 6 вершинах плюс атомы на 12 ребрах без учета вершин плюс атомы на 8 гранях без учета вершин и ребер, посчитанных ранее).

Упрощая, получаем: $S_o(n) = 4n^2 - 8n + 6$.

2. Грани, появившиеся на месте отсечения пирамидок, имеют форму квадратов с числом атомов золота $B(m) = m^2$. В свою очередь, грани, получившиеся усечением треугольников исходного октаэдра, имеют вид правильных шестиугольников. Число атомов, приходящееся на них, будет равно разности числа атомов в «исходном» треугольнике и суммарного числа атомов в «отсеченных» треугольниках:

$$C(m) = A(3m-2) - 3A(m-1) = \frac{(3m-2)(3m-1)}{2} - 3 \frac{(m-1)m}{2} = 3m^2 - 3m + 1.$$

Общее число атомов в поверхностном слое кластера **ТО**:

$S_{to}(m) = 6B(m) + 8C(m) - 36m + 24$ (атомы на 6 квадратных (бывшие вершины октаэдра) и 8 шестиугольных (бывшие грани октаэдра) гранях минус повтор атомов на 36 ребрах (12 ребер октаэдра + $6 \cdot 4 = 24$ ребра, образовавшиеся при усечении вершин октаэдра) плюс атомы в 24 вершинах **ТО** (на месте каждой из 6 вершин октаэдра образовалось 4), которые мы сначала трижды прибавили с атомами на гранях, а затем трижды вычли вместе с атомами на ребрах)

или $S_{to}(m) = 6B(m) + 12(m-2) + 8C(m-1)$ (атомы на 6 квадратных (бывшие вершины октаэдра) плюс атомы на 12 бывших ребрах октаэдра без учета вершин плюс атомы на 8 шестиугольных гранях (бывших гранях октаэдра) без учета атомов, посчитанных в двух первых слагаемых)

или $S_{to}(m) = 24 + 36(m-2) + 6B(m-2) + 8C(m-1)$ (атомы в 24 вершинах **ТО** (на месте каждой из 6 вершин октаэдра образовалось 4 вершины **ТО**) плюс атомы на 36 ребрах (12 ребер октаэдра + $6 \cdot 4 = 24$ ребра, образовавшиеся при усечении вершин октаэдра) плюс атомы на 6 квадратных и 8 шестиугольных гранях без учета вершин и ребер, посчитанных ранее).

Упрощая, получаем: $S_{to}(m) = 30m^2 - 60m + 32$

3.

$$1) \frac{S_o(n)}{O(n)} = 3 \frac{4n^2 - 8n + 6}{2n^3 + n}, \quad n = 3m - 2 = 15 - 2 = 13$$

$$\frac{S_o(13)}{O(13)} = 3 \frac{4 \cdot 13^2 - 8 \cdot 13 + 6}{2 \cdot 13^3 + 13} = 3 \frac{578}{4407} = \frac{578}{1469} = 0,39$$

$$2) \frac{S_{to}(m)}{TO(m)} = \frac{30m^2 - 60m + 32}{16m^3 - 33m^2 + 24m - 6}$$

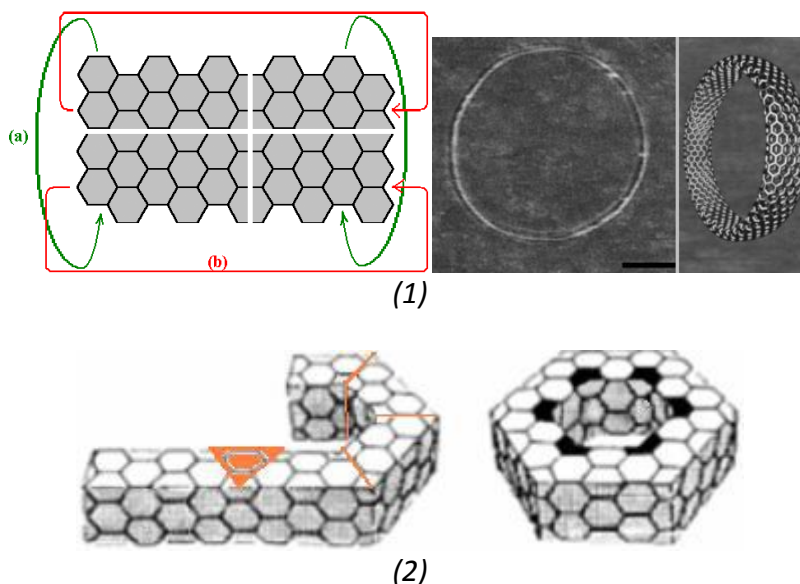
$$\frac{S_{to}(5)}{TO(5)} = \frac{30 \cdot 5^2 - 60 \cdot 5 + 32}{16 \cdot 5^3 - 33 \cdot 5^2 + 24 \cdot 5 - 6} = \frac{482}{1289} = 0,37$$

$$3) \frac{S_{to}(5)}{TO(5)} < \frac{S_o(13)}{O(13)}$$

Следовательно, усеченный октаэдр – более предпочтительная форма кластера. То есть, несмотря на то, что мы уменьшаем число атомов в кластере (что для однотипных кластеров приводит к росту доли поверхностных атомов, см. $S_o(n)/O(n)$), при переходе от октаэдра к его усеченной форме мы наблюдаем снижение этого показателя, что свидетельствует о большей стабильности **ТО**. И, действительно, начиная с некоторого размера, для кластеров золота форма усеченного октаэдра становится более предпочтительной.

Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 8. Наноторы из нанотрубок: от больших к самому маленькому



Если вырезанную из листа графена фигуру (рис. 1) свернуть и затем склеить по горизонтальному «шву» как показано на рис. 1 (а), то мы получим углеродную нанотрубку. Сгибая эту трубку и склеивая ее торцы (рис. 1 (б)), мы получаем углеродный нанотор, состоящий исключительно из шестиугольных граней.

Для любых торов величина $\chi = V - E + F$ (где V , F , E – количество вершин, граней и ребер, соответственно), называемая Эйлеровой характеристикой, является постоянной.

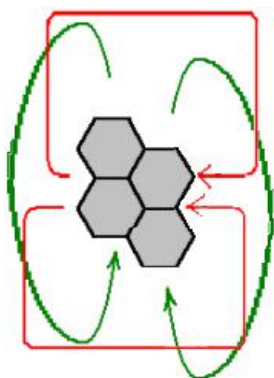
1. Допустим, нанотор (1) содержит m шестиугольников. Рассчитайте, сколько вершин n и ребер E он имеет. (1 балл) Найдите χ для тора. (1 балл)
2. Выведите формулу, описывающую в общем виде зависимость n для произвольного нанотора, содержащего пяти-, шести- и семиугольные грани, от числа граней каждого типа. Основываясь на полученном значении χ , определите, существуют ли для наноторов (как в случае фуллеренов) ограничения на количество нешестиугольных граней? (2 балла)

Хотя при получении нанотора (1) склейка (а) листа графена в нанотрубку не меняет длины ребер в шестиугольниках, склейка (б) невозможна без их искажения. Однако, если из нанотрубки удалить 6 сегментов, как показано на рис. 2, то можно получить тор (нанотор (2)) без искажений длин ребер. При этом в местах удаления сегментов образуются пяти- и семиугольники, число которых будет постоянно для всех наноторов такого типа (см. задачу, [«Углеродный нанобублик»](#)).

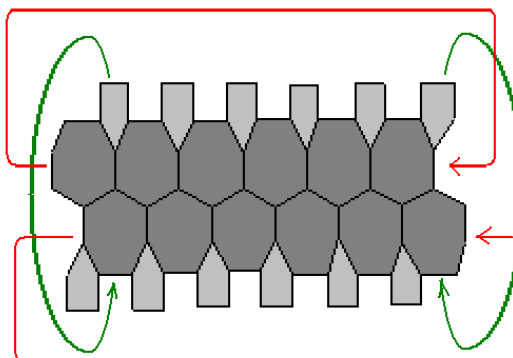
3. Установите формулы (число атомов углерода) самых маленьких торов первого и второго типов. (2 балла) Постройте их развертки на плоскости (как показано на рис. 1). (4 балла)

Всего – 10 баллов

Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 8. Наноторы из нанотрубок: от больших к самому маленькому



(1)



(2)

1.

- 1) Каждая шестиугольная грань имеет 6 вершин, но каждая вершина принадлежит одновременно трем граням: $V = n = 6/3m = 2m$.
- 2) Каждая шестиугольная грань имеет 6 ребер, но каждое ребро принадлежит одновременно двум граням: $E = 6/2m = 3m$.
- 3) Подставляя полученные ранее величины, получаем $\chi = V - E + F = 2m - 3m + m = 0$. (Сравните с $\chi = 2$ для выпуклых многогранников, в частности, для фуллеренов).

2. Запишем общее число граней $F = F_5 + F_6 + F_7$.

Тогда, аналогично п.1: $E = 5F_5/2 + 6F_6/2 + 7F_7/2$ и $n = V = 5F_5/3 + 6F_6/3 + 7F_7/3$.

Запишем выражение, описывающее Эйлерову характеристику для тора:

$$\begin{aligned} 5F_5/3 + 6F_6/3 + 7F_7/3 - (5F_5/2 + 6F_6/2 + 7F_7/2) + F_5 + F_6 + F_7 &= 0 \\ 5F_5/3 + 2F_6 + 7F_7/3 - 2,5F_5 - 3F_6 - 3,5F_7 + F_5 + F_6 + F_7 &= 0 \\ 5F_5/3 + 7F_7/3 - 2,5F_5 - 3,5F_7 + F_5 + F_7 &= 0 \\ 10F_5 + 14F_7 - 15F_5 - 21F_7 + 6F_5 + 6F_7 &= 0 \\ F_5 - F_7 &= 0. \end{aligned}$$

Таким образом, число шестиугольных граней может быть произвольным, ограничений на него не накладывается, число пятиугольников равно числу семиугольников.

3.

- 1) Тип (1). Чтобы склейка была ровной, число шестиугольников в «выкройке» по каждому из направлений должно быть четным. Таким образом, минимальное число шестиугольников – 4, тогда число вершин $V = 2F_6 = 8$. Отметим, что в реальности такой тор не может существовать из-за огромных искажений С-С связей. Развертку см. рисунок в начале.

- 2) Тип (2). Шесть «удаляемых» сегментов дают нам $F_5 = F_7 = 6 \cdot 2 = 12$ граней каждого типа. Тогда $V = 5 \cdot 12/3 + 6F_6/3 + 7 \cdot 12/3 = 48 + 2F_6$. Наименьшее число шестиугольных граней равно нулю, тогда число атомов углерода составит $n = 5 \cdot 12/3 + 7 \cdot 12/3 = \underline{48}$. Таким образом, минимальный нанотор без искажений связей имеет формулу C_{48} и состоит целиком из 12 пятиугольных и 12 семиугольных граней. Очевидно, что семиугольные грани находятся «внутри» бублика, а пятиугольные – «снаружи», следовательно, комбинируя их можно построить развертку (см. рисунок в начале).



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 9. Фуллерены

Молекулы фуллеренов представляют собой выпуклые многогранники, составленные из атомов углерода* и имеющие только пяти- и шестиугольные грани. Воспользовавшись теоремой Эйлера для выпуклых многогранников, рассчитайте, сколько одинарных и двойных связей, а также пяти- и шестиугольников имеют фуллерены C_{2017} и C_{2018} .

* Каждый атом углерода образует две одинарных и одну двойную связь с соседними атомами.

Всего – 6 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 9. Фуллерены

1. Обозначим $V = n$ – число вершин, тогда число ребер $E = 1,5V = 1,5n$ (в каждой вершине сходится по 3 ребра, но каждое ребро принадлежит двум вершинам).

а) $n = 2017$: $E = 3025,5$ – ответ не имеет смысла, возможно, данный фуллерен не существует.

б) $n = 2018$: $E = 3027$, из них одинарных $E_1 = 2/3 E = 2018$ и двойных $E_2 = 1/3 E = 1009$.

2. Общее число граней можно записать как $F = F_5 + F_6$.

Выразим число вершин через число граней: $V = 5/3F_5 + 6/3F_6$ (каждая пяти- (шестиугольная) грань дает 5 (6) вершин, но каждая вершина принадлежит трем граням). Тогда число ребер $E = 1,5(5/3F_5 + 2F_6) = 2,5F_5 + 3F_6$.

3. Запишем теорему Эйлера для выпуклых многогранников: $V + F - E = 2$.

Таким образом, $5/3F_5 + 2F_6 + F_5 + F_6 - 2,5F_5 - 3F_6 = 2$ или $F_5 = 12$. То есть любой многогранник, составленный из пяти- и шестиугольников, сходящихся в вершинах по три, всегда содержит строго 12 пятиугольников.

4. Рассчитаем число шестиугольников: $F_6 = \frac{V - 5/3F_5}{2} = \frac{n - 5/3 \cdot 12}{2} = 0,5n - 10$.

а) 2017 : $F_6 = 0,5 \cdot 2017 - 10 = 998,5$ – ответ не имеет смысла, возможно, данный фуллерен не существует.

б) 2018 : $F_6 = 0,5 \cdot 2018 - 10 = 999$.

Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 10. Изомерия икосаэдрических фуллеренов

Любой икосаэдрический фуллерен можно представить в виде «выкройки» на графеновой плоскости (рис. 1).

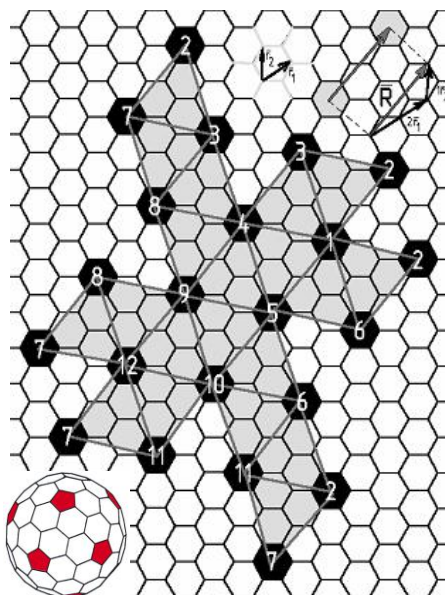


Рис. 1. Пример развертки икосаэдрического фуллерена C_{140} на графеновой плоскости ($n = 2$, $m = 1$); если склеить вершины треугольников с одинаковыми номерами, получится фуллерен. На графеновой плоскости отмечены единичные векторы r_1 и r_2 и показан задающий развертку вектор $\vec{R} = 2\vec{r}_1 + 1\vec{r}_2$.

Общее число атомов при этом определяется по формуле $N = 20(n^2 + nm + m^2)$, где неотрицательные числа n и m – индексы хиральности – задают радиус-вектор $\vec{R} = n\vec{r}_1 + m\vec{r}_2$, длина которого равна стороне треугольника «выкройки». Изомерными называются молекулы икосаэдрических фуллеренов, имеющие одинаковое число атомов N , но разную сумму индексов хиральности $c = n + m$.

1. Рассматривая зависимость $c(n)$ для изомеров произвольного икосаэдрического фуллерена C_N как непрерывную функцию, найдите значения $c_{\min}$ и $c_{\max}$. Запишите индексы хиральности (n, m) для этих изомеров через $X = N/20$. **(7 баллов)**
Возможно ли для реального фуллерена C_N одновременное существование изомеров с суммами индексов хиральности $c_{\min}$ и $c_{\max}$? **(1 балл)**
2. Икосаэдрический фуллерен C_{242060} имеет шесть изомеров. Найдите (n, m) для изомеров C_{242060} , имеющих минимальное и максимальное значение c . Поясните логику поиска. **(8 баллов)**

В рамках задачи считайте фуллерены (n, m) и (m, n) одним и тем же изомером.

Всего – 16 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Решение задачи 10. Изомерия икосаэдрических фуллеренов

1.

- 1) Запишем величину X как функцию от суммы индексов хиральности:

$$X = \frac{N}{20} = n^2 + nm + m^2 = n^2 + 2nm + m^2 - nm = (n+m)^2 - nm = c^2 - n(c-n)$$

$$c^2 - cn + n^2 - X = 0$$

Запишем $c(n)$ как корень квадратного уравнения:

$$c(n) = \frac{n + \sqrt{n^2 - 4(n^2 - X)}}{2} = 0,5(n + \sqrt{4X - 3n^2})$$

(корень с вычитанием дискриминанта нам не подходит, так как $c, n, m \in \mathbb{N}_0$).

Для нахождения точки экстремума приравняем производную нулю:

$$c'(n) = 0,5 \left(1 + 0,5 \frac{-6n}{\sqrt{4X - 3n^2}} \right) = 0,5 \left(1 - \frac{3n}{\sqrt{4X - 3n^2}} \right)$$

$$0,5 \left(1 - \frac{3n}{\sqrt{4X - 3n^2}} \right) = 0$$

$$\frac{3n}{\sqrt{4X - 3n^2}} = 1$$

$$3n = \sqrt{4X - 3n^2}$$

$$9n^2 = 4X - 3n^2$$

$$3n^2 = X$$

$$n = \sqrt{X/3}$$

$$c(\sqrt{X/3}) = 0,5 \left(\sqrt{X/3} + \sqrt{4X - 3(\sqrt{X/3})^2} \right) = 0,5\sqrt{X} \left(\frac{1}{\sqrt{3}} + \sqrt{3} \right) = 2\sqrt{X/3}$$

$$m = c - n = 2\sqrt{X/3} - \sqrt{X/3} = \sqrt{X/3} = n$$

Рассчитаем значение второй производной в данной точке, чтобы установить характер экстремума:

$$c''(n) = -0,5 \frac{3\sqrt{4X - 3n^2} - 3n \cdot 0,5 \frac{-6n}{\sqrt{4X - 3n^2}}}{4X - 3n^2} = -1,5 \frac{4X - 3n^2 + 3n^2}{(4X - 3n^2)^{3/2}} = -\frac{6X}{(4X - 3n^2)^{3/2}}$$

$$c''(\sqrt{X/3}) = -\frac{6X}{(4X - 3(\sqrt{X/3})^2)^{3/2}} = -\frac{6X}{(3X)^{3/2}} = -\frac{2}{\sqrt{3X}} < 0 \text{ — найденное значение } n$$

отвечает максимуму.

Следовательно, минимальному значению функции $c(n) = 0,5(n + \sqrt{4X - 3n^2})$ будут отвечать граничные условия: $n = 0$, $c = m$ или $n = c$, $m = 0$.

$$c(0) = 0,5(0 + \sqrt{4X - 3 \cdot 0^2}) = \sqrt{X}, m = \sqrt{X}.$$

Таким образом, минимальную величину $c_{\min} = \sqrt{X}$ имеет изомер с индексами $(0, \sqrt{X})$ или $(\sqrt{X}, 0)$, а максимальную $c_{\max} = 2\sqrt{X/3}$ – с индексами $(\sqrt{X/3}, \sqrt{X/3})$.

- 2) Допустим, для некоторого N и, соответственно, X , существуют одновременно оба изомера. Тогда одновременно должны выполняться два условия: $\sqrt{X} \in N_0$ и $\sqrt{X/3} \in N_0$, что невозможно, так как эти две величины отличаются на множитель $\sqrt{1/3}$.

2. Рассчитаем величину X для икосаэдрического фуллерена C_{242060} :

$$X = \frac{N}{20} = \frac{242060}{20} = 12103.$$

Как мы увидели выше, при существовании для заданного c изомера фуллерена $(0, m)$ он будет отвечать $c_{\min} = \sqrt{N/20} = \sqrt{X}$. Ближайший к 12103 квадрат целого числа равен 12100 ($110: 11^2 = 121$), что чуть меньше 12103, а значит $\sqrt{12103} > 110$.

Поскольку между $c_{\min}$ и $c_{\max}$ функция c больше не имеет экстремумов и монотонно возрастает, то поиск $c_{\min} \in N_0$, соответствующих изомеру фуллерена, нужно начинать со 111.

Перебираем разные пары (n, m) для $c = 111$:

$$X(0, 111) = 111^2 + 111 \cdot 0 + 0^2 = 12321 - \text{нет, } > 12103$$

$$X(1, 110) = 110^2 + 110 \cdot 1 + 1^2 = 12211 - \text{нет, } > 12103$$

$$X(2, 109) = 109^2 + 109 \cdot 2 + 2^2 = 12103 - \text{находим искомый изомер.}$$

(Стоит отметить, что если бы мы не нашли на этом шаге изомер, т.е. полученное значение X оказалось бы меньше искомого, то нужно было бы взять следующее значение $c_{\min} = 111 + 1 = 112$ и аналогично повторить поиск, перебирая пары индексов хиральности $(112, 0)$, $(111, 1)$ (эти 2 пары можно отбросить без рассмотрения, так как, очевидно, что отвечающие им значения X будут больше искомого), $(110, 2)$, $(109, 3)$, ..., и повторять далее с разными c по возрастанию до тех пор, пока не найдется изомер.)

$$c_{\max} = 2\sqrt{\frac{12103}{3}} = 2\frac{\sqrt{12100+3}}{\sqrt{3}} > 2\frac{\sqrt{12100}}{\sqrt{3}}; 2\frac{\sqrt{12100}}{\sqrt{3}} \approx 127,17$$

т.к. c монотонно возрастает и $c \in N_0$, то необходимо искать $c_{\max}$ начиная с 127. перебираем разные пары (n, m) для $c = 127$:

$$X(63,64) = 63^2 + 63 \cdot 64 + 64^2 = 12097 - \text{нет}, < 12103$$

$$X(62,65) = 62^2 + 62 \cdot 65 + 65^2 = 12099 - \text{нет}, < 12103$$

$$X(61,66) = 61^2 + 61 \cdot 66 + 66^2 = 12103 - \text{искомый изомер}$$

(если бы искомый изомер не нашелся, то было бы необходимо повторять поиск, уменьшая s на единицу).

Полный список изомеров икосаэдрического фуллерена C_{242060}

(n,m)	(66,61)	(77,49)	(89,34)	(94,27)	(98,21)	(109,2)
c	127	126	123	121	119	111



Конкурс тьюторов

Конкурс Тьюторов

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

Конкурс руководителей школьных проектов - тьюторов.

Задание

В современной системе образования все более существенной становится роль тьютора – преподавателя, наставника, курирующего проектную деятельность школьников. Очень часто тьютор является ключевым звеном в выборе темы и обсуждении способов достижения результатов, в мотивации школьников на выполнение проекта, помощником в корректной интерпретации полученных результатов и поиске перспектив развития проекта. Быть тьютором – значит быть неординарным человеком, сподвижником, ходячей энциклопедией знаний, сосудом ярких идей. Ежегодный конкурс тьюторов призван помочь нашей молодой школьной смене, обществу найти этих редких и крайне важных людей, чтобы поделиться их идеями и достижениями, вдохновить школьников на новые открытия и формирование их научного мировоззрения.

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



Конкурс тьюторов (заочный тур)

Форма заявки на участие в конкурсе – паспорт проекта

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

Часть А. Идентификационная.

A1. Автор-руководитель проекта (не оценивается)

Фамилия, имя, отчество куратора проекта полностью.

A2. Статус, ученая степень (до 5 баллов)

Указывается текущий статус в настоящий момент (студент, аспирант, преподаватель и др.) и ученая степень (при наличии).

A3. Организация (до 5 баллов)

Место учебы / работы.

A4. Перечень достижений в науке, технике, работе со школьниками, опыт образовательной деятельности (до 10 баллов)

Краткое жизнеописание. Объем – до 2000 знаков.

A5. Координаты для связи (не оценивается)

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

A6. Название проекта (до 1 балла)

A7. Краткая аннотация проекта (до 3 баллов)

Объем – до 1000 знаков.

A8. Научно-популярное описание проекта (до 8 баллов)

Примерная структура блока: введение, состояние дел в предметной области проекта, актуальность, новизна, цель, задачи, рисунки, список источников. Объем – до 5 000 знаков.

A9. Целевая аудитория школьников (не оценивается)

Указывается, для школьников каких классов предназначен проект. По умолчанию предполагается, что проект будет реализован группой из 5 – 6 школьников.

Часть Б. Материально-техническая и методическая.

Б1. Методы работы со школьниками (до 10 баллов)

Краткое описание образовательных технологий, конкретных методических и психологических приемов, которые куратор планирует использовать в проекте для работы со школьниками. Также указываются способы организации самостоятельной работы школьников, целеполагание, описание методов развития самостоятельности и творчества школьников, описание задач, на решение которых направлен проект, и навыков, которые будут получены участником проекта в результате выполнения. Объем – до 3000 знаков.

Б2. Оборудование (до 5 баллов)

Приводится описание оборудования, необходимого для реализации проекта. Может быть представлено в виде таблицы:

№	Оборудование, запросы на прототипирование или сборку из готовых составляющих	Описание, цели использования

Б3. Материалы (до 5 баллов)

Перечень необходимых реактивов, расходных материалов, программного обеспечения, стандартных инженерных компонентов и составляющих, требуемых для реализации проекта. Может быть представлено в виде таблицы:

№	Реактивы, материалы, компоненты, описание, номенклатура, количество	Форма использования, цели использования

Б4. Предостережения по технике безопасности (до 2 баллов)

Объем – до 2000 знаков.

Часть В. Научно-исследовательская (опытно-конструкторская).

В1. Предполагаемый план-график выполнения проекта (до 20 баллов)

Следует предоставить расписанный по дням краткий план реализации проекта, включая теоретическую, экспериментальную часть, темы дополнительных вопросов и домашних заданий для самостоятельной работы школьников, подготовку отчета и презентации. План должен быть привязан к задачам выполнения проекта и вести к достижению основной цели проекта, выполнение самостоятельной работы должно согласовываться с предложениями в пункте Б1. При планировании желательно обозначить блоки / стадии по (1) анализу предмета темы работы и современного состояния дел с участием школьников и выбора ими путей решения задач, (2) получению веществ и материалов школьниками, (3) разработке конструкции прототипа школьниками, (4) созданию / сборке устройства или опытного образца школьниками, (5) испытанию / анализу образца / прототипа с участием школьников, (6) сопоставлению с аналогами самими школьниками, (7) анализу перспектив практического / коммерческого использования в результате самостоятельной работы школьников. План-график может быть представлен в виде следующей таблицы (примерное количество дней для выполнения проекта – 21):

День	Стадия, название работ и связь с решаемыми задачами	Описание (смысл) работ	Краткое описание видов самостоятельной работы школьников по каждому этапу-стадии, включая перечень домашних заданий	Примечания
1				
2				
...				
21				

Часть Г. Отчетная.

Г1. Методы проведения школьниками анализа результатов и их сопоставления с аналогами / близкими известными разработками (до 5 баллов)

Необходимо описать, как планируется организовать работу школьников по анализу полученных результатов, поиску и сопоставлению с аналогами, защите новизны сделанной ими разработки с проведением оценочного анализа себестоимости разработки, возможных путей ее производства, внедрения, доступности рынка для коммерциализации и рекламы. Школьники должны практически получить простейшие представления по маркетинговым исследованиям и технопредпринимательству. Объем – до 2000 знаков.

Г2. Методы подготовки отчета и презентации школьниками на конференции (до 3 баллов)

Перечень рекомендаций по подготовке школьником презентации и ключевым пунктам возможного выступления на конференции. Объем – до 1000 знаков.

статьи



Просто о сложном

Просто о сложном

Категория участников: студенты, аспиранты, молодые ученые

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

Задание

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

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



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

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

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

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

2. Самостоятельно подготовленный иллюстративный материал (5 баллов).

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

3. Научно-популярная статья (35 баллов).

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

4. CV (жизнеописание) (5 баллов).

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

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

Объем – не более 1 страницы.

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

Всего – 60 баллов.

**Варианты заданий очного тура
по комплексу предметов
«биология, математика, физика, химия»
(с решениями)**

биология математика физика химия
Б М Ф Х

Задача 1. Угадай семейство

Однажды небольшой огород, на котором росло несколько грядок картофеля, фасоли и капусты, опрыскили новым экспериментальным средством, созданным на основе нанотехнологий. Через некоторое время огород превратился в цветущий луг, на котором все культурные растения растворились в огромной массе других – «некультурных». Прополка, по-видимому, перед внесением удобрения не проводилась. Удивительно, но все растения на участке зацвели в одно и то же время. Вещество отправили на доработку, а растения передали в соседнюю школу в гербарии.

Определите, к каким семействам принадлежат указанные диаграммы цветков. Укажите, к каким семействам относятся картофель, фасоль и капуста. Ответ напишите в виде цифровой комбинации (если отсутствует ответ в виде цифровой комбинации, то вопрос не будет проверяться!). Первая цифра соответствует подвопросу А, вторая – подвопросу Б, третья – подвопросу В и так далее по алфавиту (если не можете ответить на вопрос, то укажите ноль или пробел). Цифру можно взять из таблицы с названиями семейств. За каждый правильный ответ на подвопрос вы получаете **1 балл**.

