

# NANO XI

НАНОТЕХНОЛОГИИ - ПРОРЫВ В БУДУЩЕЕ!

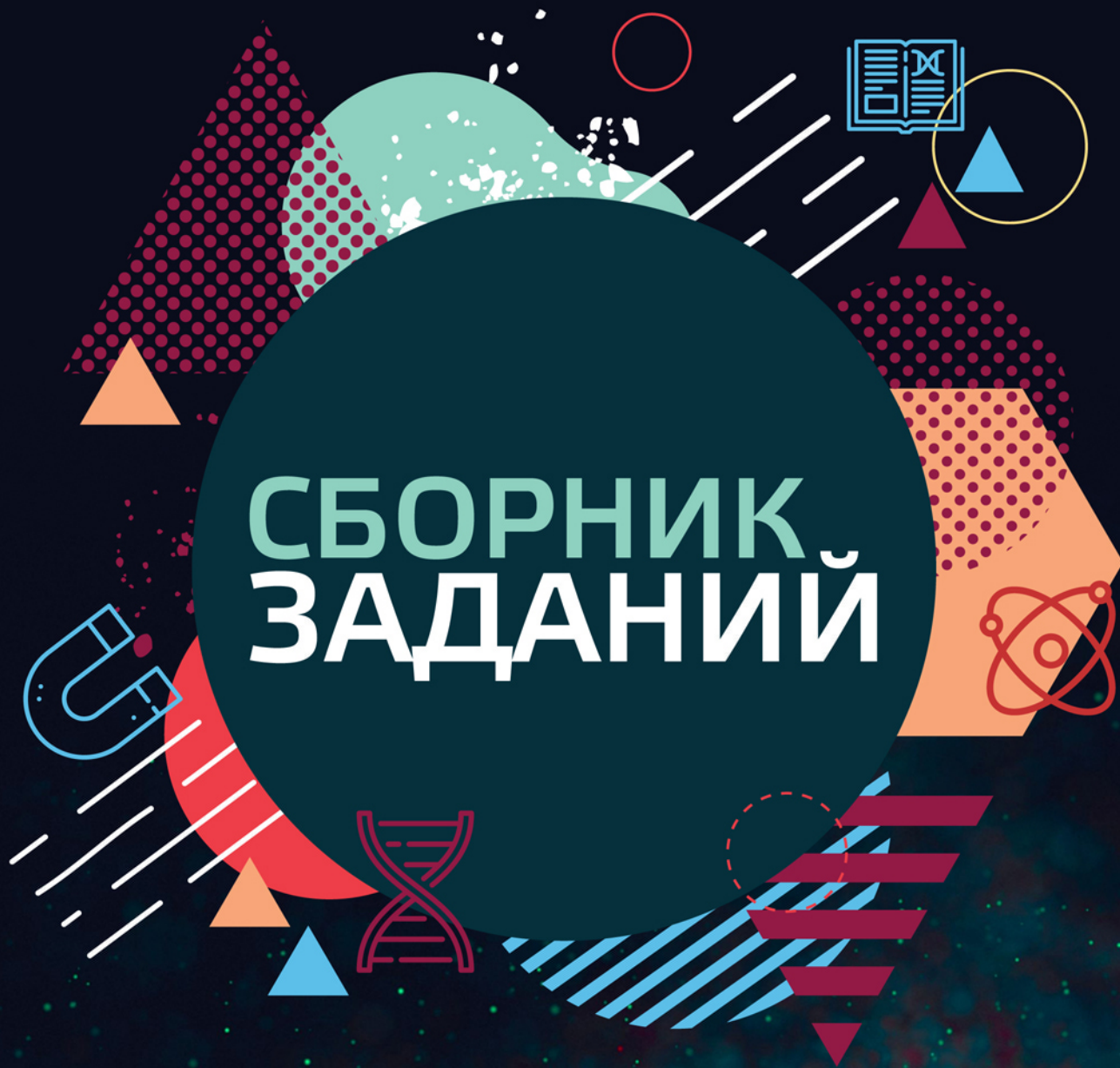


МОСКОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА



РОСНАНО  
ФОНД ИНФРАСТРУКТУРЫ  
И ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА

## СБОРНИК ЗАДАНИЙ



## Содержание

|  |    |
|--|----|
| National Student Team Contest  | 6  |
| Laser transfer of nanoparticles  | 8  |
| Решение (Laser transfer of nanoparticles)                                | 9  |
| Surface-enhanced Raman spectroscopy in biomedical applications           | 10 |
| Решение (Surface-enhanced Raman spectroscopy in biomedical applications) | 11 |
| Heart studies  | 12 |
| Решение (Heart studies)  | 14 |
| How to watch nanoparticles   | 15 |
| Решение (How to watch nanoparticles)                                     | 16 |
| Blood-brain barrier  | 17 |
| Решение (Blood-brain barrier)  | 18 |
| X-ray diffraction for the analysis of nanoparticles                      | 19 |
| Решение (X-ray diffraction for the analysis of nanoparticles)            | 21 |
| Heating nanowires  | 23 |
| Решение (Heating nanowires)  | 24 |
| Colored nanofilms  | 25 |
| Решение (Colored nanofilms)  | 26 |
| Hydrophobic solar cells  | 28 |
| Решение (Hydrophobic solar cells)  | 29 |
| Nanobattle for iron  | 30 |
| Решение (Nanobattle for iron)  | 32 |
| Гениальные мысли   | 34 |
| Задание  | 35 |
| Юный эрудит  | 36 |
| Наноматериалы из углерода: 3 x 4   | 39 |
| Решение (Наноматериалы из углерода: 3 x 4)                               | 40 |
| Самый легкий углерод   | 42 |
| Решение (Самый легкий углерод)   | 43 |
| Почему возникает окраска   | 44 |
| Решение (Почему возникает окраска)                                       | 45 |
| Пропорции  | 46 |
| Решение (Пропорции)  | 47 |
| Площадь России   | 48 |
| Решение (Площадь России)   | 49 |
| Электронный нос  | 50 |
| Решение (Электронный нос)  | 51 |
| Барьер для вирусов   | 52 |
| Решение (Барьер для вирусов)   | 53 |
| Таинственное число   | 54 |
| Решение (Таинственное число)   | 55 |



|   |     |
|---|-----|
| Жирные и полезные   | 56  |
| Решение (Жирные и полезные)                               | 58  |
| Кто они?  | 59  |
| Решение (Кто они?)  | 60  |
| Странное соседство  | 61  |
| Решение (Странное соседство)                              | 62  |
| Закон Мура и нанотехнологии                               | 63  |
| Решение (Закон Мура и нанотехнологии)                     | 64  |
| Модели нанотрубок своими руками                           | 65  |
| Решение (Модели нанотрубок своими руками)                 | 67  |
| Перекладывание атомов кластера                            | 69  |
| Решение (Перекладывание атомов кластера)                  | 70  |
| Число связей  | 71  |
| Решение (Число связей)                                    | 72  |
| Кроссворд   | 73  |
| Решение (Кроссворд)                                       | 75  |
| Математика для школьников                                 | 77  |
| Гидрирование C20  | 79  |
| Решение (Гидрирование C20)                                | 80  |
| Статистические сополимеры                                 | 81  |
| Решение (Статистические сополимеры)                       | 82  |
| Перекладывание атомов в кубиках                           | 83  |
| Решение (Перекладывание атомов в кубиках)                 | 84  |
| Углеродный нанобублик                                     | 85  |
| Решение (Углеродный нанобублик)                           | 86  |
| Гомологический ряд борофенов                              | 88  |
| Решение (Гомологический ряд борофенов)                    | 89  |
| Икосаэдрические фуллерены и индексы хиральности           | 91  |
| Решение (Икосаэдрические фуллерены и индексы хиральности) | 92  |
| Митохондриальная Ева и ближайший общий предок             | 94  |
| Решение (Митохондриальная Ева и ближайший общий предок)   | 96  |
| Контактное число  | 99  |
| Решение (Контактное число)                                | 101 |
| Чертова дюжина  | 103 |
| Решение (Чертова дюжина)                                  | 104 |
| Триплетный Код Полуэкта                                   | 111 |
| Решение (Триплетный Код Полуэкта)                         | 113 |
| Конкурс тьюторов  | 117 |
| Задание   | 119 |
| Биология для школьников                                   | 122 |
| Карик и Валя. Возможно ли это?                            | 124 |
| Решение (Карик и Валя. Возможно ли это?)                  | 125 |
| Бактерии на страже окружающей среды                       | 126 |