А



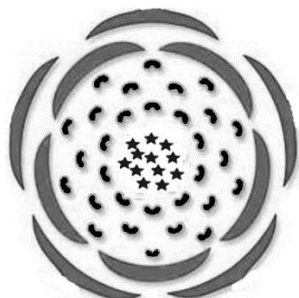
Б



В



Г



Д



Е к какому семейству относится картофель?

Ж к какому семейству относится фасоль?

З к какому семейству относится капуста?

Таблица			
1	Злаковые (<i>Poaceae</i>)	6	Вьюнковые (<i>Convolvulaceae</i>)
2	Астровые (<i>Asteraceae</i>)	7	Бобовые (<i>Fabaceae</i>)
3	Крестоцветные (<i>Brassicaceae</i>)	8	Розовые (<i>Rosaceae</i>)
4	Зонтичные (<i>Apiaceae</i>)	9	Лилейные (<i>Liliaceae</i>)
5	Пасленовые (<i>Solanaceae</i>)		

Всего – 8 баллов

Задача 2. Определи пептид

Последовательность нуклеотидов из середины кодирующего участка мРНК содержит информацию о некоем пептиде, включая стартовый и стоп кодон. Используя таблицу кодонов, определите закодированный пептид.

CGAUGAAGGAUUAUGAUUGAAC

Таблица кодонов

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

Всего – 8 баллов

Задача 3. Загадочное свечение

Медуза *Aequorea victoria* способна излучать зелёный свет. Из нее был выделен белок экворин, биолюминесценция которого инициируется ионами кальция. Выделенный из медузы и очищенный экворин *in vitro* в присутствии ионов кальция излучает свет с максимумом 469 нм, в то время как живая медуза светится зелёным. За зелёное свечение ответственен другой белок – GFP (англ. *green fluorescent protein* – зелёный флуоресцирующий белок), излучающий зелёный свет при поглощении излучения экворина. Юные исследователи поймали медузу *Aequorea victoria*, посадили ее в банку с изотоническим раствором хлорида натрия, поместили в темную комнату и осветили желтым светом. Каким цветом будет светиться медуза и почему?

Всего – 8 баллов

Задача 4. Энергия для нанороботов

Для диагностики состояния пациента в его организм были введены медицинские нанороботы. Часть нанороботов прикрепились к мембранам эритроцитов и проникли в них, а часть была фагоцитирована макрофагами. Для того чтобы нанороботы полноценно функционировали, они должны получать энергию для своей работы. Разработчики утверждают, что на работу нанороботов тратится энергия 1% молекул АТФ, получаемых клетками в процессе гликолиза и аэробного дыхания. Подсчитайте, пожалуйста, сколько молекул АТФ будет потрачено на работу нанороботов в отдельном эритроците и макрофаге, если в катаболизм в каждой из клеток вступит 50 молекул глюкозы.

Всего – 8 баллов

Задача 5. Аденоассоциированные вирусы и флуоресцентные белки

Для исследования механизмов работы мозга часто используют визуализацию динамики внутриклеточной концентрации ионов Ca^{2+} в различных клетках мозга, в том числе в нейронах и астроцитах. Для визуализации $[\text{Ca}^{2+}]_i$ в клетке используют флуоресцентную микроскопию. Для этого необходимы молекулы, интенсивность флуоресценции которых зависит от концентрации Ca^{2+} . Это могут быть небольшие синтетические красители, а могут быть трансгенные флуоресцентные белки. Для экспрессии чужеродных белков в заданном организме можно прибегать к помощи вирусных конструкций со встроенной в вирусный геном кодирующей последовательностью нужного белка, находящейся под определенным промотором. В качестве носителя часто используются аденоассоциированные вирусы, поскольку они могут инфицировать как делящиеся, так и неделящиеся клетки, и не являются патогенными. По сравнению с низкомолекулярными красителями, использование генетически кодируемых флуоресцентных кальциевых репортеров обладает рядом преимуществ.

1. Как Вы думаете, какими? (4 балла)

К сожалению, есть у этого метода и ряд недостатков: далеко не все клетки заражаются вирусом и удерживают его ДНК в ядре, при этом возможно заражение клеток не только нужного типа, но и других. Астроциты – одни из наиболее распространенных клеток глии. В коре их примерно столько же, сколько и нейронов. Известно, что эти клетки играют важную роль в работе синаптических контактов между нейронами и регуляции локального кровотока. Ваша задача – исследовать кальциевую активность в астроцитах коры мозга мышей. Для этого Вы используете вирусную конструкцию на основе аденоассоциированного вируса AAV2, который преимущественно заражает клетки нервной системы. В геном вируса встроена последовательность ДНК, кодирующая флуоресцентный белок, чувствительный к $[\text{Ca}^{2+}]_i$. Данная последовательность находится под промотором *gfa2*, ответственного за синтез глиального фибриллярного белка, который экспрессируется в большинстве астроцитов. Известно, что данный вирус заражает нейроны с вероятностью 50% (т. е. 50% нейронов оказываются зараженными), а астроциты – с вероятностью 30%. При этом у 90% зараженных астроцитов экспрессируется нужный флуоресцентный белок. Однако данный промотор не так специфичен, как хотелось бы, и около 10% зараженных нейронов также синтезируют трансгенный белок. Через три недели после инъекции вируса в мозг животных Вы проводите эксперимент, и под микроскопом видите светящиеся клетки.

2. Оцените вероятность, что выбранная Вами светящаяся клетка окажется астроцитом, а не нейроном. **(4 балла)** Ответ обоснуйте.

Всего – 8 баллов

Задача 1. Угадай семейство

Однажды небольшой огород, на котором росло несколько грядок редиски, гороха и помидоров опрыскали новым экспериментальным средством, созданным на основе нанотехнологий. Через некоторое время огород превратился в цветущий луг, на котором все культурные растения растворились в огромной массе других – «некультурных». Прополка, по-видимому, перед внесением удобрения не проводилась. Удивительно, но все растения на участке зацвели в одно и то же время. Вещество отправили на доработку, а растения передали в соседнюю школу в гербарии.

Определите, к каким семействам принадлежат указанные диаграммы цветков. Укажите, к каким семействам относятся редиска, горох и помидоры. Ответ напишите в виде цифровой комбинации (если отсутствует ответ в виде цифровой комбинации, то вопрос не будет проверяться!). Первая цифра соответствует подвопросу А, вторая – подвопросу Б, третья – подвопросу В и так далее по алфавиту (если не можете ответить на вопрос, то укажите ноль или пробел). Цифру можно взять из таблицы с названиями семейств. За каждый правильный ответ на подвопрос вы получаете **1 балл**.

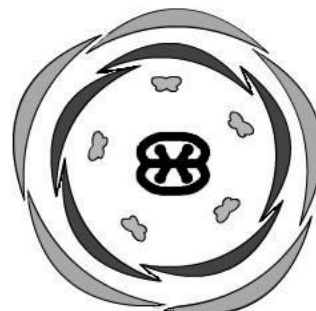
А



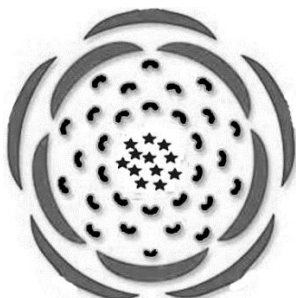
Б



В



Г



Д



Е к какому семейству относится редиска?

Ж к какому семейству относится горох?

З к какому семейству относится помидоры?

Таблица			
1	Зонтичные (<i>Apiaceae</i>)	6	Вьюнковые (<i>Convolvulaceae</i>)
2	Астровые (<i>Asteraceae</i>)	7	Бобовые (<i>Fabaceae</i>)
3	Крестоцветные (<i>Brassicaceae</i>)	8	Розовые (<i>Rosaceae</i>)
4	Злаковые (<i>Poaceae</i>)	9	Лилейные (<i>Liliaceae</i>)
5	Пасленовые (<i>Solanaceae</i>)		

Всего – 8 баллов

Задача 2. Определи пептид

Последовательность нуклеотидов из середины кодирующего участка мРНК содержит информацию о некоем пептиде, включая стартовый и стоп кодон. Используя таблицу кодонов определите закодированный пептид.

GAAUGGCCAACGAUUCGUGAUA

Таблица кодонов

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

Всего – 8 баллов

Задача 3. Загадочное свечение

Медуза *Aequorea victoria* способна излучать зелёный свет. Из нее был выделен белок экворин, биолюминесценция которого инициируется ионами кальция. Выделенный из медузы и очищенный экворин *in vitro* в присутствии ионов кальция излучает свет с максимумом 469 нм, в то время как живая медуза светится зелёным. За зелёное свечение ответственен другой белок – GFP (англ. *green fluorescent protein* – зелёный флуоресцирующий белок), излучающий зелёный свет при поглощении излучения экворина. Предположим, что была создана генномодифицированная медуза *Aequorea victoria* с нокаутированным геном, кодирующим GFP. Медузу посадили в банку с морской водой, поместили в темную комнату и осветили красным светом. Каким цветом будет светиться медуза и почему?

Всего – 8 баллов

Задача 4. Энергия для нанороботов

Для диагностики состояния пациента в его организм были введены медицинские нанороботы. Часть нанороботов прикрепились к мембранам эритроцитов и проникли в них, а часть была фагоцитирована макрофагами. Для того чтобы нанороботы полноценно функционировали, они должны получать энергию для своей работы. Разработчики утверждают, что на работу нанороботов тратится энергия 2% молекул АТФ, получаемых клетками в процессе гликолиза и аэробного дыхания. Подсчитайте, пожалуйста, сколько молекул АТФ будет потрачено на работу нанороботов в отдельном эритроците и макрофаге, если в катаболизм в каждой из клеток вступит 50 молекул глюкозы.

Всего – 8 баллов

Задача 5. Аденоассоциированные вирусы и флуоресцентные белки

Для исследования механизмов работы мозга часто используют визуализацию динамики внутриклеточной концентрации ионов Ca^{2+} в различных клетках мозга, в том числе в нейронах и астроцитах. Для визуализации $[\text{Ca}^{2+}]_i$ в клетке используют флуоресцентную микроскопию. Для этого необходимы молекулы, интенсивность флуоресценции которых зависит от концентрации Ca^{2+} . Это могут быть небольшие синтетические красители, а могут быть трансгенные флуоресцентные белки. Для экспрессии чужеродных белков в заданном организме можно прибегать к помощи вирусных конструкций со встроенной в вирусный геном кодирующей последовательностью нужного белка, находящейся под определенным промотором. В качестве носителя часто используются аденоассоциированные вирусы, поскольку они могут инфицировать как делящиеся, так и неделящиеся клетки, и не являются патогенными. По сравнению с низкомолекулярными красителями, использование генетически кодируемых флуоресцентных кальциевых репортеров обладает рядом преимуществ.

1. Как Вы думаете, какими? (4 балла)

К сожалению, есть у этого метода и ряд недостатков: далеко не все клетки заражаются вирусом и удерживают его ДНК в ядре, при этом возможно заражение клеток не только нужного типа, но и других. Астроциты – одни из наиболее распространенных клеток глии. В коре их примерно столько же, сколько и нейронов. Известно, что эти клетки играют важную роль в работе синаптических контактов между нейронами и регуляции локального кровотока. Ваша задача – исследовать кальциевую активность в астроцитах коры мозга мышей. Для этого Вы используете вирусную конструкцию на основе аденоассоциированного вируса AAV2, который преимущественно заражает клетки нервной системы. В геном вируса встроена последовательность ДНК, кодирующая флуоресцентный белок, чувствительный к $[\text{Ca}^{2+}]_i$. Данная последовательность находится под промотором *gfa2*, ответственного за синтез глиального фибриллярного белка, который экспрессируется в большинстве астроцитов. Известно, что данный вирус заражает нейроны с вероятностью 80% (т. е. 80% нейронов оказываются зараженными), а астроциты – с вероятностью 50%. При этом у 80% зараженных астроцитов экспрессируется нужный флуоресцентный белок. Однако данный промотор не так специфичен, как хотелось бы, и около 10% зараженных нейронов также синтезируют трансгенный белок. Через три недели после инъекции вируса в мозг животных Вы проводите эксперимент, и под микроскопом видите светящиеся клетки.

2. Оцените вероятность, что выбранная Вами светящаяся клетка окажется астроцитом, а не нейроном. **(4 балла)** Ответ обоснуйте.

Всего – 8 баллов

Задача 1. Угадай семейство

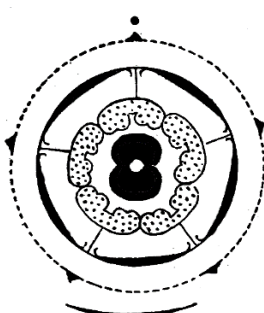
Однажды небольшой огород, на котором росло несколько грядок картофеля, помидоров и укропа опрыскали новым экспериментальным средством, созданным на основе нанотехнологий. Через некоторое время огород превратился в цветущий луг, на котором все культурные растения растворились в огромной массе других – «некультурных». Прополка, по-видимому, перед внесением удобрения не проводилась. Удивительно, но все растения на участке зацвели в одно и то же время. Вещество отправили на доработку, а растения передали в соседнюю школу в гербарии.

Определите, к каким семействам принадлежат указанные диаграммы цветков. Укажите, к каким семействам относятся картофель, помидоры и укроп. Ответ напишите в виде цифровой комбинации (если отсутствует ответ в виде цифровой комбинации, то вопрос не будет проверяться!). Первая цифра соответствует подвопросу А, вторая – подвопросу Б, третья – подвопросу В и так далее по алфавиту (если не можете ответить на вопрос, то укажите ноль или пробел). Цифру можно взять из таблицы с названиями семейств. За каждый правильный ответ на подвопрос вы получаете **1 балл**.

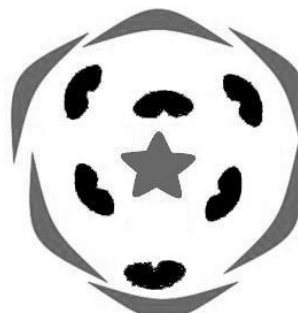
А



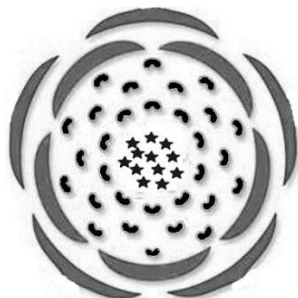
Б



В



Г



Д



Е к какому семейству относится картофель?

Ж к какому семейству относится помидоры?

З к какому семейству относится укроп?

Таблица			
1	Злаковые (<i>Poaceae</i>)	6	Вьюнковые (<i>Convolvulaceae</i>)
2	Астровые (<i>Asteraceae</i>)	7	Бобовые (<i>Fabaceae</i>)
3	Крестоцветные (<i>Brassicaceae</i>)	8	Розовые (<i>Rosaceae</i>)
4	Зонтичные (<i>Apiaceae</i>)	9	Лилейные (<i>Liliaceae</i>)
5	Пасленовые (<i>Solanaceae</i>)		

Всего – 8 баллов

Задача 2. Определи пептид

Последовательность нуклеотидов из середины кодирующего участка мРНК содержит информацию о некоем пептиде, включая стартовый и стоп кодон. Используя таблицу кодонов определите закодированный пептид.

UCAUGACGGACAAUAGGUGAAU

Таблица кодонов

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

Всего – 8 баллов

Задача 3. Загадочное свечение

Медуза *Aequorea victoria* способна излучать зелёный свет. Из нее был выделен белок экворин, биолюминесценция которого инициируется ионами кальция. Выделенный из медузы и очищенный экворин *in vitro* в присутствии ионов кальция излучает свет с максимумом 469 нм, в то время как живая медуза светится зелёным. За зелёное свечение ответственен другой белок – GFP (англ. *green fluorescent protein* – зелёный флуоресцирующий белок), излучающий зелёный свет при поглощении излучения экворина. Юные исследователи поймали медузу *Aequorea victoria*, посадили ее в банку с изотоническим раствором хлорида натрия, поместили в темную комнату и осветили синим светом. Каким цветом будет светиться медуза и почему?

Всего – 8 баллов

Задача 4. Энергия для нанороботов

Для диагностики состояния пациента в его организм были введены медицинские нанороботы. Часть нанороботов прикрепились к мембранам эритроцитов и проникли в них, а часть была фагоцитирована макрофагами. Для того чтобы нанороботы полноценно функционировали, они должны получать энергию для своей работы. Разработчики утверждают, что на работу нанороботов тратится энергия 5% молекул АТФ, получаемых клетками в процессе гликолиза и аэробного дыхания. Подсчитайте, пожалуйста, сколько молекул АТФ будет потрачено на работу нанороботов в отдельном эритроците и макрофаге, если в катаболизм в каждой из клеток вступит 50 молекул глюкозы.

Всего – 8 баллов

Задача 5. Аденоассоциированные вирусы и флуоресцентные белки

Для исследования механизмов работы мозга часто используют визуализацию динамики внутриклеточной концентрации ионов Ca^{2+} в различных клетках мозга, в том числе в нейронах и астроцитах. Для визуализации $[\text{Ca}^{2+}]_i$ в клетке используют флуоресцентную микроскопию. Для этого необходимы молекулы, интенсивность флуоресценции которых зависит от концентрации Ca^{2+} . Это могут быть небольшие синтетические красители, а могут быть трансгенные флуоресцентные белки. Для экспрессии чужеродных белков в заданном организме можно прибегать к помощи вирусных конструкций со встроенной в вирусный геном кодирующей последовательностью нужного белка, находящейся под определенным промотором. В качестве носителя часто используются аденоассоциированные вирусы, поскольку они могут инфицировать как делящиеся, так и неделящиеся клетки, и не являются патогенными. По сравнению с низкомолекулярными красителями, использование генетически кодируемых флуоресцентных кальциевых репортеров обладает рядом преимуществ.

1. Как Вы думаете, какими? (4 балла)

К сожалению, есть у этого метода и ряд недостатков: далеко не все клетки заражаются вирусом и удерживают его ДНК в ядре, при этом возможно заражение клеток не только нужного типа, но и других. Астроциты – одни из наиболее распространенных клеток глии. В коре их примерно столько же, сколько и нейронов. Известно, что эти клетки играют важную роль в работе синаптических контактов между нейронами и регуляции локального кровотока. Ваша задача – исследовать кальциевую активность в астроцитах коры мозга мышей. Для этого Вы используете вирусную конструкцию на основе аденоассоциированного вируса AAV2, который преимущественно заражает клетки нервной системы. В геном вируса встроена последовательность ДНК, кодирующая флуоресцентный белок, чувствительный к $[\text{Ca}^{2+}]_i$. Данная последовательность находится под промотором *gfa2*, ответственного за синтез глиального фибриллярного белка, который экспрессируется в большинстве астроцитов. Известно, что данный вирус заражает нейроны с вероятностью 70% (т. е. 70% нейронов оказываются зараженными), а астроциты – с вероятностью 20%. При этом у 90% зараженных астроцитов экспрессируется нужный флуоресцентный белок. Однако данный промотор не так специфичен, как хотелось бы, и около 5% зараженных нейронов также синтезируют трансгенный белок. Через три недели после инъекции вируса в мозг животных Вы проводите эксперимент, и под микроскопом видите светящиеся клетки.

2. Оцените вероятность, что выбранная Вами светящаяся клетка окажется астроцитом, а не нейроном. **(4 балла)** Ответ обоснуйте.

Всего – 8 баллов

Задача 1. Угадай семейство

Однажды небольшой огород, на котором росло несколько грядок картофеля, капусты и помидоров опрыскивали новым экспериментальным средством, созданным на основе нанотехнологий. Через некоторое время огород превратился в цветущий луг, на котором все культурные растения растворились в огромной массе других – «некультурных». Прополка, по-видимому, перед внесением удобрения не проводилась. Удивительно, но все растения на участке зацвели в одно и тоже время. Вещество отправили на доработку, а растения передали в соседнюю школу в гербарии.

Определите, к каким семействам принадлежат указанные диаграммы цветков. Укажите, к каким семействам относятся картофель, капуста и помидоры. Ответ напишите в виде цифровой комбинации (если отсутствует ответ в виде цифровой комбинации, то вопрос не будет проверяться!). Первая цифра соответствует подвопросу А, вторая – подвопросу Б, третья – подвопросу В и так далее по алфавиту (если не можете ответить на вопрос, то укажите ноль или пробел). Цифру можно взять из таблицы с названиями семейств. За каждый правильный ответ на подвопрос вы получаете **1 балл**.

А



Б



В



Г



Д



Е к какому семейству относится картофель?

Ж к какому семейству относится капуста?

З к какому семейству относится помидоры?

Таблица			
1	Злаковые (<i>Poaceae</i>)	6	Вьюнковые (<i>Convolvulaceae</i>)
2	Астровые (<i>Asteraceae</i>)	7	Бобовые (<i>Fabaceae</i>)
3	Крестоцветные (<i>Brassicaceae</i>)	8	Розовые (<i>Rosaceae</i>)
4	Зонтичные (<i>Apiaceae</i>)	9	Лилейные (<i>Liliaceae</i>)
5	Пасленовые (<i>Solanaceae</i>)		

Всего – 8 баллов

Задача 2. Определи пептид

Последовательность нуклеотидов из середины кодирующего участка мРНК содержит информацию о некоем пептиде, включая стартовый и стоп кодон. Используя таблицу кодонов определите закодированный пептид.

AAAUGAUCCACCUACAUGAAG

Таблица кодонов

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

Всего – 8 баллов

Задача 3. Загадочное свечение

Медуза *Aequorea victoria* способна излучать зелёный свет. Из нее был выделен белок экворин, биолюминесценция которого инициируется ионами кальция. Выделенный из медузы и очищенный экворин *in vitro* в присутствии ионов кальция излучает свет с максимумом 469 нм, в то время как живая медуза светится зелёным. За зелёное свечение ответственен другой белок – GFP (англ. *green fluorescent protein* – зелёный флуоресцирующий белок), излучающий зелёный свет при поглощении излучения экворина. Юные исследователи поймали медузу *Aequorea victoria*, посадили ее в банку с изотоническим раствором хлорида натрия и поместили в темную комнату. Каким цветом будет светиться медуза и почему?

Всего – 8 баллов

Задача 4. Энергия для нанороботов

Для диагностики состояния пациента в его организм были введены медицинские нанороботы. Часть нанороботов прикрепились к мембранам эритроцитов и проникли в них, а часть была фагоцитирована макрофагами. Для того чтобы нанороботы полноценно функционировали, они должны получать энергию для своей работы. Разработчики утверждают, что на работу нанороботов тратится энергия 10% молекул АТФ, получаемых клетками в процессе гликолиза и аэробного дыхания. Подсчитайте, пожалуйста, сколько молекул АТФ будет потрачено на работу нанороботов в отдельном эритроците и макрофаге, если в катаболизм в каждой из клеток вступит 50 молекул глюкозы.

Всего – 8 баллов

Задача 5. Аденоассоциированные вирусы и флуоресцентные белки

Для исследования механизмов работы мозга часто используют визуализацию динамики внутриклеточной концентрации ионов Ca^{2+} в различных клетках мозга, в том числе в нейронах и астроцитах. Для визуализации $[\text{Ca}^{2+}]_i$ в клетке используют флуоресцентную микроскопию. Для этого необходимы молекулы, интенсивность флуоресценции которых зависит от концентрации Ca^{2+} . Это могут быть небольшие синтетические красители, а могут быть трансгенные флуоресцентные белки. Для экспрессии чужеродных белков в заданном организме можно прибегать к помощи вирусных конструкций со встроенной в вирусный геном кодирующей последовательностью нужного белка, находящейся под определенным промотором. В качестве носителя часто используются аденоассоциированные вирусы, поскольку они могут инфицировать как делящиеся, так и неделящиеся клетки, и не являются патогенными. По сравнению с низкомолекулярными красителями, использование генетически кодируемых флуоресцентных кальциевых репортеров обладает рядом преимуществ.

1. Как Вы думаете, какими? (4 балла)

К сожалению, есть у этого метода и ряд недостатков: далеко не все клетки заражаются вирусом и удерживают его ДНК в ядре, при этом возможно заражение клеток не только нужного типа, но и других. Астроциты – одни из наиболее распространенных клеток глии. В коре их примерно столько же, сколько и нейронов. Известно, что эти клетки играют важную роль в работе синаптических контактов между нейронами и регуляции локального кровотока. Ваша задача – исследовать кальциевую активность в астроцитах коры мозга мышей. Для этого Вы используете вирусную конструкцию на основе аденоассоциированного вируса AAV2, который преимущественно заражает клетки нервной системы. В геном вируса встроена последовательность ДНК, кодирующая флуоресцентный белок, чувствительный к $[\text{Ca}^{2+}]_i$. Данная последовательность находится под промотором *gfa2*, ответственного за синтез глиального фибриллярного белка, который экспрессируется в большинстве астроцитов. Известно, что данный вирус заражает нейроны с вероятностью 56% (т. е. 60% нейронов оказываются зараженными), а астроциты – с вероятностью 40%. При этом у 80% зараженных астроцитов экспрессируется нужный флуоресцентный белок. Однако данный промотор не так специфичен, как хотелось бы, и около 10% зараженных нейронов также синтезируют трансгенный белок. Через три недели после инъекции вируса в мозг животных Вы проводите эксперимент, и под микроскопом видите светящиеся клетки.

2. Оцените вероятность, что выбранная Вами светящаяся клетка окажется астроцитом, а не нейроном. **(4 балла)** Ответ обоснуйте.

Всего – 8 баллов

Задача 6. Плазматическая мембрана

Плазматическая мембрана – один из важнейших компонентов клеток. Изменение свойств плазматической мембраны (состава, мембранного потенциала, поверхностного заряда, появление изгибов и выпячиваний и т.п.) существенным образом зависит от функционирования клеток и, в свою очередь, влияет на клеточные функции. Одними из основных компонентов мембран любых клеток являются липиды, образующие два монослоя, и белки, пронизывающие всю мембрану насквозь, частично погруженные в липиды или расположенные на поверхности липидной части мембраны.

1. Перечислите другие (неупомянутые) вещества, входящие в состав плазматической мембраны. Какие вещества могут временно находиться в плазматической мембране? **(4 балла)**
2. Перечислите основные функции плазматической мембраны. **(по 1 баллу за правильную функцию, но не более 4 баллов)**

Известно, что условно все липиды мембраны могут быть поделены по “форме”. Так, большинство липидов имеют цилиндрическую форму, некоторые липиды – форму конуса, стоящего на основании или на вершине (см. Таблицу). В зависимости от формы липиды имеют тенденцию к образованию мицелл, плоских или гексагональных структур. Известно, что в зависимости от формы и количества липидов с данной формой, находящихся во внешнем или внутреннем монослое, мембрана может приобретать выпячивания или углубления.

3. Напишите, липиды с какой формой должны появиться:
(3.1) во внутреннем слое мембраны, чтобы мембрана приобрела углубление (ямку)?
(3.2) во внешнем слое мембраны, чтобы она образовала выпячивание?
Обоснуйте оба случая.
(3.3) Какие биологические процессы/воздействия могут привести к тому, что изменится форма липида? **(6 баллов)**

Липид	Фаза	Форма молекулы
Лизофосфолипиды Детергенты	 Мицеллярная	 Перевернутый конус
Фосфатидилхолин Сфингомелин Фосфатидилсерин Фосфатидилинозитол Фосфатидилглицерол Фосфатидная кислота Кардиолипин Дигалактозилдиглицерид	 Бислойная	 Цилиндр
Фосфатидилэтаноламин (ненасыщенный) Кардиолипин - Ca^{2+} Фосфатидная кислота - Ca^{2+} (pH < 6,0) Фосфатидная кислота (pH < 3,0) Фосфатидилсерин (pH < 4,0) Моногалактозилдиглицерид	 Гексагональная (H ₁)	 Конус

4. За счет чего еще плазматическая мембрана может образовывать выросты и впячивания? В каких клетках изменение их формы и образование различных углублений, выростов, “ножек” и проч. необходимо для реализации функций? (4 балла)
5. В каком клеточном процессе обязательной стадией является образование “ямки” - углубления мембраны? Опишите этот процесс и его назначение. (2 балла)

Всего – 20 баллов

Задача 7. Планета Авалон

Планета Авалон была заселена колонистами с Земли. За сто лет население планеты выросло до 140000 человек. Однако внезапно на планете вспыхнула эпидемия, вызванная местным вирусом. 40000 тысяч человек были срочно изолированы под защитный купол, среди них было 30000 взрослых и 10000 детей разного возраста. Среди тех, кто не добрался до купола, 80000 человек заболели, а 20000 совсем от вируса не пострадали. Все недобравшиеся до купола были взрослыми. Их эвакуировали на планету Авалон 2 для изучения этого феномена. Когда медики провели тесты, выяснилось, что для того, чтобы вирус заразил человека, ему нужно соединиться с рецепторным белком fus, в норме находящимся на мембранах иммунных клеток. После конъюгации с этим белком вирус попадал в клетки, размножался в них и вызывал сбой иммунной системы, которая приводила к смерти. У колонистов, не пострадавших от вируса, была врожденная мутация, которая приводила к изменению структуры этого мембранного белка на клетках иммунной системы, и вирус не мог в них попасть. При дальнейшем изучении было обнаружено, что все эти колонисты являются носителями только одного мутантного аллеля гена fus, так как гомозиготы, несущие оба аллеля с этой мутацией, погибали в первый год после рождения. Ген, кодирующий белок fus, не сцеплен с полом. При изучении ДНК колонистов, находящихся под куполом, выяснилось, что соотношение генотипов носителей «спасительной» мутации и обычных людей было такое же, как у тех, кто до него не добрался.

Аллель дикого типа обозначьте как *c*, а мутантный аллель как *C*, потому что он является доминантным.

1. Определите долю генотипов у взрослых колонистов под куполом, учитывая, что распределение генотипов у людей под куполом было такое же, как и у тех, кто до него не добрался. Какое количество людей не заболеет? **(7 баллов)**
2. Опираясь на закон Харди-Вайнберга, рассчитайте долю гомозигот по мутантному аллелю среди новорожденных в первом поколении, которые родятся у колонистов под куполом. Закон Харди-Вайнберга – положение популяционной генетики, гласящее, что в популяции бесконечно большого размера, в которой не идет дрейф генов, частоты генотипов по какому-либо гену (в случае, если в популяции есть два аллеля этого гена) будут поддерживаться постоянными из поколения в поколение и соответствовать уравнению: $p^2 + 2pq + q^2 = 1$, где p^2 – доля гомозигот по одному из аллелей; p – частота этого аллеля; q^2 – доля гомозигот по альтернативному аллелю; q – частота соответствующего аллеля; $2pq$ – доля гетерозигот. **(7 баллов)**
3. Приведите пример генетического заболевания, которое дает ее носителям, гетерозиготных по мутантному гену, преимущество при возможном инфицировании патогенами, а у носителей, гомозиготных по этому гену, приводит к развитию тяжелой патологии. **(6 баллов)**

Всего – 20 баллов

Задача 8. Митохондриальные заболевания

На заочном этапе Вам были предложены задания, посвященные митохондриям и митохондриальным заболеваниям. На очном туре мы также предлагаем Вам решить задания, посвященные этим вопросам. Очень надеемся, что Вы не забыли их основные особенности, которые должны были изучить, отвечая на вопросы заочного тура.

Напомним, что в группу митохондриальных заболеваний выделяют наследственные заболевания, связанные с нарушениями в функционировании митохондрий. Это приводит к нарушению энергетических функций в различных органах и тканях.

1. У совершеннолетнего молодого человека наряду с уже имеющимся хроническим заболеванием было диагностировано некоторое митохондриальное заболевание. Одним из оснований постановки такого диагноза явился высокий уровень молочной кислоты (лактата) в крови (побочного продукта образования АТФ из глюкозы) даже после незначительных физических нагрузок. Объясните, как это может быть связано с нарушениями работы митохондрий (подробных схем не требуется). **(4 балла)**
2. Рассчитайте, какая вероятность рождения у этого человека и здоровой женщины ребенка с таким митохондриальным заболеванием (назовем его условно заболевание 1), если известно, что в подавляющем большинстве данное заболевание развивается в подростковом возрасте, его симптомы четко определены, а у больных таким заболеванием родителей могут с большой вероятностью родиться полностью здоровые дети. **(8 баллов)**

3. Молодой человек, страдающий другим митохондриальным заболеванием (условно назовем его заболевание 2), женился на здоровой женщине. Известно, что заболевание 2 может проявляться в различном возрасте и в различных органах и тканях, а его симптомы могут варьировать. Какова вероятность того, что у ребенка, родившегося от этой пары, будет заболевание 2? Обоснуйте свой ответ. **(4 балла)**
4. Существует пара, в которой женщина страдает заболеванием 2. Каким образом, используя методы искусственного оплодотворения, можно помочь данной паре родить здорового ребенка, содержащего гены как отца, так и матери? **(4 балла)**

Всего – 20 баллов

Решение задачи 1. Угадай семейство

А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З
9	5	6	8	3	3	7	5

Решение задачи 2. Определи пептид

GA**AUG**GCCAACGAUUCG**UGA**UA

Иницирующим кодоном является AUG, кодирующий аминокислоту метионин, найдем его (выделен желтым), после чего разделим последующие нуклеотиды на тройки и определим последовательность пептидов:

Метионин-аланин-аспарагин-аспарагиновая кислота-серин

Решение задачи 3. Загадочное свечение

У генномодифицированной медузы нет зеленого флуоресцирующего белка. Однако есть экворин и ионы кальция в среде, экворин будет светиться в синей области (469 нм). Освещение красным светом на это свечение никак не повлияет. Ответ «медуза светится фиолетовым, потому что синяя люминесценция накладывается на отраженный красный свет» считается правильным.

Решение задачи 4. Энергия для нанороботов

В эритроцитах может идти только гликолиз. В процессе диссимиляции 1 молекулы глюкозы образуется 2 молекулы пировиноградной кислоты, 2 молекулы АТФ и 4 протона. То есть в эритроците из 50 молекул глюкозы образуется 100 молекул АТФ, из которых две молекулы идет на работу наноробота. **(4 балла)**

В макрофаге помимо гликолиза идет процесс аэробного дыхания. В процессе энергетического этапа образуется 36 молекул АТФ. То есть из 50 молекул глюкозы образуется $1800 + 100 = 1900$ молекул АТФ, из которых 38 молекул идет на работу наноробота. **(4 балла)**

Решение задачи 5. Аденоассоциированные вирусы и флуоресцентные белки

- Преимущества генетически кодируемых кальциевых репортеров. При добавлении низкомолекулярных кальциевых зондов, как правило, окрашиваются все клетки, так что специфичность довольно низкая. Напротив, помещение генетически кодируемого зонда под определенный промотор теоретически позволяет экспрессировать белок только в заданном типе клеток. Таки образом, специфичность окрашивания – основное преимущество. Флуоресцентные зонды, основанные на белках, менее

токсичные, с ними клетка лучше выживает. Существующий арсенал различных трансгенных элементов позволяет создавать комбинированные конструкции перед трансфекцией, например для направленной локализации флуоресцентных молекул в определенные отделы клетки или прикреплять их к плазматической мембране. Простые красители в большинстве случаев окрашивают только тела клеток и крупные отростки, но не проникают во множество мелких отростков. Напротив, трансгенные флуоресцентные белки окрашивают всю клетку.

2. Будем считать, что астроцитов и нейронов в коре поровну. Введем обозначения. Пусть вероятность трансфекции нейрона обозначается как P_{tn} , астроцита – P_{ta} , вероятность экспрессии в трансфецированном нейроне – P_{en} , в астроците – P_{ea} . После укола вирусом доля нейронов, которые содержат новую ДНК, $0.5 \cdot P_{tn}$ от всей популяции клеток, а доля астроцитов будет $0.5 \cdot P_{ta}$. Всего окажется трансфецировано $0.5 \cdot (P_{tn} + P_{ta}) \cdot 100\%$ клеток. Из них $P_{tn} / (P_{tn} + P_{ta}) \cdot 100\%$ будет нейронов и $P_{ta} / (P_{tn} + P_{ta}) \cdot 100\%$ астроцитов. Из всех нейронов только $P_{en} \cdot 100\%$ будут светиться, а из астроцитов светиться будут $P_{ea} \cdot 100\%$. Тогда общая доля светящихся клеток (от всех трансфецированных) будет равна

$$(P_{en} \cdot P_{tn} + P_{ea} \cdot P_{ta}) / (P_{tn} + P_{ta}).$$

Из них астроциты будут составлять

$$\begin{aligned} P_{ta} \cdot P_{ea} / (P_{ta} \cdot P_{ea} + P_{tn} \cdot P_{en}) \cdot 100\% &= 100\% / (1 + P_{tn} \cdot P_{en} / (P_{ta} \cdot P_{ea})) = \\ &= 100\% / (1 + 0.8 \cdot 0.1 / (0.5 \cdot 0.8)) = 83.3\%. \end{aligned}$$

Таким образом, светящаяся клетка с вероятностью 83.3% окажется астроцитом.

Решение задачи 6. Плазматическая мембрана

1. В состав мембраны также входят углеводы, как правило, в виде гликозилированных участков липидов и белков: гликолипидов, гликопротеидов и протеогликанов (название зависит от процентного содержания белка/углевода). Временно в плазматической мембране могут находиться молекулы газов (в первую очередь, O_2 , N_2 , NO), воды. Если учитывать и те молекулы, которые переносятся через мембрану при помощи транспортных белков – ионных каналов, различных обменников и АТФ-аз – то можно также назвать ионы (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^-), аминокислоты, АДФ, АТФ, различные органические кислоты и др.
2. Барьерная (отделение содержимого клетки от экстраклеточной среды); сигнальная (взаимодействие лигандов с рецепторами на поверхности мембраны с последующей передачей сигнала внутрь клетки); “электрическая” – функция создания мембранного потенциала, генерация подпороговых потенциалов и проведение потенциалов действия; участие в изменении формы клетки и движении клетки.
3.
 - 3.1. Должны появиться липиды с формой перевернутого конуса, тогда будет формироваться изгиб для того, чтобы препятствовать образованию разрывов в мембране.
 - 3.2. Липиды в форме перевернутого конуса. В этом случае “избыточная площадь” “головки” липида как раз будет использована для образования изгиба.
 - 3.3. Например, действие ферментов липаз, “откусывающих” одну из жирных кислот – “ножек” липида. В этом случае молекула липида приобретет форму перевернутого конуса. Некоторые липиды (например, кардиолипин) могут перейти в форму конуса при локальном изменении pH.
4. Мембрана также образует различные выросты и изгибы за счет подмембранного цитоскелета и микротрубочек. Кроме того, “ямка” может появляться за счет встраивания во внутренний липидный монослой некоторых белков. Так, белок кавеолин, частично встраиваясь во внутренний монослой плазматической мембраны, инициирует и стабилизирует образование впячивания, которое потом формируется в эндоцитируемый пузырек. В первую очередь, образование самых разнообразных, как по форме, так и по длине, выростов, наблюдается для активно передвигающихся и эндоцитирующих клеток – макрофагов, дендритных клеток и Т-лимфоцитов. Кроме того, изменение формы клетки, ее растяжение является важной особенностью эритроцитов, которые должны проходить через капилляры с диаметром, меньше, чем у эритроцитов. Образование локальных впячиваний и углублений плазматической мембраны также наблюдается в областях синапсов у нейронов, а также у отростков астроцитов, обхватывающих капилляры и синапсы. Кроме перечисленных примеров возможно много других вариантов, засчитываются все правильные примеры с пояснениями.

5. Речь идет об эндоцитозе – поглощении молекул из внеклеточного пространства за счет образования впячиваний на плазматической мембране с последующим формированием эндоцитозных везикул, их отделением от мембраны и транспортом вглубь цитоплазмы. В большинстве случаев эндоцитоз “запускается” при взаимодействии экстраклеточной молекулы-лиганда со своим специфическим белком-рецептором на поверхности плазматической мембраны. Далее происходит латеральное движение рецепторы с лигандом к участкам мембраны-предшественникам “ямок” и дальнейшее формирование эндоцитозных везикул. Процесс «впячивания» мембраны с последующим образованием сократимого кольца происходит при делении клеток.

Решение задачи 7. Планета Авалон

1. Обозначим мутантный аллель как С, нормальный как с.
 Гетерозиготы Сс – устойчивы к вирусу, гомозиготы сс – обычные люди, СС – не доживают до года. Пусть частота встречаемости аллеля С равна p , а аллеля с – q . Соотношение между носителями и обычными людьми постоянно, популяция находится в состоянии равновесия.
 80000 были носителями сс, 20000 Сс.
 0.2 – доля генотипов сс
 0.8 – доля генотипов СС
 Количество взрослых, не болеющих под куполом, – гетерозигот = $0.2 \cdot 30000 = 6000$.

2. Соотношение в первом поколении:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

p^2 – это частота детей гомозигот СС = 0,01

Таким образом, доля гомозигот по мутантному аллелю среди новорожденных в первом поколении под куполом будет равна 0.01 или 1%.

3. Это серповидноклеточная анемия.

Решение задачи 8. Митохондриальные заболевания

1. В процессе физических нагрузок, организм требует больших запасов энергии. Если их не хватает из-за большой физической нагрузки, недостатка кислорода или дефектов кислород-транспортной цепи митохондрий, то включаются дополнительные механизмы, например, гликолиз – бескислородный процесс получения энергии из глюкозы, побочным продуктом которого является образование лактата. Это и приводит к резкому увеличению лактата в крови после физических нагрузок. Если он увеличивается непропорционально высоко, это может быть поводом подозревать наличие митохондриальных заболеваний.

P.S. Здесь изложено наиболее простое объяснение, основанное на знаниях, получаемых в школе. Если приводилось более сложное объяснение, оно учитывалось индивидуально, согласно известным в научной литературе данным.

2. Развитие митохондриальных заболеваний может быть обусловлено мутациями как в митохондриальной, так и в ядерной ДНК. Однако, в силу особенностей строения и передачи митохондриальной ДНК (передача только по материнской линии, сосуществование в геноме одновременно как нормальной, так и мутантной ДНК, а также случайное распределение этой ДНК в клетках и органов потомков), болезни, обусловленные мутациями в этой ДНК, характеризуются широким спектром симптомов и проявлением в любом возрасте. Поэтому условие задачи о точном времени проявления и конкретных симптомах позволяет предположить, что данное заболевание обусловлено мутациями в ядерной ДНК. Если мы рассматриваем два аллеля в мутантном гене, то здоровые дети у больных родителей могут появиться только в случае, если родители – гетерозиготы, а мутация доминантна, т.е.:

$$\begin{array}{c} \text{♂Aa} + \text{♀Aa} \\ \begin{array}{cc} & \text{A} & \text{a} \\ \text{A} & \text{AA} & \text{Aa} \\ \text{a} & \text{Aa} & \text{aa} \end{array} \end{array}$$

Тогда генотип матери aa, а генотип отца может быть AA или Aa. Тогда у этой пары, если генотип отца AA, все дети будут иметь такое заболевание (**100%**) или, если генотип отца Aa, половина детей будет иметь такое заболевание (**50%**).

$$\begin{array}{cc} \begin{array}{cc} & \text{a} & \text{a} \\ \text{A} & \text{Aa} & \text{Aa} \\ \text{A} & \text{Aa} & \text{Aa} \end{array} & \text{или} & \begin{array}{cc} & \text{a} & \text{a} \\ \text{A} & \text{Aa} & \text{Aa} \\ \text{a} & \text{aa} & \text{aa} \end{array} \end{array}$$

Разумеется, возможны более сложные случаи, если они были приведены в решении задачи, то оценивались индивидуально, с учетом известных в научной литературе данных. Если решение не противоречило этим данным, оценка также была высокой.

3. Как уже упоминалось в предыдущем пункте, в силу особенностей строения и передачи митохондриальной ДНК, болезни, обусловленные мутациями в этой ДНК, характеризуются широким спектром симптомов и проявлением в любом возрасте. Поэтому можно предположить, что заболевание 2 обусловлено мутацией именно митохондриальной ДНК, а поскольку такая ДНК от отца не передается, то вероятность того, что у ребенка, родившегося от этой пары, будет заболевание 2, составляет **0%**.
4. В настоящее время существуют методы, позволяющие женщинам с мутациями митохондриальной ДНК, получать здоровое потомство. В частности, существует вариант, при котором проводится преимплантационная диагностика, позволяющая обнаружить эмбрион(ы) с наиболее низким уровнем мутантного митохондриального ДНК. Другой, более перспективный, вариант, – это так называемое митохондриальное донорство – передача ядерной ДНК (ядра) от женщины, страдающей митохондриальным заболеванием, обусловленным мутацией митохондриальной ДНК, в лишенный ядра ооцит или зиготу от здорового донора. Таким образом, у будущего ребенка будет наличествовать генотип как отца, так и матери, но при этом у него будет отсутствовать мутация в митохондриальной ДНК.

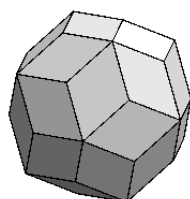


Математика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)

Простые задачи (вариант 1)

Задача 1. Многогранники из ромбов

Рассмотрим кластер, поверхность которого представляет собой F ромбов, а все вершины можно поделить на два типа, в которых сходятся a и b ребер, соответственно.

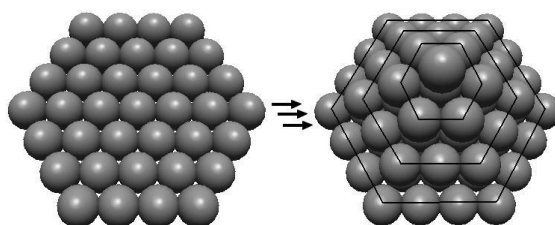


Для некоторого кластера X разность $b - a = 1$.

1. Найдите все возможные пары значений a и b . Ответ обоснуйте. (4 балла)
2. Опишите кластер X (найдите число ребер E , вершин V , а также число вершин каждого типа), для $F = 12$. (4 балла)

Всего – 8 баллов

Задача 2. Пирамида из шестиугольников



Некоторый нанокластер представляет собой шестиугольную пирамиду, сложенную, как изображено на рисунке, из касающихся друг друга n плотноупакованных слоев атомов (показан пример для $n = 4$).

1. Найдите число атомов в кластере для $n = 32$. (5 баллов)
2. Найдите размер пирамиды как радиус описанной вокруг кластера сферы, если атомы имеют радиус $a = 0,14$ нм. (3 балла)

Всего – 8 баллов

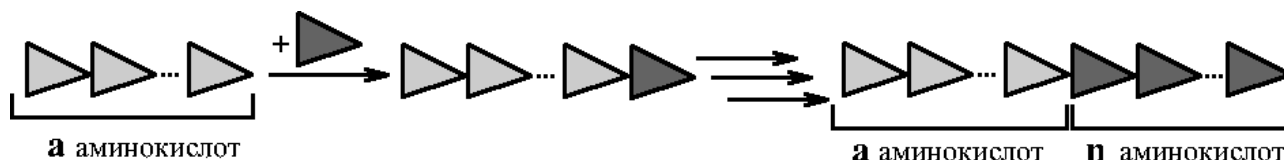
Задача 3. Наночастицы серебра

Для получения нового лекарства юный химик приготовил суспензию из наночастиц серебра в 1 литре воды. Затем он при помощи пипетки отобрал 1 мл полученной суспензии и поместил его в мерную колбу объемом 100 мл и долил в эту колбу воды до метки. Операцию разведения (отбор 1 мл и доведение до 100 мл) он повторил еще 7 раз, после

чего разлил итоговую суспензию по 100 одинаковым пробиркам. Проведя анализ, юный химик установил, что 39 пробирок не содержат ни одной серебряной наночастицы. Оцените радиус сферических наночастиц серебра r (нм), если известно, что величина исходной навески равна 21 мг, плотность серебра составляет $10,5 \text{ г/см}^3$. Считайте, что при всех операциях наночастицы распределяются по объему суспензии равномерно.

Всего – 8 баллов

Задача 4. Комбинаторная библиотека полипептидов



Для создания комбинаторной библиотеки¹ юный нанотехнолог Полуэкт взял $V = 0,5$ мл раствора полипептида A^2 , один литр которого содержит $c = 0,7$ микромоль полипептида. Затем он провел химическую реакцию со смесью аминокислот, в ходе которой к каждой молекуле полипептида случайным образом присоединялась одна из 20 аминокислот (см. схему). Найдите максимальный размер комбинаторной библиотеки, которую мог получить Полуэкт, если с полипептидом A он последовательно провел $n = 12$ таких реакций. Ответ обоснуйте.

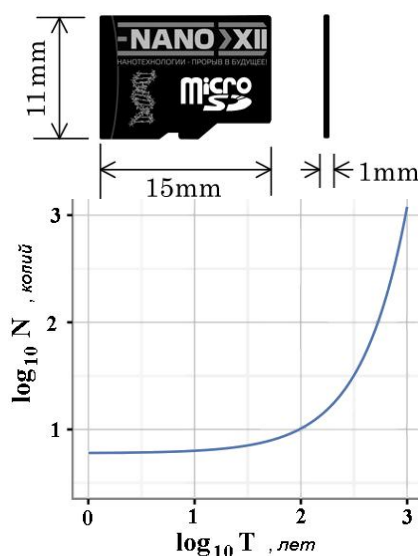
В одном моле полипептида содержится $6 \cdot 10^{23}$ молекул.

¹ Представляет собой в данном случае смесь большого числа различных пептидных последовательностей, среди которых можно искать новые лекарства.

² Представляет собой известную последовательность из $a = 10$ аминокислот.

Всего – 8 баллов

Задача 5. Биомолекулярная карта памяти



Биомолекула ДНК представляет собой цепочку, записанную 4 буквами нуклеотидов (ACGT), и несет в себе наследственную информацию. Она является перспективным нано-носителем для записи и длительного хранения данных.

1. Сколько информации (в Тбайт) можно хранить на носителе, представляющем собой параллелепипед с размерами, как у microSD карточки памяти (см. рисунок), заполненный молекулами ДНК, занимающими 20% от его объема? Известно, что $6 \cdot 10^{23}$ нуклеотидов в составе ДНК имеют массу в среднем 350 г. Считать плотность ДНК равной $1,1 \text{ г/см}^3$, цепочку нуклеотидов – одинарной, 1 Тбайт равным $1,1 \cdot 10^{12}$ байт. **(5 баллов)**
2. Молекула ДНК при хранении медленно разрушается, поэтому, чтобы через время T информацию можно было надежно считать, необходимо иметь N копий одинаковых цепочек (см. график $N(T)$). Сколько информации можно записать на носитель из п.1, если ее необходимо надежно хранить в течение $T = 1000$ лет? **(3 балла)**

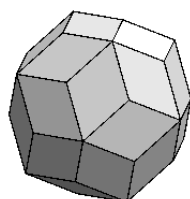
Всего – 8 баллов



Математика для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Простые задачи (вариант 2)

Задача 1. Многогранники из ромбов

Рассмотрим кластер, поверхность которого представляет собой F ромбов, а все вершины можно поделить на два типа, в которых сходятся a и b ребер, соответственно.

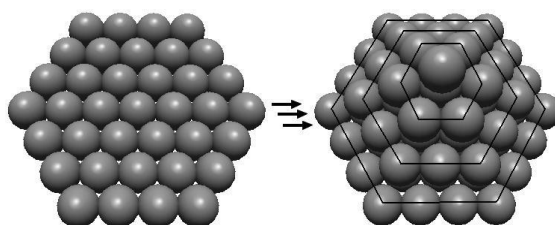


Для некоторого кластера X разность $b - a = 1$.

1. Найдите все возможные пары значений a и b . Ответ обоснуйте. (4 балла)
2. Опишите кластер X (найдите число ребер E , вершин V , а также число вершин каждого типа), для $F = 14$. (4 балла)

Всего – 8 баллов

Задача 2. Пирамида из шестиугольников



Некоторый нанокластер представляет собой шестиугольную пирамиду, сложенную, как изображено на рисунке, из касающихся друг друга n плотноупакованных слоев атомов (показан пример для $n = 4$).

1. Найдите число атомов в кластере для $n = 34$. (5 баллов)
2. Найдите размер пирамиды как радиус описанной вокруг кластера сферы, если атомы имеют радиус $a = 0,14$ нм. (3 балла)

Всего – 8 баллов

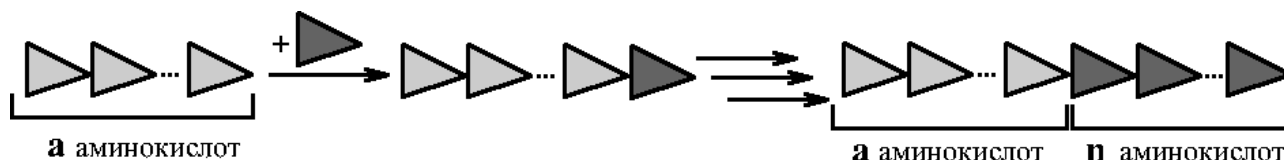
Задача 3. Наночастицы серебра

Для получения нового лекарства юный химик приготовил суспензию из наночастиц серебра в 1 литре воды. Затем он при помощи пипетки отобрал 1 мл полученной суспензии и поместил его в мерную колбу объемом 100 мл и долил в эту колбу воды до метки. Операцию разведения (отбор 1 мл и доведение до 100 мл) он повторил еще 7 раз, после

чего разлил итоговую суспензию по 100 одинаковым пробиркам. Проведя анализ, юный химик установил, что 64 пробирки не содержат ни одной серебряной наночастицы. Оцените радиус сферических наночастиц серебра r (нм), если известно, что величина исходной навески равна 42 мг, плотность серебра составляет $10,5 \text{ г/см}^3$. Считайте, что при всех операциях наночастицы распределяются по объему суспензии равномерно.

Всего – 8 баллов

Задача 4. Комбинаторная библиотека полипептидов



Для создания комбинаторной библиотеки¹ юный нанотехнолог Полуэкт взял $V = 10,5$ мл раствора полипептида A^2 , один литр которого содержит $c = 3$ микромоль полипептида. Затем он провел химическую реакцию со смесью аминокислот, в ходе которой к каждой молекуле полипептида случайным образом присоединялась одна из 20 аминокислот (см. схему). Найдите максимальный размер комбинаторной библиотеки, которую мог получить Полуэкт, если с полипептидом A он последовательно провел $n = 13$ таких реакций. Ответ обоснуйте.

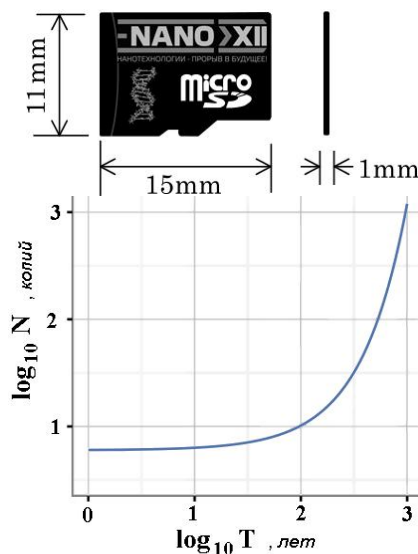
В одном моле полипептида содержится $6 \cdot 10^{23}$ молекул.

¹ Представляет собой в данном случае смесь большого числа различных пептидных последовательностей, среди которых можно искать новые лекарства.

² Представляет собой известную последовательность из $a = 13$ аминокислот.

Всего – 8 баллов

Задача 5. Биомолекулярная карта памяти



Биомолекула ДНК представляет собой цепочку, записанную 4 буквами нуклеотидов (ACGT), и несет в себе наследственную информацию. Она является перспективным нано-носителем для записи и длительного хранения данных.

1. Сколько информации (в Тбайт) можно хранить на носителе, представляющем собой параллелепипед с размерами, как у microSD карточки памяти (см. рисунок), заполненный молекулами ДНК, занимающими 20% от его объема? Известно, что $6 \cdot 10^{23}$ нуклеотидов в составе ДНК имеют массу в среднем 350 г. Считать плотность ДНК равной $1,1 \text{ г/см}^3$, цепочку нуклеотидов – одинарной, 1 Тбайт равным $1,1 \cdot 10^{12}$ байт. **(5 баллов)**
2. Молекула ДНК при хранении медленно разрушается, поэтому, чтобы через время T информацию можно было надежно считать, необходимо иметь N копий одинаковых цепочек (см. график $N(T)$). Сколько информации можно записать на носитель из п.1, если ее необходимо надежно хранить в течение $T = 100$ лет? **(3 балла)**

Всего – 8 баллов

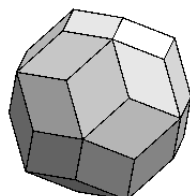


Математика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)

Простые задачи (вариант 3)

Задача 1. Многогранники из ромбов

Рассмотрим кластер, поверхность которого представляет собой F ромбов, а все вершины можно поделить на два типа, в которых сходятся a и b ребер, соответственно.