|   |            |
|---|------------|
| Решение (Бактерии на страже окружающей среды)     | 127        |
| Планета Kepler-22b                                | 128        |
| Решение (Планета Kepler-22b)                      | 129        |
| Царевна-лягушка                                   | 130        |
| Решение (Царевна-лягушка)                         | 131        |
| «Золотое руно»                                    | 132        |
| Решение («Золотое руно»)                          | 133        |
| Инкрустированный золотом                          | 134        |
| Решение (Инкрустированный золотом)                | 135        |
| Генномодифицированные мыши                        | 136        |
| Решение (Генномодифицированные мыши)              | 137        |
| Наночастицы в тераностике                         | 138        |
| Решение (Наночастицы в тераностике)               | 139        |
| Вирусы  | 140        |
| Решение (Вирусы)                                  | 141        |
| «Король вступил под своды Храма Истины»           | 143        |
| Решение («Король вступил под своды Храма Истины») | 145        |
| <b>Химия для школьников</b>                       | <b>146</b> |
| Беттгерровский люстр                              | 148        |
| Решение (Беттгерровский люстр)                    | 149        |
| Наночастицы из воздуха                            | 150        |
| Решение (Наночастицы из воздуха)                  | 151        |
| Фуллерен на службе у полимера                     | 152        |
| Решение (Фуллерен на службе у полимера)           | 153        |
| Дендример, молекула-дерево                        | 154        |
| Решение (Дендример, молекула-дерево)              | 155        |
| Перспективный наноматериал                        | 157        |
| Решение (Перспективный наноматериал)              | 158        |
| Наностержни из кристаллов                         | 159        |
| Решение (Наностержни из кристаллов)               | 160        |
| Уравнения нано-реакций                            | 161        |
| Решение (Уравнения нано-реакций)                  | 162        |
| Иммобилизация на наночастицах                     | 163        |
| Решение (Иммобилизация на наночастицах)           | 164        |
| Непростая целлюлоза                               | 166        |
| Решение (Непростая целлюлоза)                     | 167        |
| Дизайн наночастиц de novo                         | 170        |
| Решение (Дизайн наночастиц de novo)               | 171        |
| <b>Физика для школьников</b>                      | <b>174</b> |
| Наночастицы серы                                  | 176        |
| Решение (Наночастицы серы)                        | 177        |
| Легированная наночастица                          | 178        |
| Решение (Легированная наночастица)                | 179        |

|  |     |
|--|-----|
| Получение фуллеренов                             | 180 |
| Решение (Получение фуллеренов)                   | 181 |
| Сепарация наночастиц по размерам                 | 182 |
| Решение (Сепарация наночастиц по размерам)       | 183 |
| Плаваемость наночастиц для биомедицины           | 184 |
| Решение (Плаваемость наночастиц для биомедицины) | 185 |
| Нанопленка для солнечных элементов               | 186 |
| Решение (Нанопленка для солнечных элементов)     | 187 |
| Люминесценция квантовых точек                    | 188 |
| Решение (Люминесценция квантовых точек)          | 189 |
| Оптоакустические наноконтрасты                   | 190 |
| Решение (Оптоакустические наноконтрасты)         | 191 |
| Нанопонтоны из графена - нанотрубка              | 192 |
| Решение (Нанопонтоны из графена - нанотрубка)    | 193 |
| Взрыв нанокластера                               | 195 |
| Решение (Взрыв нанокластера)                     | 196 |
| Задания очного тура                              | 198 |





# National Student Team Contest

National Student Team Contest

Категория участников: bachelor and master students

A competition among bachelor and master students of higher school includes solving special tasks on nanotechnology and nanomaterials subjects in English to select the best **national team members** for participation in International NanoOlympic contest on nanotechnology in Iran.