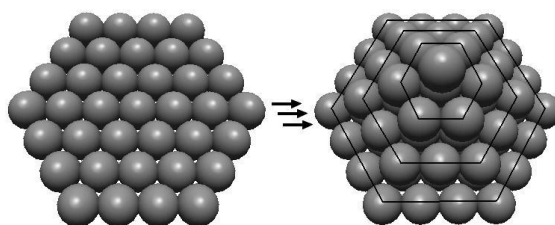


Для некоторого кластера X разность $b - a = 1$.

1. Найдите все возможные пары значений a и b . Ответ обоснуйте. (4 балла)
2. Опишите кластер X (найдите число ребер E , вершин V , а также число вершин каждого типа), для $F = 16$. (4 балла)

Всего – 8 баллов

Задача 2. Пирамида из шестиугольников



Некоторый нанокластер представляет собой шестиугольную пирамиду, сложенную, как изображено на рисунке, из касающихся друг друга n плотноупакованных слоев атомов (показан пример для $n = 4$).

1. Найдите число атомов в кластере для $n = 36$. (5 баллов)
2. Найдите размер пирамиды как радиус описанной вокруг кластера сферы, если атомы имеют радиус $a = 0,14$ нм. (3 балла)

Всего – 8 баллов

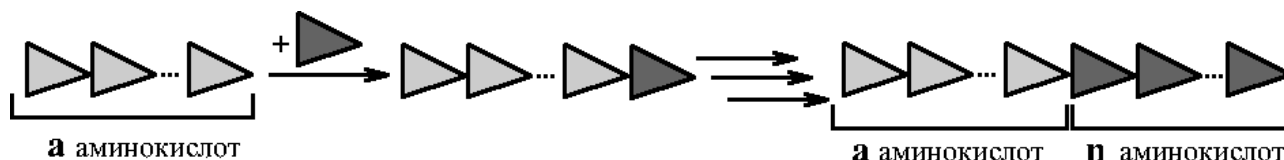
Задача 3. Наночастицы серебра

Для получения нового лекарства юный химик приготовил суспензию из наночастиц серебра в 1 литре воды. Затем он при помощи пипетки отобрал 1 мл полученной суспензии и поместил его в мерную колбу объемом 100 мл и долил в эту колбу воды до метки. Операцию разведения (отбор 1 мл и доведение до 100 мл) он повторил еще 7 раз, после

чего разлил итоговую суспензию по 100 одинаковым пробиркам. Проведя анализ, юный химик установил, что 28 пробирок не содержат ни одной серебряной наночастицы. Оцените радиус сферических наночастиц серебра r (нм), если известно, что величина исходной навески равна 84 мг, плотность серебра составляет $10,5 \text{ г/см}^3$. Считайте, что при всех операциях наночастицы распределяются по объему суспензии равномерно.

Всего – 8 баллов

Задача 4. Комбинаторная библиотека полипептидов



Для создания комбинаторной библиотеки¹ юный нанотехнолог Полуэкт взял $V = 7$ мл раствора полипептида A^2 , один литр которого содержит $c = 5$ микромоль полипептида. Затем он провел химическую реакцию со смесью аминокислот, в ходе которой к каждой молекуле полипептида случайным образом присоединялась одна из 20 аминокислот (см. схему). Найдите максимальный размер комбинаторной библиотеки, которую мог получить Полуэкт, если с полипептидом A он последовательно провел $n = 14$ таких реакций. Ответ обоснуйте.

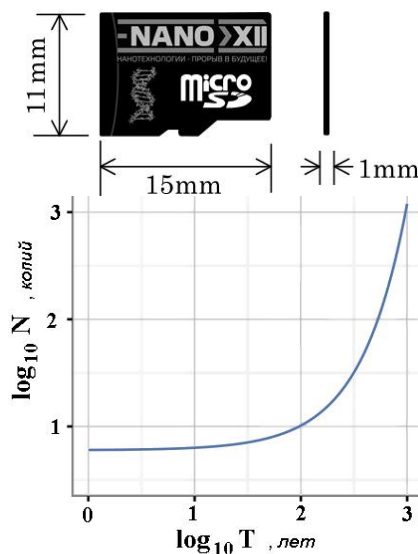
В одном моле полипептида содержится $6 \cdot 10^{23}$ молекул.

¹ Представляет собой в данном случае смесь большого числа различных пептидных последовательностей, среди которых можно искать новые лекарства.

² Представляет собой известную последовательность из $a = 11$ аминокислот.

Всего – 8 баллов

Задача 5. Биомолекулярная карта памяти



Биомолекула ДНК представляет собой цепочку, записанную 4 буквами нуклеотидов (ACGT), и несет в себе наследственную информацию. Она является перспективным нано-носителем для записи и длительного хранения данных.

1. Сколько информации (в Тбайт) можно хранить на носителе, представляющем собой параллелепипед с размерами, как у microSD карточки памяти (см. рисунок), заполненный молекулами ДНК, занимающими 30% от его объема? Известно, что $6 \cdot 10^{23}$ нуклеотидов в составе ДНК имеют массу в среднем 350 г. Считать плотность ДНК равной $1,1 \text{ г/см}^3$, цепочку нуклеотидов – одинарной, 1 Тбайт равным $1,1 \cdot 10^{12}$ байт. **(5 баллов)**
2. Молекула ДНК при хранении медленно разрушается, поэтому, чтобы через время T информацию можно было надежно считать, необходимо иметь N копий одинаковых цепочек (см. график $N(T)$). Сколько информации можно записать на носитель из п.1, если ее необходимо надежно хранить в течение $T = 1000$ лет? **(3 балла)**

Всего – 8 баллов

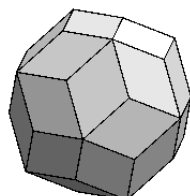


Математика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)

Простые задачи (вариант 4)

Задача 1. Многогранники из ромбов

Рассмотрим кластер, поверхность которого представляет собой F ромбов, а все вершины можно поделить на два типа, в которых сходятся a и b ребер, соответственно.

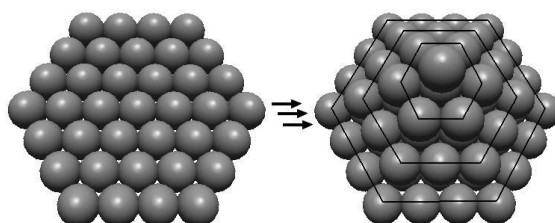


Для некоторого кластера X разность $b - a = 1$.

1. Найдите все возможные пары значений a и b . Ответ обоснуйте. (4 балла)
2. Опишите кластер X (найдите число ребер E , вершин V , а также число вершин каждого типа), для $F = 18$. (4 балла)

Всего – 8 баллов

Задача 2. Пирамида из шестиугольников



Некоторый нанокластер представляет собой шестиугольную пирамиду, сложенную, как изображено на рисунке, из касающихся друг друга n плотноупакованных слоев атомов (показан пример для $n = 4$).

1. Найдите число атомов в кластере для $n = 38$. (5 баллов)
2. Найдите размер пирамиды как радиус описанной вокруг кластера сферы, если атомы имеют радиус $a = 0,14$ нм. (3 балла)

Всего – 8 баллов

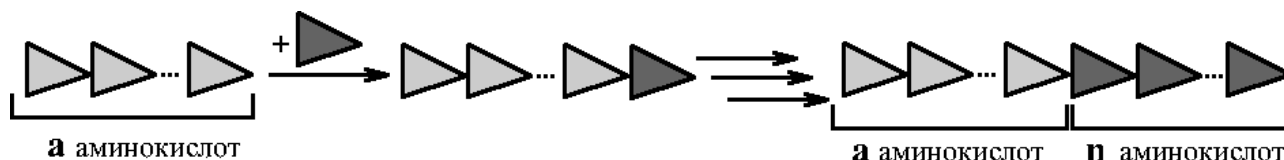
Задача 3. Наночастицы серебра

Для получения нового лекарства юный химик приготовил суспензию из наночастиц серебра в 1 литре воды. Затем он при помощи пипетки отобрал 1 мл полученной суспензии и поместил его в мерную колбу объемом 100 мл и долил в эту колбу воды до метки. Операцию разведения (отбор 1 мл и доведение до 100 мл) он повторил еще 7 раз, после

чего разлил итоговую суспензию по 100 одинаковым пробиркам. Проведя анализ, юный химик установил, что 70 пробирок не содержат ни одной серебряной наночастицы. Оцените радиус сферических наночастиц серебра r (нм), если известно, что величина исходной навески равна 84 мг, плотность серебра составляет $10,5 \text{ г/см}^3$. Считайте, что при всех операциях наночастицы распределяются по объему суспензии равномерно.

Всего – 8 баллов

Задача 4. Комбинаторная библиотека полипептидов



Для создания комбинаторной библиотеки¹ юный нанотехнолог Полуэкт взял $V = 20$ мл раствора полипептида A^2 , один литр которого содержит $c = 6$ микромоль полипептида. Затем он провел химическую реакцию со смесью аминокислот, в ходе которой к каждой молекуле полипептида случайным образом присоединялась одна из 20 аминокислот (см. схему). Найдите максимальный размер комбинаторной библиотеки, которую мог получить Полуэкт, если с полипептидом A он последовательно провел $n = 14$ таких реакций. Ответ обоснуйте.

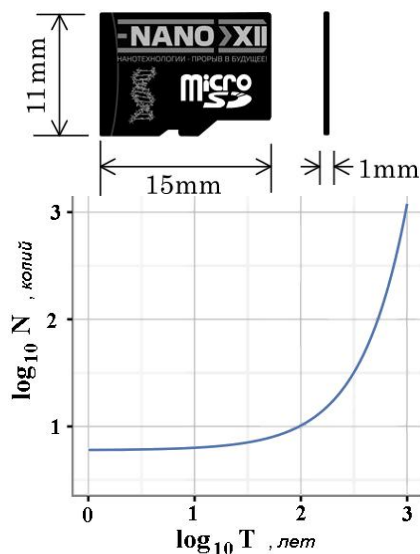
В одном моле полипептида содержится $6 \cdot 10^{23}$ молекул.

¹ Представляет собой в данном случае смесь большого числа различных пептидных последовательностей, среди которых можно искать новые лекарства.

² Представляет собой известную последовательность из $a = 9$ аминокислот.

Всего – 8 баллов

Задача 5. Биомолекулярная карта памяти



Биомолекула ДНК представляет собой цепочку, записанную 4 буквами нуклеотидов (ACGT), и несет в себе наследственную информацию. Она является перспективным нано-носителем для записи и длительного хранения данных.

1. Сколько информации (в Тбайт) можно хранить на носителе, представляющем собой параллелепипед с размерами, как у microSD карточки памяти (см. рисунок), заполненный молекулами ДНК, занимающими 30% от его объема? Известно, что $6 \cdot 10^{23}$ нуклеотидов в составе ДНК имеют массу в среднем 350 г. Считать плотность ДНК равной $1,1 \text{ г/см}^3$, цепочку нуклеотидов – одинарной, 1 Тбайт равным $1,1 \cdot 10^{12}$ байт. **(5 баллов)**
2. Молекула ДНК при хранении медленно разрушается, поэтому, чтобы через время T информацию можно было надежно считать, необходимо иметь N копий одинаковых цепочек (см. график $N(T)$). Сколько информации можно записать на носитель из п.1, если ее необходимо надежно хранить в течение $T = 100$ лет? **(3 балла)**

Всего – 8 баллов

Задача 6. Три нанотрубки углеродного тора

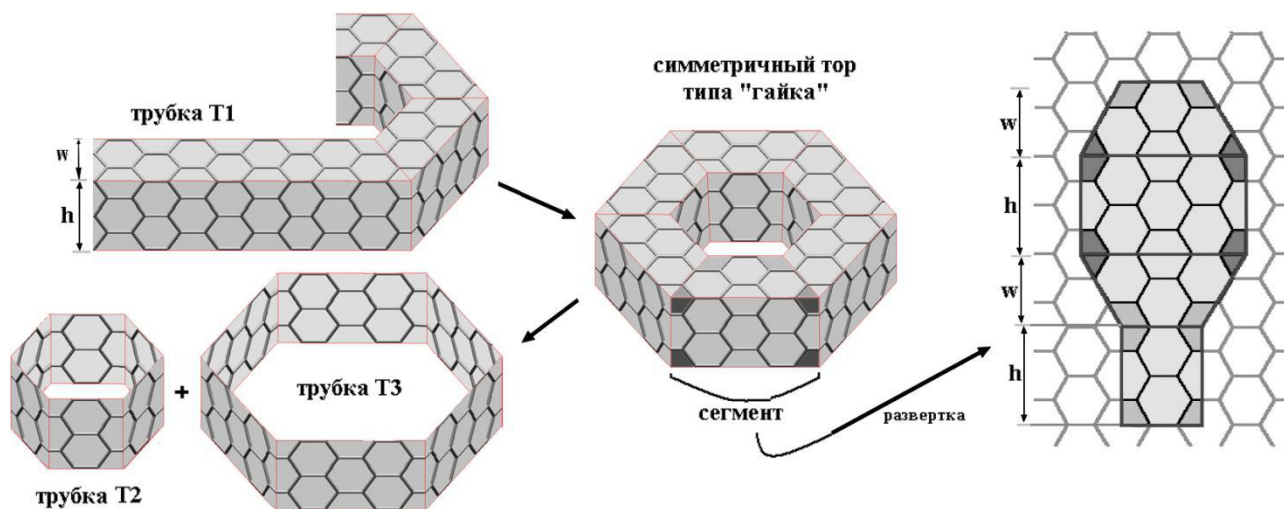
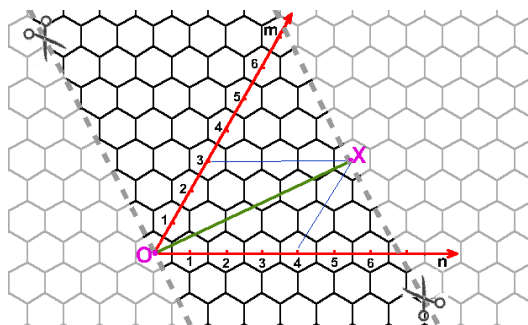


Рис.1 а) Симметричный углеродный нанотор типа «гайка», состоящий из шести одинаковых сегментов, может быть получен из углеродной нанотрубки T1, которой придали прямоугольную форму с отношением высоты к ширине $z = h/w$. При этом внутренняя и внешняя поверхности такого нанотора также представляют собой фрагменты нанотрубок T2 и T3, соответственно.

б) Выкройка сегмента симметричного нанотора на листе графена может быть представлена в виде двух прямоугольников (фрагментов нанотрубок T2 и T3), соединенных одинаковыми трапециями, боковые стороны которых соединяют центры семи- и пятиугольных циклов.

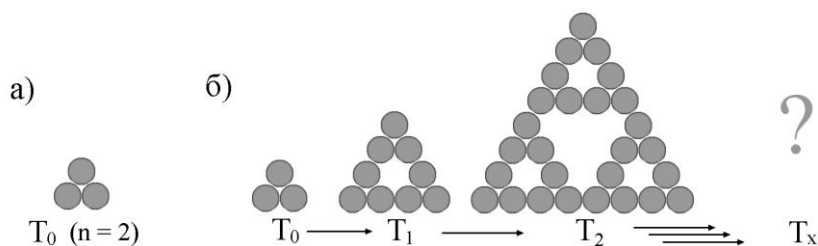
- Для нанотора (рис. 1) определите индексы хиральности нанотрубок T1 (n_1, m_1), T2 (n_2, m_2) и T3 (n_3, m_3), а также z . **(3 балла)**
- Оцените размер этого нанотора как диаметр цилиндра, описанного вокруг боковой поверхности. Атомы углерода считать точечными, длину связи C–C равной $a = 0,14$ нм. **(1 балл)**
- Для нанотрубки T1 (11,0) и $z = 2/9$ найдите:
 - минимальные значения (n_2, m_2), (n_3, m_3); **(3 балла)**
 - общий вид (n_2, m_2), (n_3, m_3) для получающейся серии торов; **(1 балл)**
 - число атомов углерода в наноторе из п.3а. **(3 балла)**
- Из нанотрубки T1 ($x_1, 0$) и параметром z был получен самый маленький нанотор. Выведите в общем виде зависимости индексов хиральности (n_2, m_2) и (n_3, m_3) от x_1 и z . **(5 баллов)**
- Чему должно быть кратно x_1 у наноторов с $z = 1$? Ответ обоснуйте. **(4 балла)**



*Рис.2. Почти любая пара шестиугольников на графеновом листе может задавать углеродную нанотрубку. Зафиксируем центр первого шестиугольника в точке **O**. Расположение второго шестиугольника (**X**) относительно первого можно задать парой натуральных чисел **(n,m)** являющихся его координатами в «скошенной» системе координат и называющихся индексами хиральности нанотрубки. Линии разреза развертки перпендикулярны **OX**.
На рисунке приведен пример развертки нанотрубки (4,3).*

Всего – 20 баллов

Задача 7. Треугольник Серпинского



Рассмотрим плоский треугольный нанокластер T_0 , ребро которого содержит n атомов золота (на рис. а показан пример для $n = 2$). Из трех таких нанокластеров можно собрать (как показано на рис. б) новый треугольный нанокластер – T_1 . Повторив для T_1 процедуру складывания трех треугольников, получаем треугольный нанокластер T_2 , из T_2 получаем T_3 , и так далее вплоть до фрактального треугольника Серпинского T_x .

1. Сколько атомов **N** будет содержаться в нанокластере T_x в зависимости от **n** и **x**? **(3 балла)**
2. Установите **n** и **x** для золотого нанокластера **A** с $N = 10206$. Опишите оптимальную стратегию их поиска. **(5 баллов)**
3. Рассчитайте размер нанокластера **A** (как диаметр описанной вокруг треугольника окружности), если радиус атома золота равен $r = 0,144$ нм. **(3 балла)**
4. Сколько атомов золота надо добавить в нанокластер **A**, чтобы получить полностью заполненный плоский треугольный нанокластер **B** того же размера? **(3 балла)**

Изомерными называются нанокластеры, имеющие одинаковое число атомов **N**, но разные **n** и **x**: $N(T_{x_1}(n_1)) = N(T_{x_2}(n_2))$.

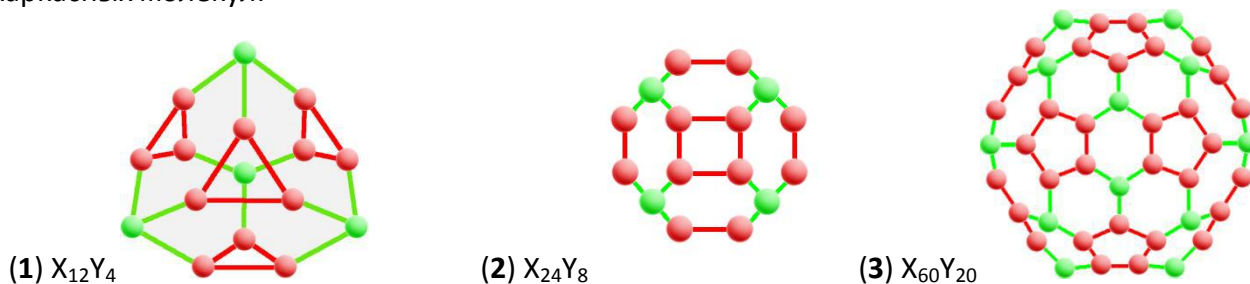
5. Рассчитайте **N** и найдите **n₂** и **x₂**, отвечающие изомерам нанокластеров:

- а) T₂ (5) (**2 балла**);
б) T₄ (10) (**4 балла**).

Всего – 20 баллов

Задача 8. Геометрия каркасных молекул

Методом самосборки из **k**-валентных **k**-угольников (3, 4, 5-угольных фрагментов **X**) и трехвалентного фрагмента **Y** можно получить всего три типа высокосимметричных каркасных молекул:



1. Рассчитайте размеры молекул **1** и **2** как радиусы описанных сфер. (**5 баллов**)
2. Рассчитайте радиусы вписанных в молекулы **1** и **2** сфер. (**5 баллов**)
3. Примерно оцените размер молекулы **3**. (**5 баллов**)
4. При сборке каркасов в присутствии лекарства такие молекулы включают его во внутреннюю полость. Рассчитайте соотношение **z(1):z(2):z(3)**, где **z** – отношение массы лекарства к массе оболочки. (**5 баллов**)

Считать, что:

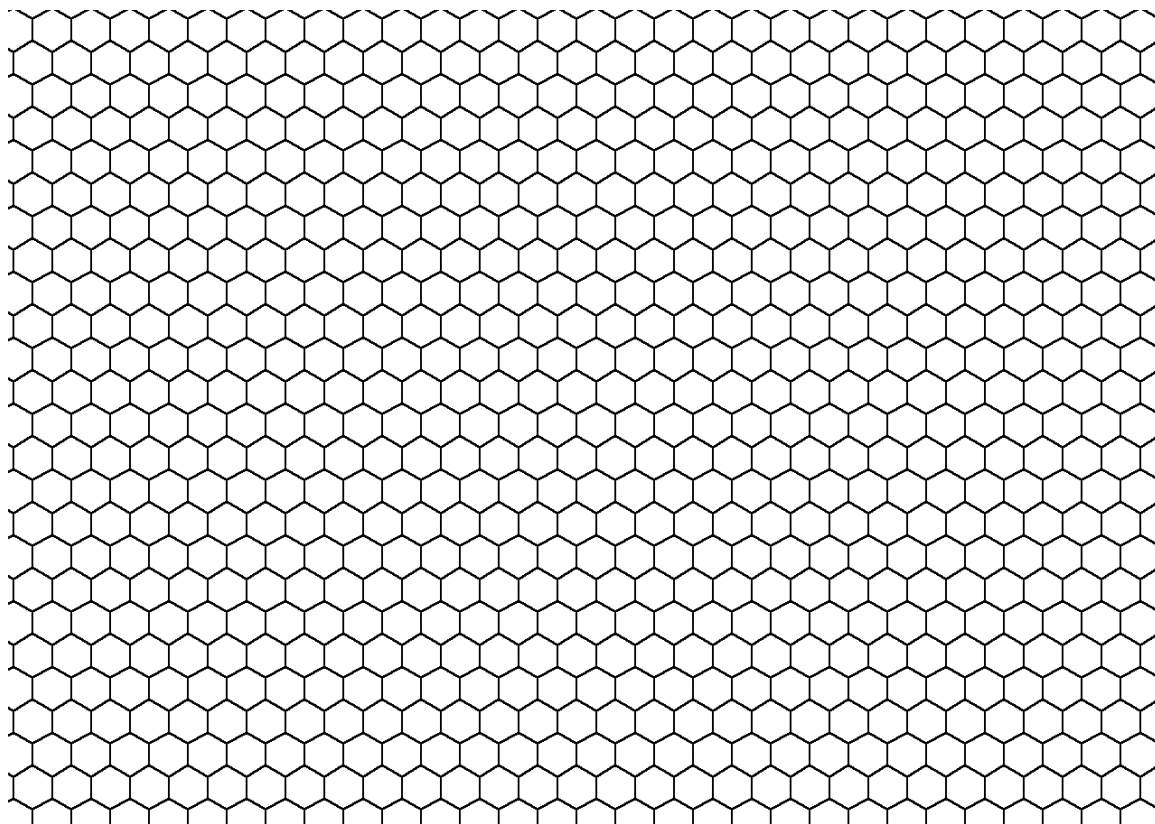
- расстояния X–X и X–Y равны **a** = 1 нм;
- $\angle XYX = 90^\circ$;
- для молекул **1** и **2** описанная сфера касается атомов **Y**, а вписанная – центров шестиугольных граней;
- для молекул **1** и **2** радиус внутренней полости равен полусумме радиусов вписанной и описанной сфер;
- молекулы лекарства занимают весь объем внутренней полости без промежутков.

Вспомогательная информация:

- Теорема Эйлера для выпуклого многогранника: **V – E + F = 2**, где **V**, **E**, **F** – это, соответственно, число вершин, рёбер и граней многогранника.
- $\sqrt{2} \approx 1,4$, $\sqrt{3} \approx 1,7$, $\sqrt{5} \approx 2,2$, $\sqrt{7} \approx 2,7$, $\sqrt{11} \approx 3,3$
- $\sin 36^\circ \approx 0,59$, $\cos 36^\circ \approx 0,81$, $\tan 54^\circ \approx 1,4$
- При расчетах **π** считать равным 3,1.

- Формула суммы квадратов последовательности натуральных чисел 1, 2, ..., n:

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



Всего – 20 баллов

Математика для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Решения. Простые задачи (вариант 3)

Решение задачи 1. Многогранники из ромбов

1. В состоящем из ромбов многограннике число ребер составляет $E = 4 \cdot F / 2 = 2F$ (каждой грани принадлежит четыре ребра, но каждое ребро принадлежит двум граням).

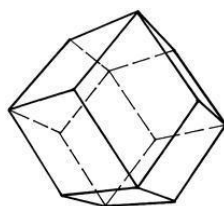
Воспользовавшись теоремой Эйлера для выпуклых многогранников, выразим общее число вершин: $V = 2 - F + E = 2 - F + 2F = 2 + F$.

Поскольку каждое ребро соединяет две вершины, то среднее число ребер, приходящееся на одну вершину, будет $2E/V = 4F/V = 4F/(2 + F) = 4/(1 + 2/F)$.

Полученное среднее значение заведомо больше a (поскольку по условию $b - a = 1$, следовательно, $a < b$), следовательно, $a < 4/(1 + 2/F)$.

С другой стороны, для любого натурального F выражение $4/(1 + 2/F) < 4$.

Следовательно, $a < 4$. Поскольку в любой вершине многогранника сходятся более двух ребер, единственное решение $a = 3$ и $b = 4$. Пример такого многогранника показан на рисунке.



2. Обозначим x число вершин, в которых сходятся $a = 3$ ребра и y число вершин, в которых сходятся $b = 4$ ребра. Составим систему уравнений:

$$\begin{aligned} ax/2 + by/2 = 3x/2 + 4y/2 = E = 2F = \underline{32} \text{ (общее число ребер)} \\ \text{и } x + y = V = 2 + F = \underline{18} \text{ (общее число вершин),} \end{aligned}$$

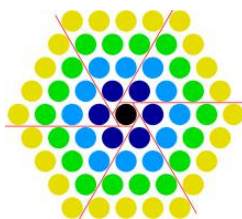
Решая, получаем $x = 4(2 + F) - 4F = \underline{8}$ и $y = 4F - 3(2 + F) = F - 6 = \underline{10}$.

Решение задачи 2. Пирамида из шестиугольников

1. Число атомов в плоском шестиугольном кластере со стороной n атомов металла можно представить как сумму атомов металла в шести треугольных кластерах со стороной $n - 1$ атомов (число атомов в треугольнике с ребром m представляет собой сумму ряда натуральных чисел от 1 до m : $T_m = \sum_{k=1}^m k = 0,5m(m + 1)$) и одного центрального атома: $N_n = 6T_{n-1} + 1 = 3(n - 1)n + 1 = 3n^2 - 3n + 1$.

Тогда в пирамиде всего

$$P_n = \sum_{m=1}^n (3m^2 - 3m + 1) = 3 \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} - 3 \frac{n(n+1)}{2} + n = n^3 = 46656 \text{ атомов.}$$



2. Рассмотрим шестиугольную пирамиду, вершины которой лежат в *центрах* атомов образующих вершины нанокластера.
 - 1) Радиус окружности, описанной вокруг шестиугольного основания пирамиды, равен сумме $n - 1$ расстояний между центрами атомов $R_6 = 2a(n - 1) = 9,8 \text{ нм}$.
 - 2) По условию, атомы металла из соседних слоев касаются друг друга, значит, высота пирамиды также равна сумме $n - 1$ расстояний между центрами атомов $H = 2a(n - 1) = 9,8 \text{ нм}$.
 - 3) Поскольку высота этой пирамиды равна радиусу окружности, описанной вокруг ее основания, то радиус сферы, описанной вокруг пирамиды, равен радиусу окружности, описанной вокруг основания: $R = H = R_6 = 2a(n - 1) = 9,8 \text{ нм}$.
 - 4) Радиус сферы R' , описанной вокруг кластера, будет больше R на радиус атома, значит: $R' = R + a = 2a(n - 1) + a = a(2n - 1) = 9,94 \text{ нм}$

Решение задачи 3. Наночастицы серебра

После последнего шага разбавления в суспензии содержится $n_1 = 100 - 28 = 72$ наночастицы. Таким образом, концентрация на этом шаге равна $c_x = n_1/100 = 72/100 = 0,72$ наночастиц/мл. Каждый из x шагов разбавления уменьшает концентрацию наночастиц в суспензии в 100 раз. Тогда концентрация после первого шага равна $c_1 = c_x \cdot 10^{2x} = 0,72 \cdot 10^{2 \cdot (7+1)} = 72 \cdot 10^{14}$ наночастиц/мл.

Всего в исходной суспензии было $n_2 = V_s c_1 = 1000 \cdot 72 \cdot 10^{14} = 72 \cdot 10^{17}$ наночастиц. Масса одной сферической частицы $m_1 = V_1 \rho = 4\pi r^3 \rho / 3 = 4 \cdot 3,14 r^3 \cdot 10,5 / 3 = 43,4 r^3 \text{ г}$. Их общая масса $m = m_1 n_2 = 43,4 r^3 \cdot 72 \cdot 10^{17} = 3,12 \cdot 10^{20} r^3 \text{ г}$.

Тогда радиус одной частицы составляет

$$r = \sqrt[3]{\frac{84 \cdot 10^{-3}}{3,12 \cdot 10^{20}}} = \sqrt[3]{269 \cdot 10^{-8}} \approx 6,5 \cdot 10^{-8} \text{ см или } \underline{0,65 \text{ нм}}.$$

Решение задачи 4. Комбинаторная библиотека полипептидов

После первой реакции можно получить максимум 20 различных полипептидов, после второй реакции, каждый из этих полученных 20 полипептидов может образовать максимум 20 новых полипептидов, ..., после n -ой стадии таким способом можно получить не более 20^n полипептидов.

$$20^{14} = 2^{14} \cdot 10^{14} = 2^4 \cdot 2^{10} \cdot 10^{14} \approx 2^4 \cdot 10^3 \cdot 10^{14} = 1,6 \cdot 10^{18}$$

Но с другой стороны, в 7 мл 5 микромолярного раствора исходного полипептида содержатся

$$10^{-6} \cdot c \cdot 10^{-3} \cdot V \cdot 6 \cdot 10^{23} = 6cV \cdot 10^{14} = 6 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 10^{14} = 210 \cdot 10^{14} = 2,1 \cdot 10^{16} \text{ молекул.}$$

Поскольку количество молекул меньше максимально возможного количества вариантов полипептида, полученная комбинаторная библиотека имеет размер не более $2,1 \cdot 10^{16}$ молекул.

Решение задачи 5. Биомолекулярная карта памяти

1. Объем контейнера $V = 1,1 \cdot 1,5 \cdot 0,1 = 0,165 \text{ см}^3$.
 Масса ДНК $m = a/100 \cdot V \cdot \rho = 30 \cdot 0,165 \cdot 1,1 = 0,5445 \text{ г}$.
 Число нуклеотидов $N_o = \frac{0,165 \cdot 1,1 \cdot 30}{100 \cdot 350} 6 \cdot 10^{23} = 9,33 \cdot 10^{19}$.

Поскольку каждый нуклеотид кодирует 2 бита информации (четырем буквам нуклеотидов можно сопоставить четыре комбинации двух бит, например, A=00, C=01, G=10, T=11), то общий объем закодированной информации равен $I = 2N_o$ или (не забывая, что в одном байте 8 бит) $2 \cdot 9,33 \cdot 10^{19} / 8 / 1,1 \cdot 10^{12} \approx 2,12 \cdot 10^7 \text{ Тбайт}$.

2. $\log_{10} 1000 = 3$. Точке 3 по оси абсцисс соответствует точка 3 по оси ординат, следовательно, для надежного хранения в течение $T = 1000$ лет необходимо иметь $N = 1000$ копий информации.

Следовательно, можно хранить $I_{T=1000} = I/N = 2,12 \cdot 10^7 / 1000 = 2,12 \cdot 10^4 \text{ Тбайт}$.



Математика для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Решения. Более сложные задачи

Решение задачи 6. Три нанотрубки углеродного тора

1. Нанотрубки:

- высота развертки сегмента (семь расстояний между центрами шестиугольников) равна индексу хиральности нанотрубки T1 – (7,0) (обращаем внимание, что один из индексов равен нулю);
- ширина малого прямоугольника развертки сегмента (характеризуется индексами хиральности (1,1)) равна 1/6 развертки нанотрубки T2, то есть, эта нанотрубка задается индексами (6,6);
- ширина большого прямоугольника развертки сегмента (характеризуется индексами хиральности (2,2)) равна 1/6 развертки нанотрубки T3, то есть, эта нанотрубка задается индексами (12,12).

Поскольку расстояние между центрами шестиугольников составляет $\sqrt{3}a$, то $h = 2\sqrt{3}a$ и $w = 1,5\sqrt{3}a$, тогда $z = 4/3$.

2. Диаметр цилиндра, описанного вокруг шестиугольной «гайки», равен диаметру окружности, описанной вокруг правильного шестиугольника, вершины которого лежат в центрах пятиугольных циклов, а значит, большой диагонали такого шестиугольника, то есть, удвоенному большому основанию трапеции:

$$D = 2 \cdot 6a = 1,68 \text{ нм.}$$

3.

а) минимальные значения (n_2, m_2) , (n_3, m_3) ; (3 балла)

Индекс n для нанотрубки T1, согласно выкройке сегмента, можно связать с другими параметрами следующим образом:

$$a\sqrt{3}n = 2h + 2w = 2wz + 2w = 2w(z + 1).$$

То есть, $11\sqrt{3}a = 2w(1 + 2/9)$ и $w = \frac{11\sqrt{3}a}{2 \cdot 11/9} = 4,5\sqrt{3}a$.

При этом боковая сторона трапеции составляет

$$l = w / \cos 30^\circ = 2w / \sqrt{3} = 2 \cdot 4,5\sqrt{3}a / \sqrt{3} = 9a.$$

Для нанотрубки T1 (11,0) минимальной внутренней нанотрубкой будет T2 (6,6). То есть, малая сторона трапеции равна $l_1 = \sqrt{3 \cdot 6^2} / 6 \cdot \sqrt{3}a = 3a$.

Тогда большая сторона трапеции составляет

$$l_2 = 3a + 2 \cdot 9a \cos 60^\circ = 3a + 18a \cdot 0,5 = 12a.$$

В тоже время, длина отрезка, задающего нанотрубку Т3, равна

$$\sqrt{n_3^2 + n_3 m_3 + m_3^2} \sqrt{3a} = 6l_2.$$

Поскольку $n_3 = m_3$, то $\sqrt{3n_3^2} \sqrt{3a} = 6l_2$,

$$\begin{aligned} \sqrt{3n_3^2} \sqrt{3a} &= 6l_2, \\ n_3 &= 2l_2/a = 2 \cdot 12a/a = 24, \end{aligned}$$

что отвечает минимальной нанотрубке Т3 (24,24).

б) общий вид (n_2, m_2) , (n_3, m_3) для получающейся серии торов; **(1 балл)**

Ширину малого прямоугольника сегмента можно увеличить только с фиксированным шагом $3a$ ($l_1 = 3a(1+k)$, $k \in \mathbb{N}_0$), что приведет к увеличению ширины большого прямоугольника $l_2 = 3a(1+k) + 9a = 3a(4+k)$.

Таким образом, получаем Т2 ($6(1+k), 6(1+k)$) и Т3 ($6(4+k), 6(4+k)$), $k \in \mathbb{N}_0$.

в) число атомов углерода в наноторе из п.3а. **(3 балла)**

Общая площадь поверхности нанотора – это сумма площадей секторов, площадь которых, в свою очередь, представляет собой сумму площадей двух прямоугольников и двух трапеций:

$$\begin{aligned} S &= 6(hl_1 + 0,5(l_1 + l_2)w) + 6(hl_2 + 0,5(l_1 + l_2)w) = 6(l_1 + l_2)(h + w) = 6(l_1 + l_2)w(z + 1) \\ S &= 6(3a + 12a)4,5\sqrt{3}a \cdot 11/9 = 495\sqrt{3}a^2 \end{aligned}$$

При этом на один атом углерода приходится площадь (как соотношение площади правильного шестиугольника и 6 атомов, каждый из которых принадлежит трем

шестиугольникам): $S_3 = \frac{6 \cdot 0,5a^2 \sin 60^\circ}{6/3} = \frac{3\sqrt{3}}{4}a^2$.

Тогда общее число атомов в торе $\frac{S}{S_3} = \frac{495\sqrt{3}a^2 \cdot 4}{3\sqrt{3}a^2} = 660$.

4.

- 1) Индекс x_1 для нанотрубки Т1, согласно выкройке сегмента, можно связать с другими параметрами следующим образом: $a\sqrt{3}x_1 = 2h + 2w = 2wz + 2w = 2w(z + 1)$. То есть, $w = x_1\sqrt{3}a/(2(z + 1))$. При этом боковая сторона трапеции составляет $l = 2w/\sqrt{3} = x_1a/(z + 1)$.
- 2) Заметим, что нанотрубки Т2 и Т3 являются зубчатыми, причем, поскольку тор делится на шесть равных сегментов, их индексы хиральности можно записать как Т2 ($6x_2, 6x_2$) и Т3 ($6x_3, 6x_3$).

3) То есть, малая сторона трапеции равна $l_1 = \sqrt{3 \cdot 6^2 x_2^2} / 6 \cdot \sqrt{3}a = 3x_2 a$.

4) Тогда большая сторона составляет

$$l_2 = l_1 + 2l \cos 60^\circ = 3x_2 a + 2 \frac{x_1 a}{(z+1)} \cdot 0,5 = \left(3x_2 + \frac{x_1}{(z+1)} \right) a.$$

5) В тоже время, длина отрезка, задающего нанотрубку ТЗ, равна

$$\sqrt{(6x_3)^2 + 6x_3 6x_3 + (6x_3)^2} \sqrt{3}a = 6l_2.$$

$$\sqrt{3(6x_3)^2} \sqrt{3}a = 6l_2,$$

$$x_3 = \frac{l_2}{3a} = \left(3x_2 + \frac{x_1}{(z+1)} \right) \frac{a}{3a} = x_2 + \frac{x_1}{3(z+1)}.$$

6) Для нанотрубки Т1 ($x_1, 0$) минимальной внутренней нанотрубкой будет Т2 (6,6) ($x_2 = 1$). То есть, при сворачивании нанотрубки заданным z мы получаем минимальный тор с нанотрубкой ТЗ $(6 + \frac{2x_1}{(z+1)}, 6 + \frac{2x_1}{(z+1)})$.

5. Для $z = 1$ выполняется равенство $x_1 = \frac{4w}{a\sqrt{3}} = \frac{4h}{a\sqrt{3}}$.

Для рассматриваемого типа развертки сегмента боковая сторона трапеции соединяет центры семи- и пятиугольников, соединенных вершинами через ребро. Увеличение такой трапеции возможно только путем добавления к ее боковой стороне пары «большая диагональ шестиугольника-ребро», то есть, $3a$. Значит, длину боковой стороны трапеции можно записать как $l = w / \cos 30^\circ = 2w / \sqrt{3} = 3ba$, где $b \in N_0$, и, следовательно, $w = 1,5ba\sqrt{3}$. В то же время, необходимым условием является $\frac{h}{a\sqrt{3}} \in N_0$ (вершины прямоугольников лежат в центрах пяти- и семиугольников), что при $w = h$ приводит к условию $b = 2c$, $c \in N_0$.

Подставляя полученные условия, получаем $x_1 = 4 \cdot 3ca\sqrt{3} / (a\sqrt{3}) = 12c$.

То есть, параметр начальной трубки должен быть кратен 12.

Решение задачи 7. Треугольник Серпинского

1. В кластере T_0 содержится $n(n+1)/2$ атомов. Поскольку на каждом шаге получения треугольника Серпинского количество атомов утраивается, то число атомов в кластере T_x в 3^x раз больше числа атомов в кластере T_0 : $N = 3^x \cdot n(n+1)/2$.
2. Чтобы сформировать оптимальную стратегию поиска n и x , внимательно посмотрим на полученную зависимость $N(n, x)$. Очевидно, что 3^x , n и $(n+1)$ – это делители $2N$. Следовательно, необходимо разложить $2N$ на простые множители и среди множества их произведений искать два последовательных натуральных числа. При этом

очевидно, что в n и $n + 1$ обязаны войти все множители $2N$, отличные от троек, поэтому поиск пары последовательных чисел необходимо начинать с перебора величин, кратных этим множителям.

$$2N = 2 \cdot 10206 = 2 \cdot 3 \cdot 3402 = 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 1134 = 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 378 = 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 126 = 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 42 = 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 14 = 3^6 \cdot 2^2 \cdot 7$$

Проверим, являются ли делителями числа $2N$ произведения пар последовательных чисел, одно из которых кратно 7:

6·7 не является (остается 2)	13·14 не является (нет 13)	20·21 не является (нет 5)	27·28 является, <u>$n = 27, x = 3$</u>	41·42 не является (нет 41)	125·126 не является (нет 5)
7·8 не является (есть только 2^2)	14·15 не является (нет 5)	21·22 не является (нет 11)	28·29 не является (нет 29)	42·43 не является (нет 43)	126·127 не является (нет 127)

Также можно проводить поиск, последовательно деля $2N$ на 3 и каждый раз решая полученное квадратное уравнение относительно n , при этом, если квадратное уравнение будет иметь решение в натуральных числах – то это и есть решение задачи. Однако такой алгоритм является более трудоемким, так как натуральные корни квадратного уравнения заведомо являются делителями $2N$.

3. Сторона такого плоского нанокластера равна $L = 2^x n = 2^3 \cdot 27 = 216$ атомов золота. Размер треугольного нанокластера с длиной ребра L атомов равен диаметру окружности, описанной вокруг такого нанокластера:

$$D = 2R = 2 \cdot 2(L-1)r/\sqrt{3} + 2r = (4L/\sqrt{3} - 4/\sqrt{3} + 2)r$$

$$D = (4 \cdot (216-1)/\sqrt{3} + 2) \cdot 0,144 = 73,1 \text{ нм}$$

(нахождение диаметра окружности, описанной вокруг треугольника, вершины которого лежат в центрах атомов, являющихся вершинами нанокластера **A**, и введение поправки на r , учитывающей отличие от модельного расчета).

4. Число атомов золота в нанокластере **B** составляет $N_0 = L(L+1)/2 = 0,5 \cdot 216 \cdot 217 = 23436$. Таким образом, чтобы получить нанокластер **B**, в нанокластер **A** надо добавить

$$N_2 = N_0 - N = 23436 - 10206 = 13230 \text{ атомов золота.}$$

5.

а) $2N(T_2(5)) = 5 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 3 = \underline{5 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3} \cdot 3 = 10 \cdot 9 \cdot 3 = 2N(T_1(9))$ ($N = 135, n_2 = 9, x_2 = 1$).

б) $2N(T_4(10)) = 10 \cdot 11 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 = 2 \cdot 5 \cdot 11 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 = 2 \cdot 4455$.

Проверим пары последовательных чисел, одно из которых кратно 11:

21·22 – нет 7	32·33 – нет 2^4	43·44 – нет 43	<u>54·55 – подходит</u>	65·66 – нет 13
22·23 – нет 23	33·34 – нет 17	44·45 – нет 2^2	55·56 – нет 7	66·67 – нет 67

$$54 \cdot 55 = 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 11$$

$$4455 \cdot 2 / 54 / 55 = 3$$

Таким образом, $n_2 = 54, x_2 = 1$ и $N = 4455$.

Примечание: решения участников, считавших, что кластер T_0 является полым, также оценивались:

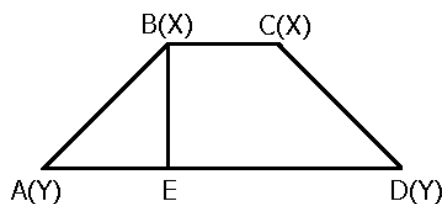
1. $N = 3(n-1) \cdot 3^x$ атомов.
2. $n = 15, x = 5$ (а также $n = 43, x = 4$; $n = 127, x = 3$; $n = 379, x = 2$; $n = 1135, x = 1$).
3. $L = 2^5 \cdot 15 = 480, D = 162,5$ нм.
4. $N_0 = 0,5 \cdot 480 \cdot 481 = 115440, N_2 = 105234$.
5. а) $N = 108, n_2 = 13, x_2 = 1$.
б) $N = 3^7 = 2187, n_2 = 4, x_2 = 5; n_3 = 28, x_3 = 3; n_4 = 82, x_4 = 2; n_5 = 243, x_5 = 1$.

Решение задачи 8. Геометрия каркасных молекул

1.

- 1) Для **1** атомы **Y** образуют тетраэдр (4 симметричных вершины, в каждой из которых сходится по три ребра), для **2** – куб (8 вершин, в каждой из которых сходится по три ребра).

Радиусы описанных сфер для таких многогранников (как несложно вывести) равны $R_{\text{тетр}} = \sqrt{6}A/4$ и $R_{\text{куб}} = A\sqrt{3}/2$, соответственно. **A** – ребро Платонова тела, равное расстоянию YY в шестиугольнике X_4Y_2 (см. рис).



- 2) $AB = BC = CD = a$,
 $AE = a \cdot \cos \angle EAB = a \cdot \cos(90^\circ/2) = a\sqrt{2}/2$,
 $A = AD = BC + 2AE = a + 2a\sqrt{2}/2 = a(1 + \sqrt{2})$.
- 3) $R(1) = R_{\text{тетр}} = \sqrt{6}(1 + \sqrt{2})a/4 \approx 1,43a = \underline{1,43 \text{ нм}}$,
 $R(2) = R_{\text{куб}} = \sqrt{3}(1 + \sqrt{2})a/2 \approx 2,04a = \underline{2,04 \text{ нм}}$.

2.

- 1) Для **1** центры шестиугольных граней образуют октаэдр (6 граней X_4Y_2) со стороной $B = A/2$ (вершины этого октаэдра лежат в центрах ребер тетраэдра Y_4 , его ребра делят треугольную грань тетраэдра на четыре равных треугольника).

Следовательно:

$$r(1) = R_{\text{окт}} = \sqrt{2}B/2 = \sqrt{2}A/4 = \sqrt{2}(1 + \sqrt{2})a/4 \approx 0,84a = \underline{0,84 \text{ нм}}.$$

- 2) Для **2** центры шестиугольных граней образуют кубооктаэдр (12 граней X_4Y_2) со стороной $B = \sqrt{2}A/2$ (вершины этого кубооктаэдра лежат в центрах ребер куба Y_8 , его ребра отсекают от граней куба равные прямоугольные треугольники). Радиус описанной сферы равен

$$r(2) = R_{\text{куб}} = B = \sqrt{2}A/2 = \sqrt{2}(1 + \sqrt{2})a/2 \approx 1,68a = \underline{1,68 \text{ нм}}.$$

3.

- 1) Каркас **3** состоит из 12 пятиугольников X_5 и 30 шестиугольников X_4Y_2 .
- 2) Площадь правильного пятиугольника составляет

$$S_5 = 5 \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot \frac{a}{2} \operatorname{tg} 54^\circ = \frac{5a^2}{4} 1,4 = 1,75a^2.$$

- 3) Площадь шестиугольника X_4Y_2 равна удвоенной площади трапеции X_2Y_2 :

$$S_6 = 2 \cdot 0,5 \cdot h \cdot (a + A) = a \sin 45^\circ (a + (1 + \sqrt{2})a) = a^2 \frac{\sqrt{2}}{2} (2 + \sqrt{2}) \approx 2,38a^2.$$

- 4) Общая площадь составляет $12S_5 + 30S_6 = 12 \cdot 1,75a^2 + 30 \cdot 2,38a^2 = 92,4a^2$, что отвечает сфере радиусом $R' = \sqrt{\frac{S}{4\pi}} = \sqrt{\frac{92,4}{4\pi}} a \approx \sqrt{7,45} a \approx \underline{2,7a}$.

4.

- 1) Обозначим массу фрагмента X_3Y как m_1 , тогда $m(X_{12}Y_4) = 4m_1$, $m(X_{24}Y_8) = 8m_1$, $m(X_{60}Y_{20}) = 20m_1$.
- 2) Пусть плотность лекарства равна ρ , тогда его масса составляет $m' = V\rho = 4/3 \cdot \pi R'^3 \rho$, где для каждого из каркасов соответственно R' :

$$R'(1) = 0,5(R(1) + r(1)) = 0,5(1,43 + 0,84) = \underline{1,14 \text{ нм}},$$

$$R'(2) = 0,5(R(2) + r(2)) = 0,5(2,04 + 1,68) = \underline{1,86 \text{ нм}}.$$

- 3) Запишем $z = \frac{m'}{m} = \frac{4/3 \cdot \pi R'^3 \rho}{m_{(X_3Y)_n}}$.

$$\text{Тогда } z_1 : z_2 : z_3 = \frac{4/3 \cdot \pi R'(1)^3 \rho}{4m_1} : \frac{4/3 \cdot \pi R'(2)^3 \rho}{8m_1} : \frac{4/3 \cdot \pi R'(3)^3 \rho}{20m_1} = \frac{R'(1)^3}{4} : \frac{R'(2)^3}{8} : \frac{R'(3)^3}{20}$$

$$z_1 : z_2 : z_3 = 10R'(1)^3 : 5R'(2)^3 : 2R'(3)^3$$

$$z_1 : z_2 : z_3 = 10(1,14)^3 : 5(1,86)^3 : 2(2,7)^3$$

$$z_1 : z_2 : z_3 \approx 14,82 : 32,17 : 39,37$$

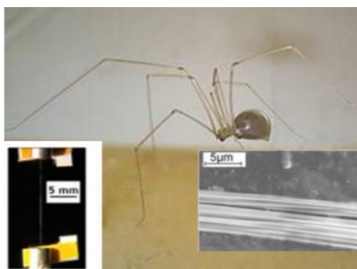
$$z_1 : z_2 : z_3 \approx 4:9:11$$



Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Простые задачи (вариант 1)

Задача 1. Сверхпрочная паутина

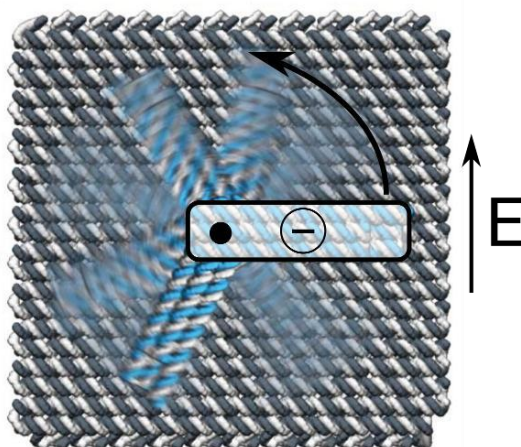
В результате эксперимента с пауками, спрыснутыми содержащей углеродные нанотрубки водой, учеными была получена уникальная сверхпрочная паутина с модулем Юнга в 15 раз большим, чем у обычной паутины.



1. На сколько миллиметров будут различаться удлинение одной нити такой усиленной углеродными нанотрубками паутины Δl_{CNT} по сравнению с удлинением нити обычной паутины, равно $\Delta l_o = 3$ мм, если к этим нитям прикладывать одну и ту же растягивающую силу? **(3 балла)** Что при этом будет больше: Δl_{CNT} или Δl_o ? **(1 балл)** При расчетах полагать, что исходная длина обеих нитей была одинаковой, а их диаметр был постоянным и составлял 7 мкм.
2. Какова максимальная масса груза, который сможет выдержать исследуемая усиленная углеродными нанотрубками нить, если ее предел прочности составляет $\sigma_0 = 2$ ГПа? **(4 балла)**

Всего – 8 баллов

Задача 2. Ротор из ДНК

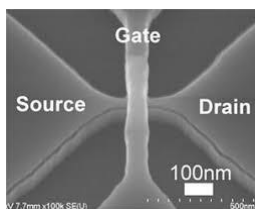


Ученые из Мюнхена изобрели новый тип наномотора: его ротор состоит из молекулы ДНК, закрепленной на полимерной подложке. Для поворота наномотора они приложили однородное электрическое поле, направленное перпендикулярно ротору.

1. Найдите длину ротора из ДНК l , если напряженность внешнего поля равна $E = 1$ В/м, заряд молекулы ДНК $q = -1,28 \cdot 10^{-17}$ Кл и сосредоточен в середине молекулы, а момент электрической силы, действующий на ротор относительно левого края, равен $M = 8 \cdot 10^{-25}$ Н·м. (3 балла)
2. Какая сила возникнет у левого края, если в точке, отстоящей на $1/6$ длины молекулы от правого края, она будет удерживаться силой направленной вдоль поля, так что молекула остается неподвижной? (5 баллов)

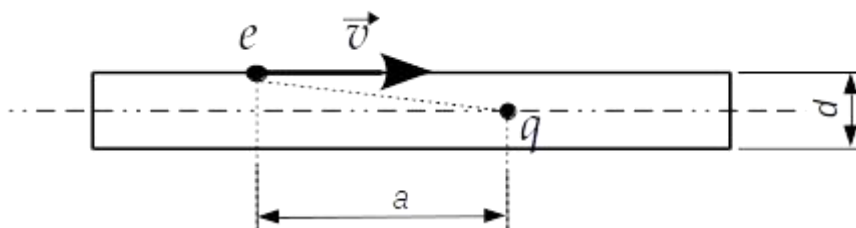
Всего – 8 баллов

Задача 3. Примесь в нанопроводе



Характерные размеры транзисторов и подводящих проводов в современных процессорах продолжают уменьшаться. В этой связи возрастает требование к чистоте материала, т. к. вклад примесей в электрическое сопротивление будет существенным. В полупроводниковом проводе оказалась отрицательно заряженная примесь (величина заряда q равна заряду электрона). Она расположена на центральной оси цилиндрического провода, имеющего диаметр $d = 50$ нм.

1. Определите, в каком случае проекция силы взаимодействия на направление скорости (см. рис.) будет больше: при $a = d$ или при $a = d/2$. (3 балла)
2. Найдите, на каком расстоянии от примеси a свободный электрон, двигаясь по поверхности провода, будет испытывать максимальную силу отталкивания (проекция силы взаимодействия на направление скорости). (5 баллов)



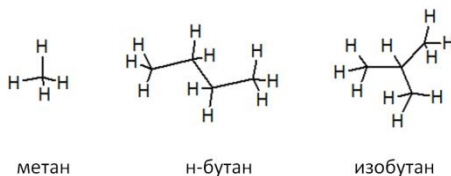
Всего – 8 баллов

Задача 4. Конденсация алканов

Известно, что конденсация газов в порах нанометрового размера происходит при более низком давлении, чем над плоской поверхностью. Соотношение, связывающее давление конденсации и радиус поры, называется уравнением Томсона-Кельвина:

$$\frac{RT}{V_m} \cdot \ln\left(\frac{P_c}{P_0}\right) = -\frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{r},$$

где P_c – давление конденсации (Па), P_0 – давление насыщенных паров над плоской поверхностью (Па), R – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/(моль·К)), T – температура (К), V_m – молярный объём конденсата (м³/моль), σ – поверхностное натяжение конденсата (Н/м), θ – угол смачивания, r – радиус поры (м).



Предельные углеводороды, начиная с C₄H₁₀, легко конденсируются уже при комнатной температуре. Во сколько раз уменьшится давление конденсации *н*-бутана в порах диаметром 30 нм по сравнению с давлением насыщенных паров над плоской поверхностью? Температура 27 °С, молярная масса *н*-бутана 0,058 кг/моль, поверхностное натяжение 11,3·10⁻³ Н/м, угол смачивания 0, плотность конденсата 601,26 кг/м³.