## Задания

### 1. Laser transfer of nanoparticles

One of relatively new methods of nanoparticles (NP) synthesis is so called laser transfer. The method implies an irradiation of thin film of a given material by femtosecond laser pulses...

### 2. Surface-enhanced Raman spectroscopy in biomedical applications

During the last decades surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) became a popular technique in biomedical research, since it can provide an information about single molecules inside living cells...

### 3. Heart studies

Cardiovascular diseases are the most wide-spread pathologies around the world and the main reason of death in most countries...

### 4. How to watch nanoparticles

Due to the multiple applications of various nanoparticles in biomedical research there is a high need to investigate nanoparticle interactions with cells...

### 5. Blood-brain barrier

The maintenance of the normal brain function is impossible without constant brain supply with  $O_2$ ,  $H_2O$ , and necessary nutrients. Besides, it is also important to prevent penetration of many chemicals into the brain...

## **6. X-ray diffraction for the analysis of nanoparticles**

Dr. Paul Scherrer was a Swiss physicist, who published the paper on the use of XRD to estimate crystallite size in 1918. That happened only 6 years after the first X-ray diffraction pattern was described by Laue...

## **7. Heating nanowires**

Laser-induced effects are important in the study of nanostructures. Estimate the maximum temperature to which the isolated germanium nanowires can be heated during  $t = 10$  s...

## **8. Colored nanofilms**

Young researcher Ul'yana has made a thin porous aluminum film, which was colored green (wavelength - 530 nm), if one was seeing by a normal to the film...

## **9. Hydrophobic solar cells**

Solar cell technologies are rapidly developing nowadays. Not only efficiency of the cells is important, but also usability. So, Russian engineers decided to modify solar cells by extremely thin nanocoating...

## **10. Nanobattle for iron**

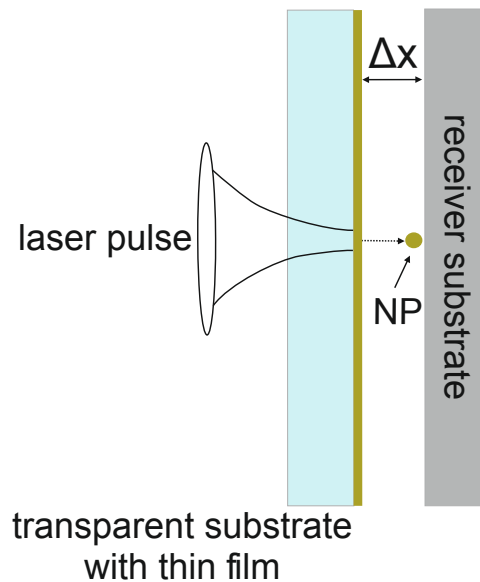
Most of living beings can't exist without molecules, the main function of which is to bind free iron, to transport or to store it. Typically these molecules are proteins or polypeptides derivatives...



## National Student Team Contest (first stage) Task 1. Laser transfer of nanoparticles

One of relatively new methods of nanoparticles (NP) synthesis is so called laser transfer. The method implies an irradiation of thin film of a given material by femtosecond laser pulses, which results in local heating and melting of the film followed by the single nanoparticles formation. The irradiation of the film from the transparent substrate side makes it possible to transfer the nanoparticles onto the receiver substrate, which is placed within certain distance  $\Delta x$  from the film surface.

What maximum distance between the film and the receiver substrate may be overpassed by the spherical gold NP with the diameter of 400 nm in water, if it is known that this value for twice smaller nanoparticle in air is equal to 250 nm? Suppose that initial velocities of nanoparticles in air and in water are equal, and that there is a medium resistance which is proportional to their velocities and radius, while proportionality coefficients ratio in water and in air is 50:1. **(6 points)**



**Total – 6 points**





## National Student Team Contest (first stage)

### Solution of task 1. Laser transfer of nanoparticles

The motion equation of NP with a mass  $m$  along the axis  $x$  is:

$$ma = m \frac{dv}{dt} = -krv$$

Using separation of variables and integration one will have:

$$v = v_0 e^{-\frac{kr}{m}t},$$

where  $v_0$  – initial velocity, and  $k$  – proportionality coefficient of resistance force.

Taking into account that  $v = \frac{dx}{dt}$ , the law of motion along the axis  $x$  can be obtained by the additional integration:

$$x = \frac{m}{kr} v_0 (1 - e^{-\frac{kr}{m}t})$$

It is obvious that the distance between NP and the film surface converges the maximum value (in the limit of infinite time):

$$x_{\max} = \frac{m}{kr} v_0 = \frac{4/3 \pi r^2 \rho}{k} v_0$$

Let  $r_1 = 200$  nm,  $r_2 = 400$  nm,  $k_2 = 50k_1$ ,  $x_{\max 1} = 250$  nm (1- air, 2 - water).

$$\text{Finally: } x_{\max 2} = \frac{k_1 r_2^2}{k_2 r_1^2} x_{\max 1} = \frac{1}{50} \cdot 4 \cdot 250 \text{ nm} = \mathbf{20 \text{ nm.}}$$



## National Student Team Contest (first stage)

### Task 2. Surface-enhanced Raman spectroscopy in biomedical applications

During the last decades surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) became a popular technique in biomedical research, since it can provide an information about single molecules inside living cells. The idea about getting information from individual molecules in cells is highly attractive, because this can allow to monitor various cellular properties with high selectivity and sensitivity, to distinguish various cell states and to detect pathological changes in early stages. Briefly, in SERS Raman scattering is enhanced by many orders of magnitude if probed molecules are located near silver or gold nanostructures and if the excitation conditions match the plasmon resonance.

1. Specify, what are the basic requirements to nanostructures and to the excitation conditions to achieve SERS from the studied sample. **(1 point)**

For the successful SERS application in studies of living cells the key point are nanostructures, which properties should match various requirements.

2. What are the basic requirements to nanostructures to make them usable in cell studies? **(1 point)**

All SERS-active nanostructures, that are currently used in medicine and biology can be schematically divided into two groups: (1) nanostructures that are used for the enhancement of Raman scattering from the desired biological molecules; (2) nanostructures – specific probes, that consists of the nanostructure with the attached molecules, that provide information about surrounding properties, e.g.: pH, Ca<sup>2+</sup> concentration, etc.

3. Give several examples of application of these two groups of nanostructures to study cell properties. **(1.5 points)** Specify and explain the requirements to the properties of nanostructures of both groups to make them applicable in serial biomedical studies. **(1.5 points)**

Imagine, that you need to study processes of DNA fragmentation in the cell nucleus. For this purpose you have to develop nanostructures that will be delivered to the nucleus. Nanostructure surface can be modified by any molecules you need to achieve the goal.

4. What should be the whole design of the nanostructure? How will you deliver the nanostructures into the cell cytoplasm? How should it be modified to enter the cell nucleus? **(3 points)**

**Total – 8 points**



## National Student Team Contest (first stage)

### Solution of task 2. Surface-enhanced Raman spectroscopy in biomedical applications

1. The laser wavelength and the Raman scattering of the studied molecule should overlap the plasmon resonance of the nanostructure.
2. Nanostructures should be cell-friendly, e.g. they should not affect cell properties and at the same time they should be stable in physiological solutions. Nanostructures should be free of the synthesis by-products or by-products should be non-toxic for cells. Nanostructures should provide stable signal enhancement, meaning that in various experiments with the similar biological objects SERS spectra will be highly reproducible. Nanostructures should attach to the desired region inside or outside the cell to provide enhancement of Raman scattering of studied molecules.
3. Studies of cytochrome c in living mitochondria; submembrane Hb in erythrocytes, detection of bacteria in blood, evaluation of intracellular pH, amount of  $O_2^-$ , etc.