Всего – 8 баллов

Задача 5. Нанотехнологии для косметологии

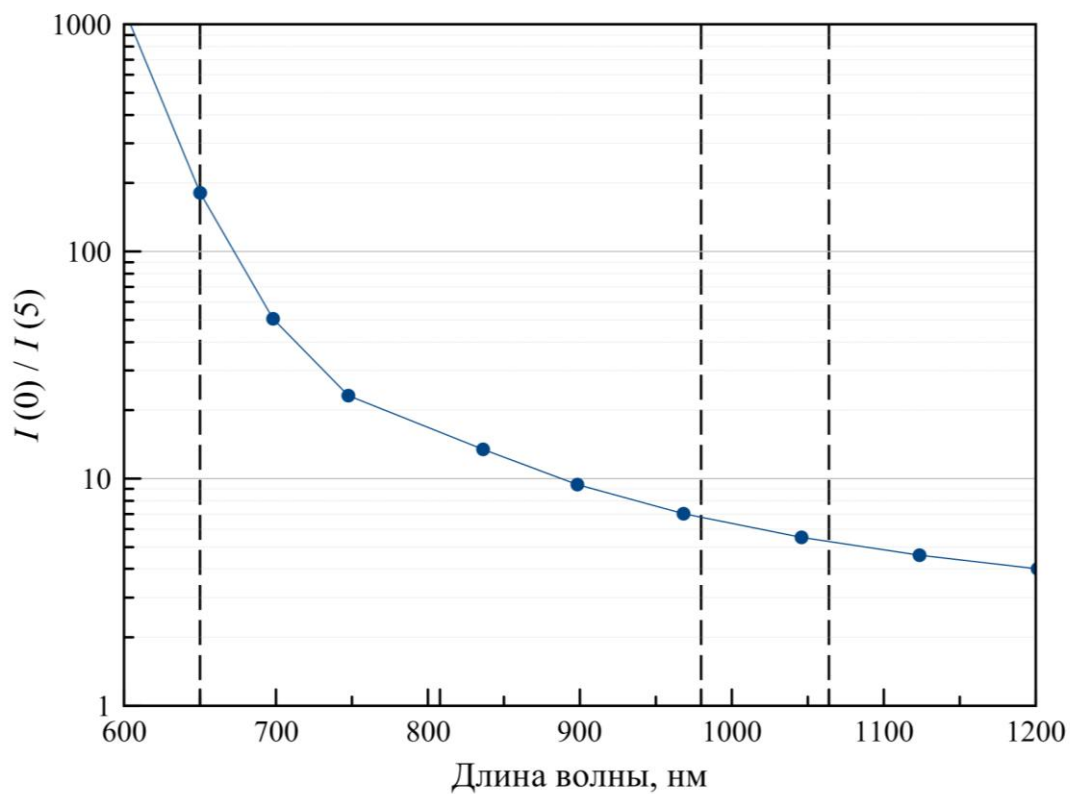
Лазерные технологии давно успешно используются в медицине и косметологии. В последнее время нанотехнологии получают применение в этих сферах.

Для повышения эффективности лазерной эпиляции на поверхность кожи наносят карбоновый гель, в состав которого входят наночастицы углерода. Излишки геля удаляют с поверхности кожи салфеткой, после чего медицинским лазером производится процедура удаления волосных корней (фолликул) путем локального нагрева.

1. Поясните, какова роль наночастиц углерода в данной процедуре. **(2 балла)**

На рисунке представлена зависимость ослабления интенсивности излучения, проникающего в кожные покровы на глубину 5 мм, от длины волны.

2. Используя рисунок и характеристики перечисленных ниже лазеров, определите, какой из них следует использовать для удаления волосных фолликул, расположенных на глубине 5 мм от поверхности кожи. Предпочтительным является лазер у которого максимальна суммарная энергия за 1 с, достигшая глубины 5 мм. **(6 баллов)**



- 1) Импульсный лазер с длиной волны $\lambda = 1064$ нм, интенсивностью в импульсе $I = 10$ Дж/см², длительностью импульса $\tau = 5$ нс, частотой следования импульсов $f = 10$ Гц. Площадь сфокусированного пятна $S = 10$ мм².
- 2) Непрерывный лазер с длиной волны $\lambda = 980$ нм, мощность $P = 30$ мВт.
- 3) Непрерывный лазер с длиной волны $\lambda = 650$ нм, мощность $P = 100$ мВт.

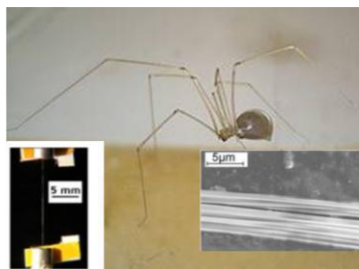
Всего – 8 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Простые задачи (вариант 2)

Задача 1. Сверхпрочная паутина

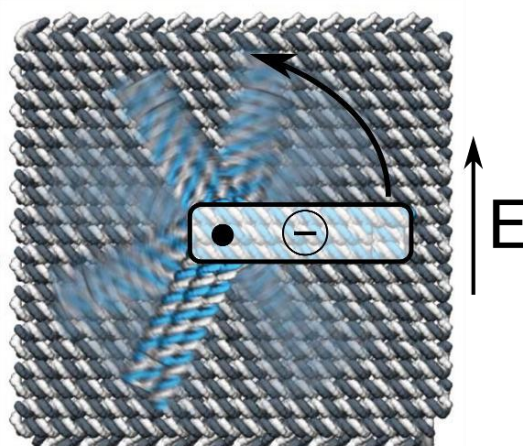
В результате эксперимента с пауками, спрыснутыми содержащей углеродные нанотрубки водой, учеными была получена уникальная сверхпрочная паутина с модулем Юнга в 16 раз большим, чем у обычной паутины.



1. На сколько миллиметров будут различаться удлинение одной нити такой усиленной углеродными нанотрубками паутины Δl_{CNT} по сравнению с удлинением нити обычной паутины, равном $\Delta l_o = 4$ мм, если к этим нитям прикладывать одну и ту же растягивающую силу? **(3 балла)** Что при этом будет больше: Δl_{CNT} или Δl_o ? **(1 балл)**. При расчетах полагать, что исходная длина обеих нитей была одинаковой, а их диаметр был постоянным и составлял 5 мкм.
2. Какова максимальная масса груза, который сможет выдержать исследуемая усиленная углеродными нанотрубками нить, если ее предел прочности составляет $\sigma_0 = 2.5$ ГПа? **(4 балла)**

Всего – 8 баллов

Задача 2. Ротор из ДНК

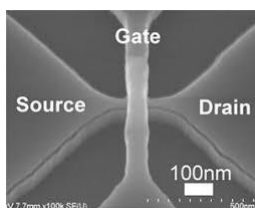


Наномотор, приводимый в движение внешним однородным электрическим полем, имеет в составе заряженную молекулу ДНК. Она играет роль ротора, закрепленного левым концом на полимерной подложке. Внешнее поле перпендикулярно ротору.

1. Считая, что напряженность внешнего поля $E = 1 \text{ В/м}$, заряд молекулы ДНК $q = -1,28 \cdot 10^{-17} \text{ Кл}$ и сосредоточен в середине молекулы, а момент электрической силы, действующий на ротор относительно левого края, $M = 8 \cdot 10^{-25} \text{ Н·м}$, найдите длину ротора из ДНК /. (3 балла)
2. Какая сила возникнет у левого края, если в точке, отстоящей на $1/3$ длины молекулы от правого края, она будет удерживаться силой, направленной вдоль поля, так что молекула остается неподвижной? (5 баллов)

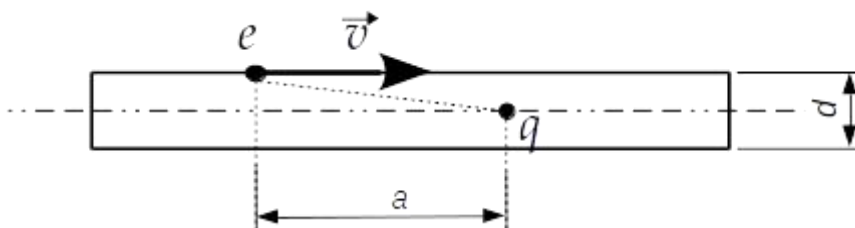
Всего – 8 баллов

Задача 3. Примесь в нанопроводе



Характерные размеры транзисторов и подводящих проводов в современных процессорах продолжают уменьшаться. В этой связи возрастает требование к чистоте материала, т. к. вклад примесей в электрическое сопротивление будет существенным. В полупроводниковом проводе оказалась отрицательно заряженная примесь (величина заряда q равна заряду электрона). Она расположена на центральной оси цилиндрического провода, имеющего диаметр $d = 50 \text{ нм}$.

1. Определите, в каком случае проекция силы взаимодействия на направление скорости будет больше: при $a = d/2$ или при $a = d/4$. (3 балла)
2. Найдите, на каком расстоянии от примеси a свободный электрон, двигаясь по поверхности провода, будет испытывать максимальную силу отталкивания (проекция силы взаимодействия на направление скорости). (5 баллов)



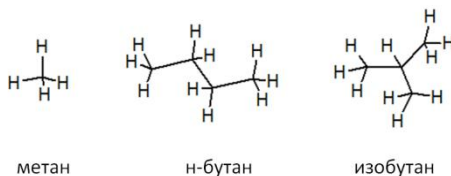
Всего – 8 баллов

Задача 4. Конденсация алканов

Конденсация газов в порах нанометрового размера происходит при более низком давлении, чем над плоской поверхностью. Соотношение, связывающее давление конденсации и радиус поры, называется уравнением Томсона-Кельвина:

$$\frac{RT}{V_m} \cdot \ln\left(\frac{P_c}{P_0}\right) = -\frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{r},$$

где P_c – давление конденсации (Па), P_0 – давление насыщенных паров над плоской поверхностью (Па), R – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/(моль·К)), T – температура (К), V_m – молярный объём конденсата (м³/моль), σ – поверхностное натяжение конденсата (Н/м), θ – угол смачивания, r – радиус поры (м).



Предельные углеводороды, начиная с C_4H_{10} , легко конденсируются уже при комнатной температуре. Во сколько раз уменьшится давление конденсации н-бутана в порах диаметром 20 нм по сравнению с давлением насыщенных паров над плоской поверхностью? Температура 27 °С, молярная масса н-бутана 0,058 кг/моль, поверхностное натяжение $11.3 \cdot 10^{-3}$ Н/м, угол смачивания 0 рад, плотность конденсата 601,26 кг/м³.

Всего – 8 баллов

Задача 5. Нанотехнологии для косметологии

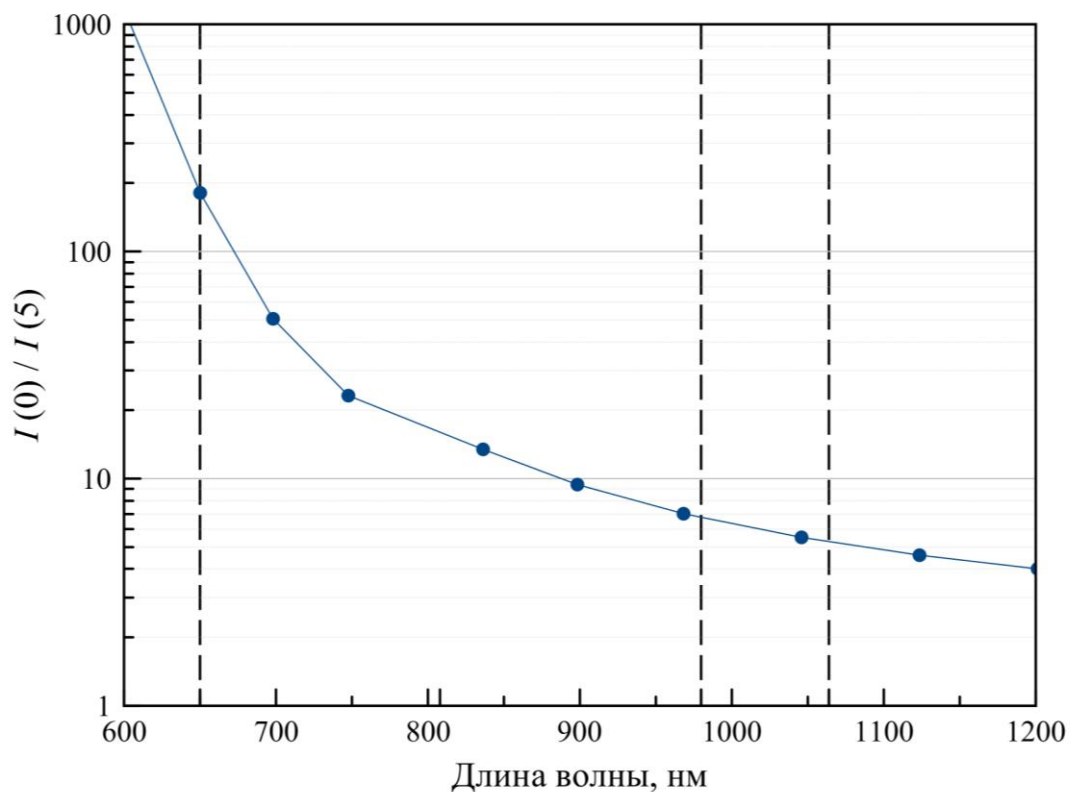
Лазерные технологии давно успешно используются в медицине и косметологии. В последнее время нанотехнологии получают применение в этих сферах.

Для повышения эффективности лазерной эпиляции на поверхность кожи наносят карбоновый гель, в состав которого входят наночастицы углерода. Излишки геля удаляют с поверхности кожи салфеткой, после чего медицинским лазером производится процедура удаления волосных корней (фолликул) путем локального нагрева.

1. Поясните, какова роль наночастиц углерода в данной процедуре. **(2 балла)**

На рисунке представлена зависимость ослабления интенсивности излучения, проникающего в кожные покровы на глубину 5 мм, от длины волны.

2. Используя рисунок и характеристики перечисленных ниже лазеров, определите, какой из них следует использовать для удаления волосных фолликул, расположенных на глубине 5 мм от поверхности кожи. Предпочтительным является лазер у которого максимальна суммарная энергия за 1 с, достигшая глубины 5 мм. **(6 баллов)**



- 1) Импульсный лазер с длиной волны $\lambda = 808$ нм, интенсивностью в импульсе $I = 100$ Дж/см², длительностью импульса $\tau = 10$ мс, частотой следования импульсов $f = 10$ Гц. Площадь сфокусированного пятна $S = 20$ мм².
- 2) Импульсный лазер с длиной волны $\lambda = 1064$ нм, интенсивностью в импульсе $I = 10$ Дж/см², длительностью импульса $\tau = 5$ нс, частотой следования импульсов $f = 10$ Гц. Площадь сфокусированного пятна $S = 10$ мм².
- 3) Непрерывный лазер с длиной волны $\lambda = 980$ нм, мощность $P = 30$ мВт.

Всего – 8 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Простые задачи (вариант 3)

Задача 1. Сверхпрочная паутина

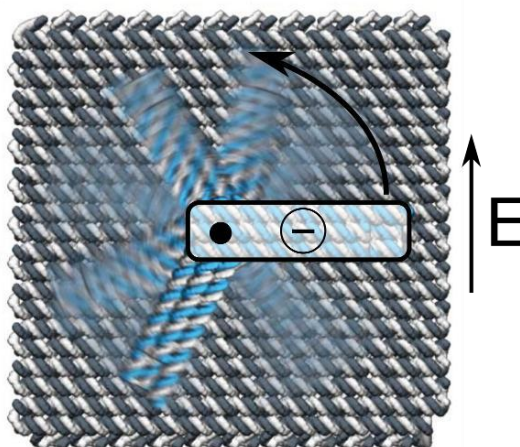
В результате эксперимента с пауками, спрыснутыми содержащей углеродные нанотрубки водой, учеными была получена уникальная сверхпрочная паутина с модулем Юнга в 18 раз большим, чем у обычной паутины.



1. На сколько миллиметров будут различаться удлинение одной нити такой усиленной углеродными нанотрубками паутины Δl_{CNT} по сравнению с удлинением нити обычной паутины, равном $\Delta l_o = 3.5$ мм, если к этим нитям прикладывать одну и ту же растягивающую силу? **(3 балла)** Что при этом будет больше: Δl_{CNT} или Δl_o ? **(1 балл)** При расчетах полагать, что исходная длина обеих нитей была одинаковой, а их диаметр был постоянным и составлял 6 мкм.
2. Какова максимальная масса груза, который сможет выдержать исследуемая усиленная углеродными нанотрубками нить, если ее предел прочности составляет $\sigma_0 = 2.2$ ГПа? **(4 балла)**

Всего – 8 баллов

Задача 2. Ротор из ДНК

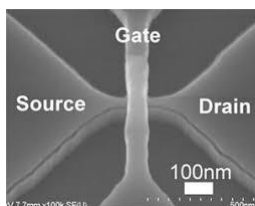


Наномотор, приводимый в движение внешним однородным электрическим полем, основан на заряженной молекуле ДНК. Она играет роль ротора, закрепленного левым концом на полимерной подложке. Внешнее поле перпендикулярно ротору.

1. Считая, что напряженность внешнего поля равна $E = 1$ В/м, а заряд молекулы ДНК $q = -1,28 \cdot 10^{-17}$ Кл и сосредоточен в ее середине, рассчитайте момент сил, действующий на ротор из ДНК длиной $l = 30$ нм. **(3 балла)**
2. Какая сила возникнет у левого края, если в точке, отстоящей на $1/3$ длины молекулы от правого края, она будет удерживаться силой, направленной вдоль поля, так что молекула остается неподвижной? **(5 баллов)**

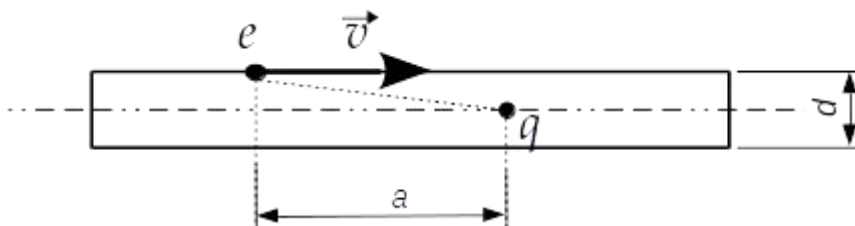
Всего – 8 баллов

Задача 3. Примесь в нанопроводе



Характерные размеры транзисторов и подводящих проводов в современных процессорах продолжают уменьшаться. В этой связи возрастает требование к чистоте материала, т. к. вклад примесей в электрическое сопротивление будет существенным. В полупроводниковом проводе оказалась отрицательно заряженная примесь (величина заряда q равна заряду электрона). Она расположена на центральной оси цилиндрического провода, имеющего диаметр $d = 50$ нм.

1. Определите, в каком случае проекция силы взаимодействия на направление скорости будет больше: при $a = d$ или при $a = d/4$. **(3 балла)**
2. Найдите, на каком расстоянии от примеси a свободный электрон, двигаясь по поверхности провода, будет испытывать максимальную силу отталкивания (проекция силы взаимодействия на направление скорости). **(5 баллов)**



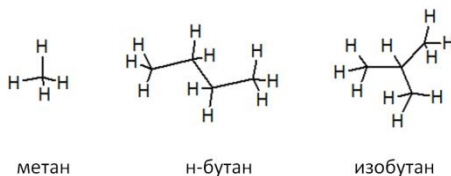
Всего – 8 баллов

Задача 4. Конденсация алканов

Конденсация газов в порах нанометрового размера происходит при более низком давлении, чем над плоской поверхностью. Соотношение, связывающее давление конденсации и радиус поры, называется уравнением Томсона-Кельвина:

$$\frac{RT}{V_m} \cdot \ln\left(\frac{P_c}{P_0}\right) = -\frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{r},$$

где P_c – давление конденсации (Па), P_0 – давление насыщенных паров над плоской поверхностью (Па), R – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/(моль·К)), T – температура (К), V_m – молярный объём конденсата (м³/моль), σ – поверхностное натяжение конденсата (Н/м), θ – угол смачивания, r – радиус поры (м).



Предельные углеводороды, начиная с C₄H₁₀, легко конденсируются уже при комнатной температуре. Определите диаметр пор, при котором давление конденсации *н*-бутана оказывается в 1,15 раза меньше, чем давление насыщенных паров над плоской поверхностью при температуре 27°C. Молярная масса *н*-бутана 0,058 кг/моль, поверхностное натяжение 11,3·10⁻³ Н/м, угол смачивания 0, плотность конденсата 601,26 кг/м³.

Всего – 8 баллов

Задача 5. Нанотехнологии для косметологии

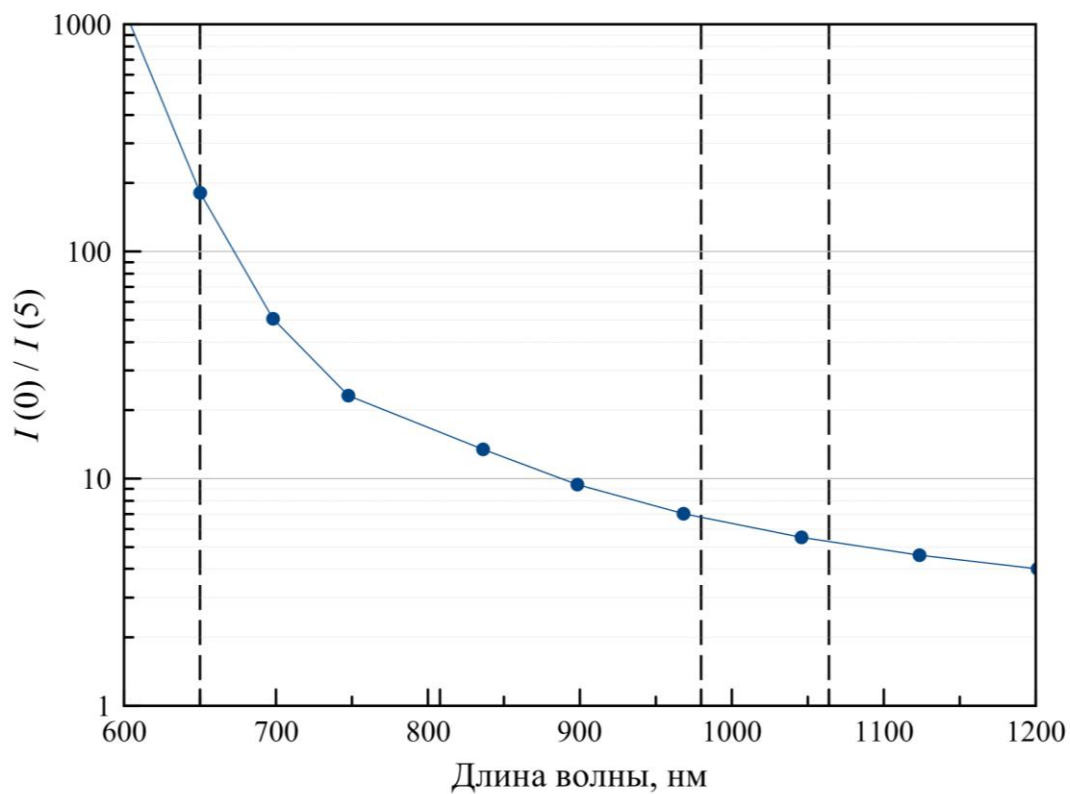
Лазерные технологии давно успешно используются в медицине и косметологии. В последнее время нанотехнологии получают применение в этих сферах.

Для повышения эффективности лазерной эпиляции на поверхность кожи наносят карбоновый гель, в состав которого входят наночастицы углерода. Излишки геля удаляют с поверхности кожи салфеткой, после чего медицинским лазером производится процедура удаления волосных корней (фолликул) путем локального нагрева.

1. Поясните, какова роль наночастиц углерода в данной процедуре. **(2 балла)**

На рисунке представлена зависимость ослабления интенсивности излучения, проникающего в кожные покровы на глубину 5 мм, от длины волны.

2. Используя рисунок и характеристики перечисленных ниже лазеров, определите, какой из них следует использовать для удаления волосных фолликул, расположенных на глубине 5 мм от поверхности кожи. Предпочтительным является лазер у которого максимальна суммарная энергия за 1 с, достигшая глубины 5 мм. **(6 баллов)**



- 1) Импульсный лазер с длиной волны $\lambda = 1064$ нм, интенсивностью в импульсе $I = 10$ Дж/см², длительностью импульса $\tau = 5$ нс, частотой следования импульсов $f = 10$ Гц. Площадь сфокусированного пятна $S = 10$ мм².
- 2) Непрерывный лазер с длиной волны $\lambda = 980$ нм, мощность $P = 30$ мВт.
- 3) Непрерывный лазер с длиной волны $\lambda = 650$ нм, мощность $P = 100$ мВт.

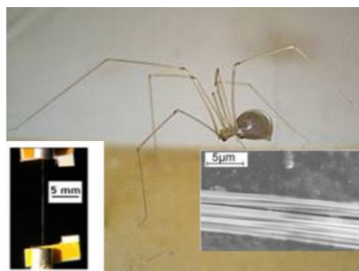
Всего – 8 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Простые задачи (вариант 4)

Задача 1. Сверхпрочная паутина

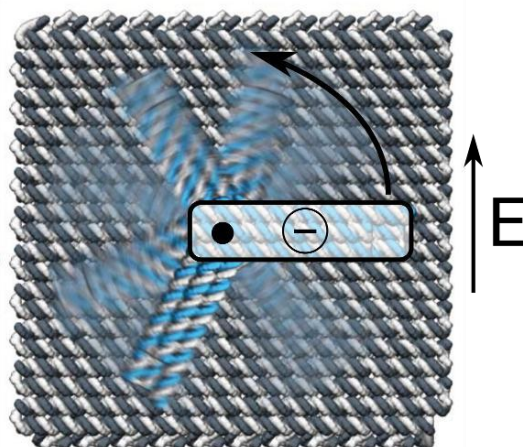
В результате эксперимента с пауками, спрыснутыми содержащей углеродные нанотрубки водой, учеными была получена уникальная сверхпрочная паутина с модулем Юнга в 17 раз большим, чем у обычной паутины.



1. На сколько миллиметров будут различаться удлинение одной нити такой усиленной углеродными нанотрубками паутины Δl_{CNT} по сравнению с удлинением нити обычной паутины, равно $\Delta l_o = 5$ мм, если к этим нитям прикладывать одну и ту же растягивающую силу? **(3 балла)** Что при этом будет больше: Δl_{CNT} или Δl_o ? **(1 балл)** При расчетах полагать, что исходная длина обеих нитей была одинаковой, а их диаметр был постоянным и составлял 5.5 мкм.
2. Какова максимальная масса груза, который сможет выдержать исследуемая усиленная углеродными нанотрубками нить, если ее предел прочности составляет $\sigma_0 = 2.1$ ГПа? **(4 балла)**

Всего – 8 баллов

Задача 2. Ротор из ДНК



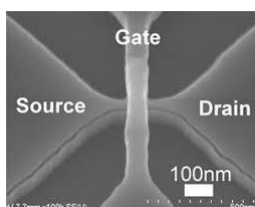
Ученые из Мюнхена изобрели новый тип наномотора: его ротор состоит из молекулы ДНК, закрепленной на полимерной подложке. Для поворота наномотора они приложили

однородное электрическое поле, направленное перпендикулярно ротору. Левый край молекулы прикреплен к поверхности платформы.

1. Найдите момент сил M относительно левого края, действующий на ротор из ДНК длиной $l = 30$ нм, если напряженность внешнего поля $E = 1$ В/м, а заряд молекулы ДНК $q = -1,44 \cdot 10^{-17}$ Кл и сосредоточен в середине молекулы. **(3 балла)**
2. Какая сила возникнет у левого края, если в точке, отстоящей на $1/6$ длины молекулы от правого края, она будет удерживаться силой, направленной вдоль поля, так что молекула остается неподвижной?

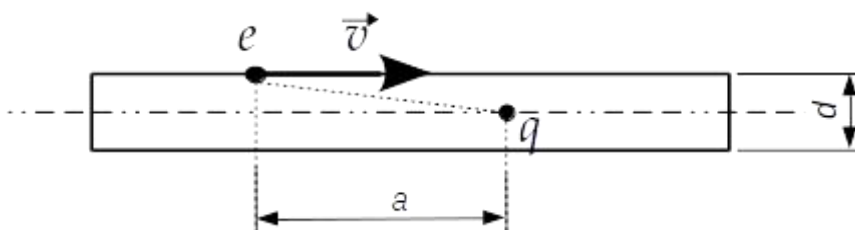
Всего – 8 баллов

Задача 3. Примесь в нанопроводе



Характерные размеры транзисторов и подводящих проводов в современных процессорах продолжают уменьшаться. В этой связи возрастает требование к чистоте материала, т. к. вклад примесей в электрическое сопротивление будет существенным. В полупроводниковом проводе оказалась отрицательно заряженная примесь (величина заряда q равна заряду электрона). Она расположена на центральной оси цилиндрического провода, имеющего диаметр $d = 50$ нм.

1. Определите, в каком случае проекция силы взаимодействия на направление скорости будет больше: при $a = 2d$ или при $a = d/2$. **(3 балла)**
2. Найдите, на каком расстоянии от примеси a свободный электрон, двигаясь по поверхности провода, будет испытывать максимальную силу отталкивания (проекция силы взаимодействия на направление скорости). **(5 баллов)**



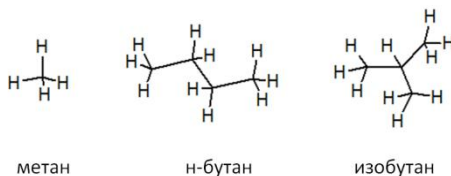
Всего – 8 баллов

Задача 4. Конденсация алканов

Известно, что конденсация газов в порах нанометрового размера происходит при более низком давлении, чем над плоской поверхностью. Соотношение, связывающее давление конденсации и радиус поры, называется уравнением Томсона-Кельвина:

$$\frac{RT}{V_m} \cdot \ln\left(\frac{P_c}{P_0}\right) = -\frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{r},$$

где P_c – давление конденсации (Па), P_0 – давление насыщенных паров над плоской поверхностью (Па), R – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/(моль·К)), T – температура (К), V_m – молярный объём конденсата (м³/моль), σ – поверхностное натяжение конденсата (Н/м), θ – угол смачивания, r – радиус поры (м).



Предельные углеводороды, начиная с C₄H₁₀, легко конденсируются уже при комнатной температуре. Определите диаметр пор, при котором давление конденсации *н*-бутана оказывается в 1,25 раз меньше, чем давление насыщенных паров над плоской поверхностью при температуре 27 °С. Молярная масса *н*-бутана 0,058 кг/моль, поверхностное натяжение 11,3·10⁻³ Н/м, угол смачивания 0, плотность конденсата 601,26 кг/м³.

Всего – 8 баллов

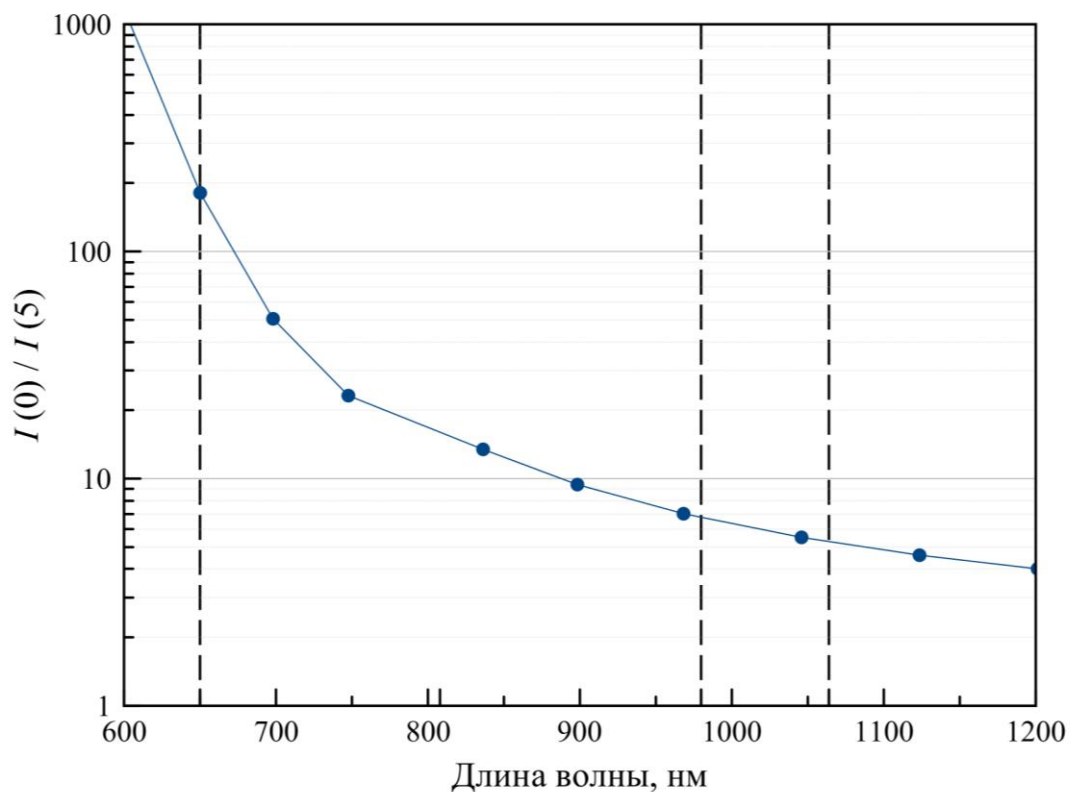
Задача 5. Нанотехнологии для косметологии

В медицине и косметологии часто применяются лазеры для эффективного и локального нагрева разных по глубине кровеносных сосудов или волосяных фолликул. Для повышения эффективности лазерной эпиляции на поверхность кожи наносят карбоновый гель, в состав которого входят наночастицы углерода. Излишки геля удаляют с поверхности кожи салфеткой, после чего медицинским лазером производится процедура удаления волосяных фолликул.

1. Поясните, какова роль наночастиц углерода в данной процедуре. **(2 балла)**

На рисунке представлена зависимость ослабления интенсивности излучения, проникающего в кожные покровы на глубину 5 мм, от длины волны.

2. Используя рисунок и характеристики перечисленных ниже лазеров, определите, какой из них следует использовать для удаления волосяных фолликул, расположенных на глубине 5 мм от поверхности кожи. Предпочтительным является лазер, у которого максимальна суммарная энергия за 1 с, достигшая глубины 5 мм. **(6 баллов)**



- 1) Импульсный лазер с длиной волны $\lambda = 808$ нм, интенсивностью в импульсе $I = 100$ Дж/см², длительностью импульса $\tau = 10$ мс, частотой следования импульсов $f = 10$ Гц. Площадь сфокусированного пятна $S = 20$ мм².
- 2) Импульсный лазер с длиной волны $\lambda = 1064$ нм, интенсивностью в импульсе $I = 10$ Дж/см², длительностью импульса $\tau = 5$ нс, частотой следования импульсов $f = 10$ Гц. Площадь сфокусированного пятна $S = 10$ мм².
- 3) Непрерывный лазер с длиной волны $\lambda = 980$ нм, мощность $P = 30$ мВт.

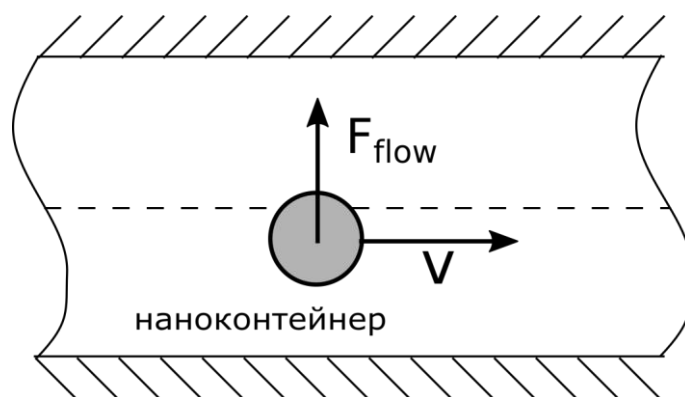
Всего – 8 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Более сложные задачи

Задача 6. Наноконтейнер в кровотоке

Для усиления действия противораковых лекарств их помещают в наноконтейнеры, которые с помощью инъекций вводят в кровоток пациента. Как правило, наноконтейнеры вводят в вены, где скорость потока составляет $v_v = 20$ см/с, и легко им увлекаются. Затем они попадают в узкие капилляры, в том числе, и внутри раковой опухоли, где скорость движения потока, v_{cap} , уменьшается, поэтому наноконтейнеры “выпадают” из потока, накапливаясь на стенках сосудов. После этого лекарство освобождается в опухоли, уничтожая ее.



Примем, что кровеносная система человека содержит 25 параллельных венозных сосудов диаметром 0,5 см каждый, а также 500 млрд. параллельных капилляров диаметром 10 мкм. При отклонении траектории наноконтейнера от центра сосуда (показан пунктиром) на нее действует возвращающая подъемная сила достигающая $F_{flow} = 0,2 \rho v^2 S$, где ρ – плотность крови, v – скорость потока, а S – площадь вертикальной проекции наночастицы. Найдите диапазон размеров наноконтейнеров, при котором они осаждаются на стенках капилляров, не оседая в венах и артериях. Плотность частицы принять за $1,5$ г/см³, плотность крови равной плотности воды.

Всего – 20 баллов

Задача 7. Лазерное позиционирование наночастиц

Наночастицы могут быть захвачены в так называемые оптические ловушки – области жестко сфокусированного лазерного излучения. При смещении захваченного объекта из центра ловушки на него начинает действовать возвращающая сила – сила оптического захвата (принцип оптического пинцета).

Недавно был предложен способ прецизионного осаждения золотых наночастиц из коллоидного раствора на подложку, основанный на принципе оптического пинцета. Для предотвращения спонтанного осаждения наночастиц их, как и поверхность подложки, покрывают слоем положительно заряженных молекул, создавая, таким образом, отталкивающую силу F_{el} , величина которой зависит от степени удаления наночастиц от подложки. На малых расстояниях на наночастицы начинает действовать сила притяжения Ван-дер-Ваальса (F_{vdw}) со стороны подложки (см. рис. 1). Для контролируемого осаждения наночастиц их необходимо захватить в оптическую ловушку, для чего фокус лазерного пучка

помещают ниже поверхности подложки. Совершающие броуновское движение наночастицы, попадая в лазерный пучок, движутся по направлению к его фокусу за счет силы оптического захвата (см. рис. 2). При достаточной мощности лазера наночастицы преодолевают потенциальный барьер, образуемый при сложении сил F_{el} и F_{vdW} .

Учитывая, что сила оптического захвата F_{opt} прямо пропорциональна мощности лазера и удалению наночастицы от точки фокуса с коэффициентом пропорциональности $k = 3.75 \cdot 10^{-2}$ Н/(Вт·м), определите минимальную мощность лазера P_{min} , достаточную для контролируемого осаждения наночастиц, находящихся вблизи от подложки, если известно, что точка фокуса располагается на $z_{foc} = 29$ нм ниже поверхности подложки. При расчетах полагать, что вдали от подложки наночастицы находятся в коллоидном растворе в равновесии, а максимальное значение результирующей силы, действующей на наночастицы в отсутствие лазерного пучка, $F_{summ}^{max} = 12$ пН достигается при расстоянии между наночастицами и подложкой равном $z_{min} = 3$ нм (см. рис. 1). Ускорением движущихся наночастиц, попавших в лазерный пучок, пренебречь.

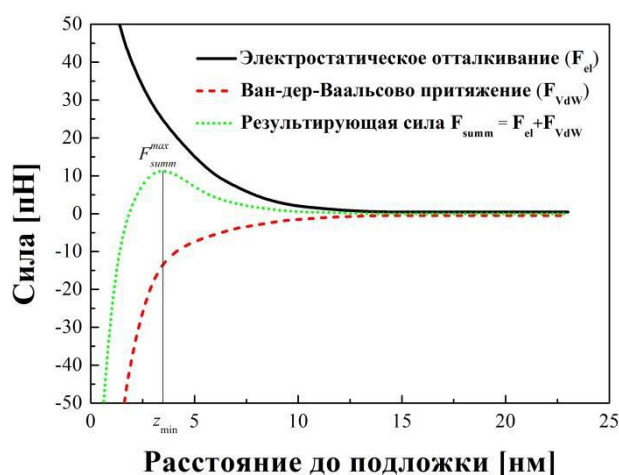


Рис. 1

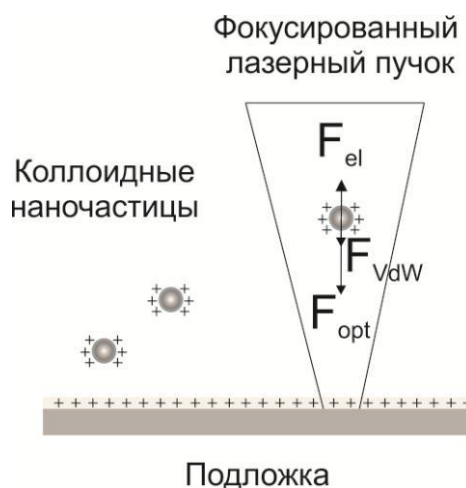


Рис. 2

Всего – 20 баллов

Задача 8. Эпитаксия

Эпитаксия – явление ориентированного роста одного кристалла на поверхности другого. В идеальном случае кристаллическая решётка растущего кристалла продолжает структуру подложки. Однако в большинстве случаев параметры элементарных ячеек плёнки и подложки незначительно различаются. В результате растущий кристалл оказывается в напряжённом состоянии, а параметры ячейки – искажёнными относительно ненапряжённого образца. Например, можно эпитаксиально вырастить тонкие плёнки $\text{Nd}_2\text{NiMnO}_6$ на поверхности монокристалла перовскита (длина ребра кубической элементарной ячейки $a = 3.905$ Å). Согласно результатам рентгеновской дифракции (длина волны излучения $\lambda = 1.54$ Å), пики (дифракционные максимумы), которые соответствуют направлению, перпендикулярному плоскости плёнки, смещаются в сторону больших углов по сравнению с пиками от объёмного монокристалла того же состава. При этом уменьшение толщины плёнки приводит к более сильному смещению пика (таблица).

Таблица. Положение первого дифракционного максимума для образцов $\text{Nd}_2\text{NiMnO}_6$ различной толщины.

Толщина плёнки, нм	Положение первого дифракционного максимума, градусы
60	11.7000
180	11.6135
300	11.5920
Объёмный монокристалл	11.5765

1. Исходя из приведённых данных, определите параметры элементарной ячейки $\text{Nd}_2\text{NiMnO}_6$ для случаев объёмного монокристалла и тонких плёнок с толщиной 60 нм, 180 нм и 300 нм. Известно, что объёмный монокристалл данного соединения имеет кубическую структуру (как и перовскит), а подложка ориентирована так, чтобы определяемое межплоскостное расстояние совпадало с параметром ячейки. В расчётах следует учесть, что параметры ячейки, параллельные плоскости подложки, также будут искажаться для лучшего соответствия параметрам подложки и сохранения объёма элементарной ячейки. **(15 баллов)**
2. Объясните зависимость параметров элементарной ячейки плёнок от их толщины. **(5 баллов)**

Для справки. Формула Брэгга-Вульфа для первого дифракционного максимума: $2d \cdot \sin\theta = \lambda$.

Всего – 20 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Решения. Простые задачи (вариант 3)

Решение задачи 1. Сверхпрочная паутина

1. Запишем закон Гука для растягивающей силы: $F = -k\Delta l$, в котором коэффициент жесткости k можно выразить через модуль Юнга E следующим образом: $k = \frac{ES}{L}$, где S/L – отношение площади поперечного сечения нитей к их исходной длине (по условию – величина постоянная для обеих нитей). Приравняв приложенные силы и сократив на S/L , для двух нитей имеем: $E_{\text{CNT}} \cdot \Delta l_{\text{CNT}} = E_o \cdot \Delta l_o$, откуда $\Delta l_{\text{CNT}} = \frac{E_o}{E_{\text{CNT}}} \cdot \Delta l_o = \frac{1}{18} \cdot \Delta l_o \approx 0.2$ мм (Δl_o , таким образом, больше).
Искомая разница равна: $\Delta = \Delta l_o - \Delta l_{\text{CNT}} \approx 3.3$ мм.

2. Для ответа на второй вопрос посчитаем площадь поперечного сечения нити усиленной углеродными нанотрубками паутины:

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \approx 28.3 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$$

Предел прочности σ_0 есть отношение предельной силы растяжения к площади поперечного сечения. В качестве силы выступает сила тяжести груза, следовательно, максимально допустимая масса груза равна:

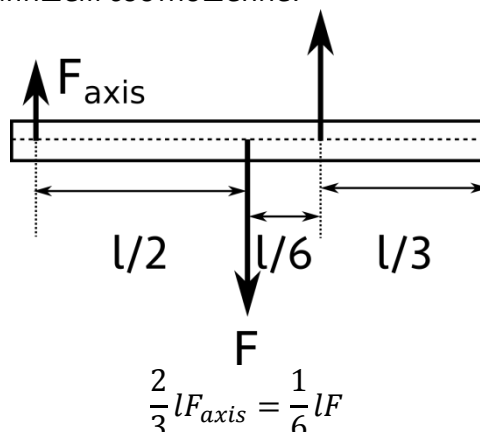
$$m_{\text{max}} = \frac{\sigma_0 S}{g} = \frac{2.2 \cdot 10^9 \text{ Па} \cdot 28.3 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2}{9.8 \text{ м/с}^2} \approx 6 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 6 \text{ г}$$

Решение задачи 2. Ротор из ДНК

1. Так как ротор заряжен равномерно по длине, все силы можно заменить равнодействующей, приложенной к его середине, т.е. плечо составит 15 нм, а полный заряд $1.28 \cdot 10^{-19}$ Кл. Таким образом момент сил будет равен:

$$M = F \frac{l}{2} = Eq \frac{l}{2} = 1.28 \cdot 10^{-17} \cdot 15 \cdot 10^{-9} = 1.92 \cdot 10^{-25} \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2. Из условия равенства моментов, для осевой силы F_{axis} , в точке приложения блокирующей силы запишем соотношение:



Отсюда:

$$F_{axis} = \frac{1}{4}F = \frac{1}{4}Eq = 3.2 \cdot 10^{-18} \text{ Н}$$

Решение задачи 3. Примесь в нанопроводе

1. Сила взаимодействия: $F = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2}$. Проекция: $F_v = F \cos(\alpha)$

$$\frac{1}{r^2} = \frac{1}{a^2 + \frac{d^2}{4}} \text{ или иначе } \frac{1}{r^2} = \frac{4\sin^2(\alpha)}{d^2}$$

$$\cos(\alpha) = \frac{a}{r} = \frac{a}{\sqrt{a^2 + \frac{d^2}{4}}}$$

Отвечая на вопрос 1, сравниваем $\frac{\cos(\alpha)}{r^2} = \frac{a}{a^2 + \frac{d^2}{4} \sqrt{a^2 + \frac{d^2}{4}}}$ для случаев 1) и 2)

$$\begin{aligned} 1) \quad a = d & \quad \frac{1}{r^2} \cos(\alpha) = \frac{8}{5\sqrt{5}d^2} \\ 2) \quad a = d/4 & \quad \frac{1}{r^2} \cos(\alpha) = \frac{16}{5\sqrt{5}d^2} \end{aligned}$$

Больше во втором случае.

2. Отвечая на вопрос 2, удобнее анализировать проекцию силы, как функцию угла:

$$f(\alpha) = C \sin^2(\alpha) \cos(\alpha) = C(1 - \cos^2(\alpha)) \cos(\alpha) = C(\cos(\alpha) - \cos^3(\alpha))$$

Функция достигает максимума при $\cos(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{3}}$.

$$a = \frac{d}{2} \operatorname{ctg} \alpha = \frac{d}{2 \cdot \sqrt{2}} \approx 17,7 \text{ нм}$$

Решение задачи 4. Конденсация алканов

Молярный объём конденсата $V_m = \frac{M}{\rho}$. Уравнение Томсона-Кельвина принимает вид:

$$\frac{\rho RT}{M} \cdot \ln\left(\frac{P_c}{P_0}\right) = -\frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{r}$$

Подставляя данные из условия задачи, находим:

$$\frac{601.26 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 8.314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 300\text{К}}{0.058 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} \cdot \ln\left(\frac{1.15 P_0}{P_0}\right) = -\frac{2 \cdot 11.3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot \cos(0)}{r}$$

$$r = 6.25 \text{ нм}, d = 12.5 \text{ нм.}$$

Решение задачи 5. Нанотехнологии для косметологии

1. Наночастицы углерода попадают в фолликулы и поглощают лазерное излучение. Это приводит к поглощению и нагреву на нужной глубине, а следовательно и к удалению фолликул.

2. Для импульсного лазера

$$W = I \cdot S f \alpha \Delta t,$$

где α – ослабление на глубине 5 мм, $\Delta t = 1$ сек.

По графику определяем приблизительное значение α на глубине 5 мм для разных длин волн.

$$\alpha = \frac{1}{5} \text{ для } \lambda = 1064 \text{ нм}, \alpha = \frac{1}{7} \text{ для } \lambda = 980 \text{ нм}, \alpha = \frac{1}{200} \text{ для } \lambda = 650 \text{ нм}.$$

Для лазера №1 $W = I \cdot S f \alpha \Delta t = 10 \frac{\text{Дж}}{\text{см}^2} 0,1 \text{ см}^2 10 \text{ Гц} \frac{1}{5} 1 \text{ сек} = 2 \text{ Дж}.$

Длительность импульса позволяет оценить мгновенную мощность, но обычно для сравнения выражают среднюю мощность за весь интервал времени (в задаче это $\Delta t = 1$ сек).

Для непрерывного лазера

$$W = P \alpha \Delta t,$$

где α – ослабление на глубине 5 мм, $\Delta t = 1$ сек.

Для лазера №2 $W = P \alpha \Delta t = 30 \text{ мВт} \frac{1}{7} 1 \text{ сек} \approx 4,2 \text{ мДж}$

Для лазера №3 $W = P \alpha \Delta t = 100 \text{ мВт} \frac{1}{200} 1 \text{ сек} \approx 0,5 \text{ мДж}$

Лазер №1 предпочтительнее.



Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Решения. Более сложные задачи

Решение задачи 6. Наноконтейнер в кровотоке

Исходя из сохранения суммарного потока жидкости (неразрывность струи), сначала рассчитаем скорость движения потока в капиллярах, v_{cap} :

$$I \sim N_v d_v^2 v_v = N_{cap} d_{cap}^2 v_{cap} = 25 \cdot (5 \cdot 10^{-3})^2 0.2 = 5 \cdot 10^{11} (10^{-5})^2 v_{cap}$$

где $N_{v, cap}$ – число вен и капилляров, $d_{v, cap}$ – их диаметр. Отсюда искомое $v_{cap} = 2.5$ мкм/сек.

На частицу в кровотоке действуют три силы: сила вязкого трения, увлекающего частицу в поток F_{flow} , сила Архимеда и сила тяжести. Для шара радиуса r получим:

$$\frac{\rho v^2 \pi r^2}{5} = \Delta \rho g \frac{4}{3} \pi r^3,$$

где $\Delta \rho$ – разность плотностей частицы и крови (формула для разности силы тяжести и силы Архимеда). Отсюда находим выражение для критического радиуса:

$$r = \frac{3 \rho v^2}{20 \Delta \rho g}$$

Таким образом, для вены получаем

$$r_v = \frac{3 \cdot 0.2^2}{20 \cdot 0.5 \cdot 10} = 1.2 \text{ мм} \quad (1)$$

Для капилляров:

$$r_{cap} = \frac{3 \cdot (2.5 \cdot 10^{-6})^2}{20 \cdot 0.5 \cdot 10} = 1.9 \cdot 10^{-13} \text{ м} \quad (2)$$

Итого, с учетом того, что радиус капилляра составляет 5 мкм, искомый диапазон частиц – от $1.9 \cdot 10^{-13}$ м до 5 мкм.

Решение задачи 7. Лазерное позиционирование наночастиц

Для захвата и осаждения наночастиц сила притяжения F_{opt} в точке z_{min} должна быть не меньше (по модулю) силы отталкивания F_{summ}^{max} , в частности, равна ей для случая минимальной мощности лазера (в пренебрежении ускорением наночастиц).

Отсчитывая расстояние от точки фокуса, из прямой пропорциональности $F_{opt} = k \cdot P \cdot z$ при $z_1 = z_{foc} + z_{min} = 32$ нм для произведения $k \cdot P_{min}$ имеем:

$$k \cdot P_{min} = F_{summ}^{max} / z_1 = 0.375 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}.$$

Отсюда:

$$P_{min} = \frac{F_{summ}^{max}/Z_1}{k} = 0.375 \cdot 10^{-3} / 3.75 \cdot 10^{-2} = 0.01 \text{ Вт} = 10 \text{ мВт}$$

Решение задачи 8. Эпитаксия

1. Расчёт параметров следует проводить по формуле Брэгга-Вульфа $2d \cdot \sin\theta = \lambda$, где λ – длина волны использованного излучения, θ – угол, соответствующий дифракционному максимуму, d – межплоскостное расстояние, которое в данном случае равно параметру элементарной ячейки (как для подложки, так и для плёнки, потому что она растёт эпитаксиально). Важно отметить, что параметры ячейки будут совпадать между собой только у объёмного монокристалла, имеющего кубическую структуру. В случае тонких плёнок это работать не будет, так как они находятся в напряжённом состоянии: параметры в плоскости подложки будут несколько растянуты, чтобы лучше соответствовать параметру подложки, а перпендикулярное им направление будет сжато, так как объём ячейки должен оставаться постоянным. Поэтому параметры плёнки в плоскости подложки следует рассчитывать, исходя из постоянства объёма ячейки, а не по соотношению Брэгга-Вульфа: $a_{\parallel} = \sqrt{\frac{a_0^3}{a_{\perp}}}$, где a_0 – параметр объёмного монокристалла.

Полученные значения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры элементарной ячейки

Толщина плёнки, нм	Параметр ячейки $a_{\parallel}$, Å	Параметр ячейки $a_{\perp}$, Å
60	3.857	3.797
180	3.843	3.825
300	3.840	3.832
Объёмный монокристалл	3.837	3.837

2. Параметры элементарной ячейки тонкой плёнки отличаются от объёмного монокристалла, так как плёнка находится в напряжённом состоянии. Однако с увеличением её толщины происходит релаксация механических напряжений, поэтому параметры ячейки стремятся к значению, соответствующему объёмному монокристаллу. Соответственно, параметры в плоскости подложки уменьшаются, а перпендикулярный параметр возрастает.

Система оценивания

Параметры ячейки – **15 баллов**: объёмный монокристалл – 3 балла, каждая плёнка – 4 балла (по 2 за каждый параметр).

Объяснение зависимости параметров ячейки от толщины плёнки – **5 баллов**.



Химия для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Простые задачи (вариант 1)

Задача 1. Синтез нанопленки

Одно из веществ, из которых получают нанопленки, состоит из двух соседних элементов 5-го периода, мольные доли которых отличаются в 1.5 раза. Пленку получают электрохимическим восстановлением смеси двух соединений этих элементов. Молярная масса вещества равна 626.3 г/моль. Установите формулу вещества и предположите, какие исходные соединения взяли для синтеза.

Всего – 8 баллов

Задача 2. Люминесцентный материал

Для создания люминесцентного материала нанокристаллы люминофора **X** равномерно распределили в объеме полимера. Для этого к 100 мл жидкого мономера добавили 5.0 мл раствора **X** в гексане (концентрация 20 мг/мл), полученную смесь полимеризовали под действием света и растворитель испарили. Оцените, сколько наночастиц содержится в одном кубическом сантиметре полимера. Средняя масса нанокристалла $4.0 \cdot 10^{-18}$ г. Примите, что полимеризация происходит без изменения объема.

Всего – 8 баллов

Задача 3. Оксид графена

Установите простейшую формулу оксида графена, в котором 15% атомов находятся в sp^3 гибридном состоянии. Примите, что кислород входит только в состав эпоксидных групп



C—C. (4 балла) Сколько граммов сверхкритического пропанола-2 потребуется для полного восстановления одного грамма оксида графена? **(4 балла)**

Всего – 8 баллов

Задача 4. Нанопорошок

Нанопорошок неизвестного оксида металла не растворяется в воде, распределяясь на границе раздела воды и воздуха. Он также не взаимодействует с растворами щелочей, однако медленно растворяется в соляной кислоте, окрашивая раствор в бледный зелено-голубой цвет. В твердом виде нанопорошок реагирует с металлическим магнием и алюминием, восстанавливаясь до металла. На полное восстановление 0.100 г оксида тратится 0.036 г алюминия. Размер частиц порошка составляет 10-30 нм. Определите состав неизвестного нанопорошка. **(4 балла)** Запишите уравнения описанных реакций. **(4 балла)**

Всего – 8 баллов

Задача 5. Анодное окисление

Одним из наиболее перспективных мембранных материалов является анодный оксид алюминия, получаемый электрохимическим окислением алюминиевой пластинки в кислой среде. Среди его преимуществ можно отметить простоту синтеза и удобство контроля параметров мембраны. Например, толщину подобных оксидных плёнок легко контролировать кулонометрически, то есть по величине заряда, пропускаемого через раствор.

1. Напишите уравнения процессов, происходящих на катоде и аноде при электрохимическом окислении алюминия. Составьте полное уравнение реакции. **(4 балла)**
2. Определите толщину полученной плёнки анодного оксида алюминия, если на её синтез затратили 200 Кл. Площадь образца равна 1.13 см^2 , а плотность получаемого оксида 3.2 г/см^3 . Постоянная Фарадея $F = 96485 \text{ Кл/моль}$. **(4 балла)**

Всего – 8 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Простые задачи (вариант 2)

Задача 1. Синтез нанопленки

Одно из веществ, из которых получают нанопленки, представляет собой соединение металла и неметалла, в котором массовая доля первого равна 73.4%. Пленку получают осаждением гидроксида металла и его длительным нагреванием на воздухе. Установите формулу вещества и напишите уравнение реакции его синтеза.

Всего – 8 баллов

Задача 2. Люминесцентный материал

Для создания люминесцентного материала нанокристаллы люминофора **X** равномерно распределили в объеме полимера. Для этого к 20 мл жидкого мономера добавили 2.5 мл раствора **X** в гексане (концентрация 10 мг/мл), полученную смесь полимеризовали под действием света и растворитель испарили. Оцените, сколько наночастиц содержится в одном кубическом сантиметре полимера. Средняя масса нанокристалла $5.0 \cdot 10^{-18}$ г. Примите, что полимеризация происходит без изменения объема.

Всего – 8 баллов

Задача 3. Оксид графена

Установите простейшую формулу оксида графена, в котором 20% атомов находятся в sp^3 гибридном состоянии. Примите, что кислород входит только в состав эпоксидных групп



C—C. (4 балла) Сколько граммов сверхкритического пропанола-2 потребуется для полного восстановления одного грамма оксида графена? **(4 балла)**

Всего – 8 баллов

Задача 4. Нанопорошок

Нанопорошок неизвестного оксида металла не растворяется в воде, распределяясь на границе раздела воды и воздуха. Он также не взаимодействует с растворами щелочей, однако медленно растворяется в соляной кислоте, окрашивая раствор в бледный зелено-голубой цвет. В твердом виде нанопорошок реагирует с металлическим магнием и алюминием, восстанавливаясь до металла. На полное восстановление 1.0 г оксида тратится 0.36 г алюминия. Размер частиц порошка составляет 10-30 нм. Определите состав неизвестного нанопорошка. **(4 балла)** Запишите уравнения описанных реакций. **(4 балла)**

Всего – 8 баллов

Задача 5. Анодное окисление

Одним из наиболее перспективных мембранных материалов является анодный оксид алюминия, получаемый электрохимическим окислением алюминиевой пластинки в кислой среде. Среди его преимуществ можно отметить простоту синтеза и удобство контроля параметров мембраны. Например, толщину подобных оксидных плёнок легко контролировать кулонометрически, то есть по величине заряда, пропускаемого через раствор.

1. Напишите уравнения процессов, происходящих на катоде и аноде при электрохимическом окислении алюминия. Составьте полное уравнение реакции. **(4 балла)**
2. Определите плотность полученной плёнки анодного оксида алюминия, если на её синтез затратили 100 Кл. Площадь образца равна 1.13 см^2 , а его толщина составляет 50 мкм. Постоянная Фарадея $F = 96485 \text{ Кл/моль}$. **(4 балла)**

Всего – 8 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Простые задачи (вариант 3)

Задача 1. Синтез нанопленки

Одно из веществ, из которых получают нанопленки, состоит из двух элементов 4-го периода, металла и неметалла. Мольные доли элементов отличаются в 1.5 раза, а массовые – в 1.21 раза. Пленку получают электрохимическим восстановлением смеси двух соединений этих элементов. Установите формулу вещества и предположите, какие исходные соединения взяли для синтеза.

Всего – 8 баллов

Задача 2. Люминесцентный материал

Для создания люминесцентного материала нанокристаллы люминофора **X** равномерно распределили в объеме полимера. Для этого к 50 мл жидкого мономера добавили 2.5 мл раствора **X** в гексане (концентрация 15 мг/мл), полученную смесь полимеризовали под действием света и растворитель испарили. Оцените, сколько наночастиц содержится в одном кубическом сантиметре полимера. Средняя масса нанокристалла $6.0 \cdot 10^{-18}$ г. Примите, что полимеризация происходит без изменения объема.

Всего – 8 баллов

Задача 3. Оксид графена

Оксид графена имеет простейшую формулу $C_{13}O_2$. Сколько процентов атомов в этом веществе находятся в sp^3 гибридном состоянии? Примите, что кислород входит только в

состав эпоксидных групп . **(4 балла)** Сколько граммов сверхкритического пропанола-2 потребуется для полного восстановления одного грамма оксида графена? **(4 балла)**

Всего – 8 баллов

Задача 4. Нанопорошок

Нанопорошок неизвестного оксида металла не растворяется в воде, распределяясь на границе раздела воды и воздуха. Он также не взаимодействует с растворами щелочей, однако медленно растворяется в соляной кислоте, окрашивая раствор в бледный зелено-голубой цвет. В твердом виде нанопорошок реагирует с металлическим магнием и алюминием, восстанавливаясь до металла. На полное восстановление 0.50 г оксида тратится 0.18 г алюминия. Размер частиц порошка составляет 10-30 нм. Определите состав неизвестного нанопорошка. **(4 балла)** Запишите уравнения описанных реакций. **(4 балла)**

Всего – 8 баллов

Задача 5. Анодное окисление

Одним из наиболее перспективных мембранных материалов является анодный оксид алюминия, получаемый электрохимическим окислением алюминиевой пластинки в кислой среде. Среди его преимуществ можно отметить простоту синтеза и удобство контроля параметров мембраны. Например, толщину подобных оксидных плёнок легко контролировать кулонометрически, то есть по величине заряда, пропускаемого через раствор.

1. Напишите уравнения процессов, происходящих на катоде и аноде при электрохимическом окислении алюминия. Составьте полное уравнение реакции. **(4 балла)**
2. Определите заряд, который необходимо затратить для синтеза плёнки анодного оксида алюминия толщиной 200 мкм. Площадь образца равна 1.13 см^2 , а плотность получаемого оксида 3.2 г/см^3 . Постоянная Фарадея $F = 96485 \text{ Кл/моль}$. **(4 балла)**

Всего – 8 баллов



Химия для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Простые задачи (вариант 4)

Задача 1. Синтез нанопленки

Одно из веществ, из которых получают нанопленки, состоит из металла 4-го периода и неметалла 5-го периода. Мольные доли элементов отличаются в 1.5 раза, а массовые – в 1.34 раза. Пленку получают электрохимическим восстановлением смеси двух соединений этих элементов. Установите формулу вещества и предположите, какие исходные соединения взяли для синтеза.

Всего – 8 баллов

Задача 2. Люминесцентный материал

Для создания люминесцентного материала нанокристаллы люминофора **X** равномерно распределили в объеме полимера. Для этого к 150 мл жидкого мономера добавили 3.0 мл раствора **X** в гексане (концентрация 40 мг/мл), полученную смесь полимеризовали под действием света и растворитель испарили. Оцените, сколько наночастиц содержится в одном кубическом сантиметре полимера. Средняя масса нанокристалла $3.2 \cdot 10^{-18}$ г. Примите, что полимеризация происходит без изменения объема.

Всего – 8 баллов

Задача 3. Оксид графена

Оксид графена имеет простейшую формулу $C_{23}O_2$. Сколько процентов атомов в этом веществе находятся в sp^3 гибридном состоянии? Примите, что кислород входит только в

состав эпоксидных групп . **(4 балла)** Сколько граммов сверхкритического пропанола-2 потребуется для полного восстановления одного грамма оксида графена? **(4 балла)**

Всего – 8 баллов

Задача 4. Нанопорошок

Нанопорошок неизвестного оксида металла не растворяется в воде, распределяясь на границе раздела воды и воздуха. Он также не взаимодействует с растворами щелочей, однако медленно растворяется в соляной кислоте, окрашивая раствор в бледный зелено-голубой цвет. В твердом виде нанопорошок реагирует с металлическим магнием и алюминием, восстанавливаясь до металла. На полное восстановление 2.50 г оксида тратится 0.90 г алюминия. Размер частиц порошка составляет 10-30 нм. Определите состав неизвестного нанопорошка. **(4 балла)** Запишите уравнения описанных реакций. **(4 балла)**

Всего – 8 баллов

Задача 5. Анодное окисление

Одним из наиболее перспективных мембранных материалов является анодный оксид алюминия, получаемый электрохимическим окислением алюминиевой пластинки в кислой среде. Среди его преимуществ можно отметить простоту синтеза и удобство контроля параметров мембраны. Например, толщину подобных оксидных плёнок легко контролировать кулонометрически, то есть по величине заряда, пропускаемого через раствор.

1. Напишите уравнения процессов, происходящих на катоде и аноде при электрохимическом окислении алюминия. Составьте полное уравнение реакции. **(4 балла)**
2. Определите площадь полученной плёнки анодного оксида алюминия, если на её синтез затратили 300 Кл. Толщина образца равна 150 мкм, а плотность получаемого оксида 3.2 г/см^3 . Постоянная Фарадея $F = 96485 \text{ Кл/моль}$. **(4 балла)**

Всего – 8 баллов



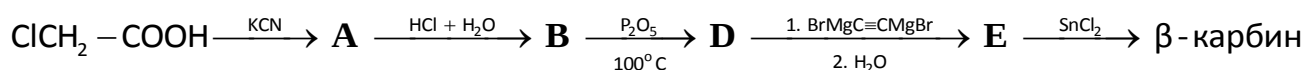
Химия для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Более сложные задачи

Задача 6. Карбин

Одной из аллотропных модификаций углерода является карбин, который представляет собой полимерные углеродные цепочки. При этом различают α - и β -карбин. Стоит отметить, что «карбин» – это исторически сложившееся название, которое не означает принадлежность к какому-либо классу органических соединений.

1. Изобразите структурные формулы α - и β -карбина и поясните их отличия. **(2 балла)**
2. Предложите химический метод, позволяющий различить эти модификации. **(4 баллов)**

β -карбин можно синтезировать по следующей схеме:



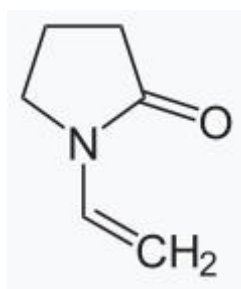
Известно, что молекула **D** содержит 52.96 масс.% углерода. При нормальных условиях данное вещество является бесцветным газом с резким запахом.

3. Определите соединения **A** – **E**. Напишите уравнения соответствующих реакций. **(14 баллов)**

Всего – 20 баллов

Задача 7. Полимерный наноматериал

N-винилпирролидон широко используется как мономер для получения полимера.



Поли-N-винилпирролидон, в отличие от многих других полимеров, хорошо растворим в этаноле. Это свойство используют для стабилизации наночастиц. Чтобы превратить вещество **X** в наночастицы, использовали следующий прием.

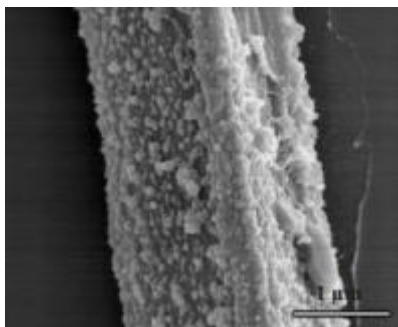
1.97 г простого вещества **X** растворили в растворе кислоты **Y** с образованием бесцветного раствора. Реакция сопровождалась выделением бурого газа. При медленном концентрировании этого раствора из него выделились кристаллы вещества **Z**. Масса полученных кристаллов составила 0.93 г, что соответствует выходу 30%.

К этанольному раствору поли-N-винилпирролидона добавили кристаллы **Z** и интенсивно перемешивали раствор. Постепенно раствор приобрел красный цвет и загустел, а затем стал твердым. Изменяя концентрацию наночастиц **X** в полимере, можно изменять оптические свойства материала, в том числе и показатель преломления.

1. К какому классу относится полученный наноматериал? (2 балла)
2. Из каких частей он состоит? (2 балла)
3. Запишите формулы веществ **X**, **Y**, **Z**. (6 баллов)
4. Запишите уравнение реакции образования полимера, а также все другие реакции, упомянутые в тексте. (6 баллов)
5. Чем обусловлена окраска наночастиц **X**? (2 балла)
6. При проведении опыта при более высокой температуре полимер окрасился в желтый цвет. Сопоставьте размеры наночастиц в образцах поливинилпирролидона, окрашенных в красный и в желтый цвет. (2 балла)

Всего – 20 баллов

Задача 8. Биокаталитическое формирование наноразмерных материалов



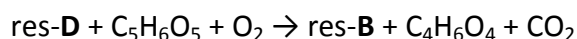
Изучение уникальных свойств элементов скелета стеклянных губок класса *Hexactinellida* может способствовать пониманию молекулярной эволюции опорных структур беспозвоночных животных в скелеты многоклеточных организмов.

Однако самой перспективной практической точкой приложения получаемых знаний представляется разработка новых подходов по биокаталитическому формированию наноразмерных материалов. Так, образование спикул – минеральных элементов скелета губок критично зависит от белка силикатеина, который участвует в формировании неорганических полимеров на основе оксида кремния (IV). Органической матрицей, на которой формируется скелет губок путем отложения соединений кремния, служит фибриллярный белок **X**.

Известно, что белок **X** содержит необычный мотив – повторяющуюся последовательность из трех аминокислотных остатков. Соответствующий данной последовательности трипептид **Y** (молярная масса 301 г/моль) образован остатками аминокислот **A**, **B** и **C**. Соотношение молярных масс аминокислот **A** и **C** составляет 1.75.

1. Если предположить, что **Y** образован только каноническими аминокислотами, возможно ли найти такие структуры **A-C**, которые соответствуют условию? Обязательно приведите логику своих рассуждений, воспользовавшись справочной информацией в конце условия. **(6 баллов)**
2. Сколько ациклических трипептидов с указанной молярной массой можно построить на основе аминокислот **A**, **B** и **C**, найденных Вами при ответе на первый вопрос? **(3 балла)**

В действительности, только аминокислота **C** является канонической. При этом две другие являются структурными изомерами и получаются в одну стадию из остатка (res) канонической аминокислоты **D** по уравнению реакции:



3. Установите структурные формулы аминокислот, если в данной реакции атомы углерода, связанные с атомом азота в молекуле **D**, не подвергаются атаке кислорода. **(6 баллов)**
4. Какой тип межмолекулярных связей, с Вашей точки зрения, является основным в формировании депозитов полимера на основе оксида кремния на белке **X**? **(1 балл)**

Было показано, что силикатеины способны к гидролизу нитратов некоторых металлов с образованием наноразмерных частиц, размещающихся на белковой фибрилле (см. фотографию). Так, наночастицы соединения **Z1** (67.87% металла и 31.15% кислорода по массе) для целей эксперимента получают внесением филамент силикатеина в концентрированный водный раствор нитрата **Z** при 16°C.

5. Установите соединения **Z** и **Z1**, приведя необходимые расчеты. **(4 балла)**

Всего – 20 баллов

Справочная информация по каноническим аминокислотам $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}(\text{R})-\text{COOH}$

Аминокислота	Аббревиатура	Боковая цепь -R	Молярная масса, Да
глицин	Gly	-H	75,1
аланин	Ala	$-\text{CH}_3$	89,1
серин	Ser	$-\text{CH}_2\text{OH}$	105,1
пролин	Pro	$-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-$	115,1
валин	Val	$-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$	117,1
треонин	Thr	$-\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$	119,1
цистеин	Cys	$-\text{CH}_2\text{SH}$	121,2
изолейцин	Ile	$-\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_3$	131,2
лейцин	Leu	$-\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$	131,2
аспарагин	Asn	$-\text{CH}_2\text{CONH}_2$	132,1
аспарагиновая кислота	Asp	$-\text{CH}_2\text{COOH}$	133,1
глутамин	Gln	$-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CONH}_2$	146,1
лизин	Lys	$-(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2$	146,2
глутаминовая кислота	Glu	$-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$	147,1
метионин	Met	$-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SCH}_3$	149,2
гистидин	His	$-\text{CH}_2-\text{C}_3\text{H}_3\text{N}_2$	155,2
фенилаланин	Phe	$-\text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_5$	165,2
селеноцистеин	Sec	$-\text{CH}_2\text{SeH}$	168,1
аргинин	Arg	$-(\text{CH}_2)_3\text{NH}-\text{C}(\text{NH})\text{NH}_2$	174,2
тирозин	Tyr	$-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$	181,2
триптофан	Trp	$-\text{CH}_2\text{C}_8\text{H}_6\text{N}$	204,2



Химия для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Решения. Простые задачи (вариант 2)

Решение задачи 1. Синтез нанопленки

Очевидно, что неметалл – это кислород, вещество – оксид. Ни один из оксидов постоянной валентности не соответствует массовой доле металла 73.4%. Среди смешанных оксидов перебором можно определить формулу Co_3O_4 . **(4 балла)**

Уравнение реакции: $6\text{Co}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 = 2\text{Co}_3\text{O}_4 + 6\text{H}_2\text{O}$. **(4 балла)**

Решение задачи 2. Люминесцентный материал

По условию, объем полимера равен объему мономера, т.е. 20 мл (гексан объемом 2.5 мл испарили). В 20 мл полимера содержится 25 мг люминофора X, в 1 см^3 – 1.25 мг X. **(4 балла)**

Число наночастиц: $1.25 \cdot 10^{-3} / 5.0 \cdot 10^{-18} = 2.5 \cdot 10^{14}$. **(4 балла)**

Решение задачи 3. Оксид графена

В 20% sp^3 -гибридных атомов входят атомы С и О. На одну эпоксидную группу , содержащую 3 атома, приходится 12 неокисленных атомов С в sp^2 -гибридном состоянии. Формула оксида графена – C_{14}O . **(4 балла)** Если учитывалась гибридизация только атомов углерода, то ставился 0 баллов.

Уравнение реакции: $\text{C}_{14}\text{O} + \text{C}_3\text{H}_8\text{O} \rightarrow 14\text{C} + \text{C}_3\text{H}_6\text{O} + \text{H}_2\text{O}$

$m(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}) = 1 / M(\text{C}_{14}\text{O}) \cdot M(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}) = 1 / 184 \cdot 60 = 0.326\text{ г}$. **(4 балла)**

Если в предыдущем пункте была получена неправильная формула, но с ней был проведен правильный расчет по уравнению реакции, за второй пункт ставился максимальный балл.

Решение задачи 4. Нанопорошок

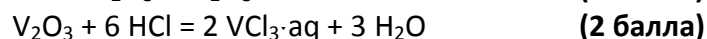
На восстановление 1.0 г неизвестного оксида требуется 0.0133 моль алюминия. Для оксидов уравнения реакций записываются так:

$2\text{Al} + 3\text{M}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{M}$	$v(\text{Al}) = 0.0133\text{ моль}$ $v(\text{M}) = 0.0200\text{ моль}$ $M(\text{M}_2\text{O}) = 50\text{ г/моль}$ $M(\text{M}) = 17\text{ г/моль}$ Подходящего металла нет
$2\text{Al} + 3\text{MO} = \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{M}$	$v(\text{Al}) = 0.0133\text{ моль}$ $v(\text{M}) = 0.0200\text{ моль}$ $M(\text{MO}) = 50\text{ г/моль}$ $M(\text{M}) = 34\text{ г/моль}$ Подходящего металла нет

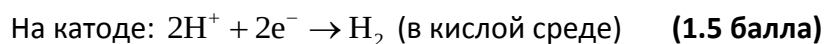
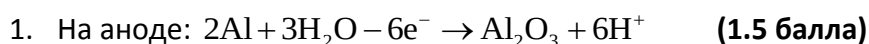
$2 \text{ Al} + \text{M}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 + 2 \text{ M}$	$\nu(\text{Al}) = 0.0133 \text{ моль}$ $\nu(\text{M}) = 0.00667 \text{ моль}$ $M(\text{M}_2\text{O}_3) = 150 \text{ г/моль}$ $M(\text{M}) = 51 \text{ г/моль}$ Подходит ванадий, для которого характерна степень окисления +3.
---	---

Таким образом, нанопорошок имеет состав **V_2O_3** . (4 балла)

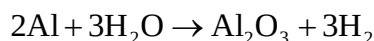
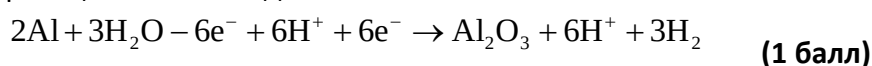
Уравнения реакций:



Решение задачи 5. Анодное окисление



Суммарное уравнение реакции можно получить, сложив реакцию на аноде с тремя реакциями на катоде:



2. По закону Фарадея найдём массу образовавшегося оксида алюминия:

$$m = \frac{QM}{nF}$$

Объём плёнки равен

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

или

$$V = S \cdot h$$

Тогда

$$m = S \cdot h \cdot \rho = \frac{QM}{nF}$$

$$\rho = \frac{QM}{nFS h} = \frac{100 \text{ Кл} \cdot 102 \frac{\text{г}}{\text{моль}}}{6 \cdot 96485 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}} \cdot 1.13 \text{ см}^2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ см}} \approx 3.12 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \quad (4 \text{ балла})$$



Химия для школьников 7 – 11 класса (очный тур)

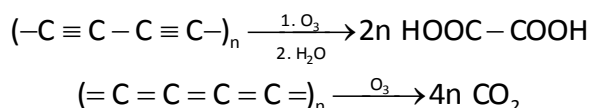
Решения. Более сложные задачи

Решение задачи 6. Карбин

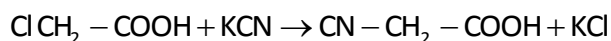
1. α -карбин: $(-C \equiv C - C \equiv C-)_n$
 β -карбин: $(=C = C = C = C=)_n$

Обе структуры линейные. Отличие в строении данных модификаций состоит в различной кратности связей углерод-углерод: в случае α -карбина это чередующиеся одинарные и тройные связи, а в случае β -карбина это только двойные связи.

2. Одним из наиболее простых методов является озонирование карбина, так как α - и β -карбин приведут к различным продуктам окисления:



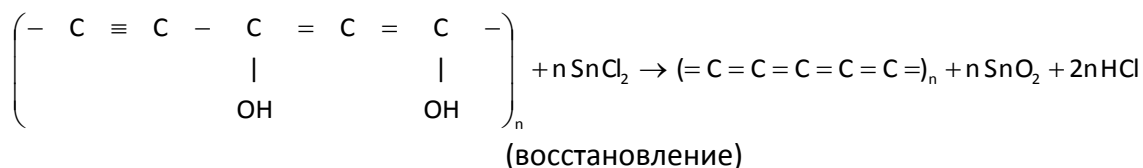
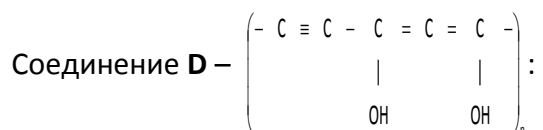
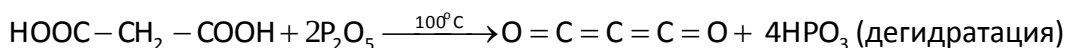
3. Соединение **A** – $NC - CH_2 - COOH$:



Соединение **B** – $HOOC - CH_2 - COOH$:



Соединение **C** – $O = C = C = C = O$:



Система оценивания

1. Структурные формулы с пояснением – **2 балла** (по 1 баллу за каждую структуру)
2. Химический метод – **4 балла**
3. Соединения **A – D** и уравнения реакций – **14 баллов**:

Соединения **A, B** и **C** – по 1.5 балла

Соединение **D** – 2 балла

Уравнения – по 1.5 балла, всего 7.5 баллов.

Всего за задачу 2 + 4 + 14 = 20 баллов

Решение задачи 7. Полимерный наноматериал

1. Наноккомпозит (**2 балла**)
2. Наноккомпозит состоит из наночастиц серебра и полимерной матрицы (**2 балла**)
3. Кислота **Y** – **HNO₃**, так как выделяется бурый газ **NO₂**.

При выходе 100% масса кристаллов составила бы $0.93 / 0.3 = 3.10$ г.

Предполагая, что металл одновалентный, $v(X) = 1.97 / M = v(XNO_3) = 3.10 / (M+62)$,

$M = 108$ (серебро), **X – Ag, Z – AgNO₃**. (**По 2 балла за вещество, всего – 6 баллов**)

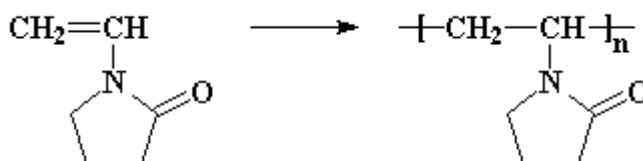
4. $Ag + 2HNO_3 = AgNO_3 + NO_2 + H_2O$

Под действием этанола серебро восстанавливается, образуя наночастицы, которые связываются полимерной матрицей.



При этом N-винилпирролидон и его полимер выступают в роли основания, связывая образующиеся ионы H^+ и повышая pH.

Реакция полимеризации:



(По 2 балла за реакцию, всего – 6 баллов).

5. Окраска наночастиц обусловлена поверхностным плазмонным резонансом. (**2 балла**)
6. Плазменная частота соответствует поглощению света наночастицами. Красная окраска соответствует поглощению зеленого света, а желтая – синего. Синий цвет имеет большую энергию (меньшую длину волны). Энергия плазмона определяется в том числе его поверхностью, она тем больше, чем меньше поверхность, то есть чем меньше размер наночастицы. Соответственно, наночастицы, придающие стеклу желтый цвет, по размеру меньше тех, которые окрашивают полимер в красный цвет. (**2 балла**)

Решение задачи 8. Биокаталитическое формирование наноразмерных материалов

1. Определим суммарную молярную массу аминокислот, образующих **Y**:

$$M(\text{сум.}) = M(\text{Y}) + 2M(\text{H}_2\text{O}) = 301 + 36 = 337 \text{ г/моль}$$

Средняя молярная масса аминокислот, входящих в состав **Y**, составляет $337/3 \approx 112$ г/моль. Только три протеиногенные аминокислоты имеют молярную массу меньше полученного значения – Gly, Ala и Ser. Так как средняя молярная масса относительно небольшая, то соединению **C** однозначно соответствует одна аминокислота из этой тройки. Тогда:

Аминокислота C	Молярная масса A, г/моль	Соответствие
Gly	131	Ile, Leu
Ala	156	-
Ser	183	-

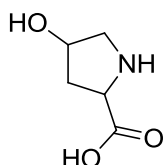
Отсюда единственный вариант состава **Y**: глицин (**C**), изолейцин (**A** или **B**) и лейцин (**A** или **B**). Аминокислотный состав трипептида **Y**: Gly₁-Ile₁-Leu₁.

(структуры A-C по 2 балла; всего 6 баллов)

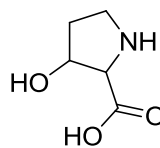
2. Так как в условии спрашивается, сколько ациклических трипептидов с указанной молярной массой можно построить на основе аминокислот **A**, **B** и **C**, то с учетом того, что Ile и Leu – изомеры с одинаковой молярной массой, можно предложить три варианта аминокислотного состава: Gly₁-Ile₁-Leu₁ (1), Gly₁-Ile₂ (2) и Gly₁-Leu₂ (3).

Для вариантов (2) и (3) с учетом неэквивалентности N- и C-концов трипептида можно предложить по 3 структуры (как пример: Gly-Ile-Ile, Ile-Gly-Ile, Ile-Ile-Gly). Для варианта (1) комбинаторика предполагает формирование в пределе 6 пептидов. Тем самым, всего можно предложить 12 вариантов пептидов, построенных из канонических аминокислот. **(3 балла)**

3. Определение баланса атомов для уравнения реакции модификации остатка аминокислоты **D** приводит к заключению, что в структурах аминокислот **B** и **C** появляется дополнительный атом кислорода. Так как молярные массы **B** и **C** совпадают (структурные изомеры!) и составляют $131 - 16 = 115$ г/моль, то соединение **D** – это пролин, Pro. С учетом условия, что в реакции атомы углерода, связанные с атомом азота в молекуле **D**, не подвергаются атаке молекулярного кислорода, можно предложить только две структуры: 3-гидроксипролин и 4-гидроксипролин:



4-гидроксипролин



3-гидроксипролин

(по 3 балла за каждую структуру, всего – 6 баллов)

4. Взаимодействие гидратированного оксида кремния (IV) с белком **X** предопределяется водородными связями. **(1 балл)**
5. Так как на остаток **Z1**, помимо кислорода и металла, приходится 0.98% массы молекулы, то, судя по всему, **Z1** содержит водород. Тогда можно рассчитать молярное соотношение O:H для **Z1**, которое составляет 2:1. Запишем структуру **Z1** как $M_3(OOH)_n$, где n – степень окисления металла. Тогда молярная масса металла:

$$M = \frac{67.87 \cdot 32,00 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot n}{3 \cdot 31.15} = 23,24 \cdot n$$

При $n = 3$ получаем, что искомый металл – галлий ($M = 69.72$ г/моль).

Отсюда **Z1** – GaOOH (метагидроксид галлия), образующийся при гидролизе вещества **Z** – нитрата галлия (III) $Ga(NO_3)_3$.

(формулы Z и Z1 по 2 балла; всего 4 балла)

XII Всероссийская Интернет-олимпиада по нанотехнологиям
"Нанотехнологии-прорыв в будущее"
2017-2018