First group: the main requirement is as in question 2. Additional requirement: if these nanostructures' surface is modified by some molecules to attach the cell or some specific cell structure/molecule, the molecule-modifier should not give an enhanced Raman scattering itself.

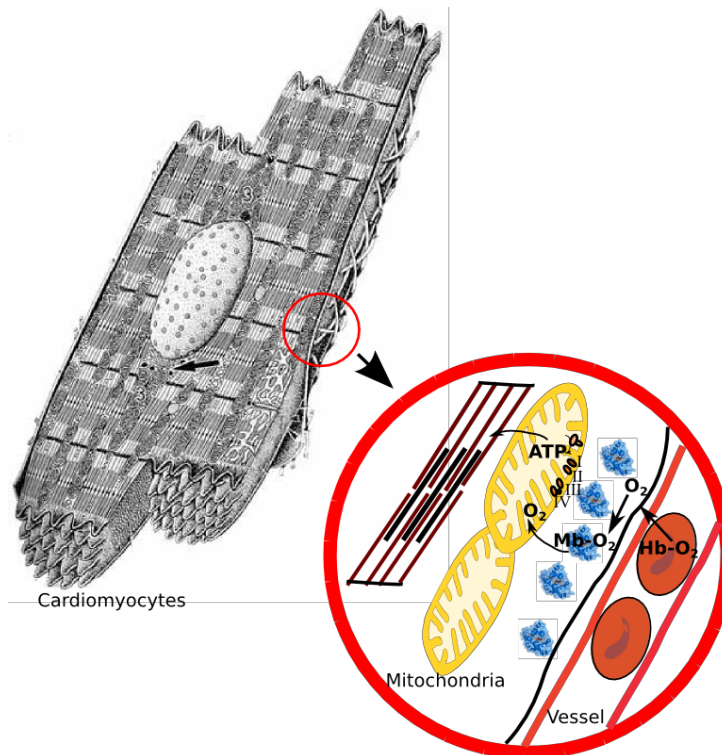
Second group: the molecule-probe, attached to the surface of nanostructure, should fulfill the following requirements: its Raman spectrum is (i) enhanced by nanostructures and (ii) depends on the surrounding property that is studied: pH, pCa, amount of reactive oxygen species, etc.

4. The delivery of nanoparticles to the cell cytoplasm usually occurs by the endocytosis. To increase the rate of endocytosis, it is possible to modify the nanoparticle surface with the specific peptide for intracellular localization. The second stage is to cause the release of the nanostructure from the lysosome to the cytoplasm, so, the nanostructure should have on its surface the peptide, which will cause the pore in the lysosome. And the last one, the nanostructure should have the signal of nuclear localization. Importantly, all these molecules should not give the SERS themselves and they should not interfere the enhancement of Raman scattering from the DNA or nuclear proteins.



**National Student Team Contest (first stage)**  
**Task 3. Heart studies**

Cardiovascular diseases are the most wide-spread pathologies around the world and the main reason of death in most countries. So, it is not surprising, that the development of new techniques to monitor the state of heart and the synthesis of the new drugs to treat heart diseases attract a lot of attention. One of the main reasons of heart chronic or acute pathologies is the lack of  $O_2$  in heart muscle cells – cardiomyocytes.  $O_2$  is necessary for the function of the respiratory chain in cardiomyocytes' mitochondria and, consequently, ATP synthesis. In its turn, ATP is necessary for the cardiomyocyte contraction. Coronary arteries constantly bring  $O_2$  to cardiomyocytes. Besides, in cardiomyocyte cytoplasm  $O_2$  is bound and stored in myoglobin (Mb) molecules, that release  $O_2$  to mitochondria in conditions of low  $pO_2$  maintaining function of the respiratory chain for some period of time. Deoxymyoglobin (Mb without bound  $O_2$ ) binds new molecules of  $O_2$  after the restoration of the heart supply with the arterial blood. The figure demonstrates schematically the penetration of  $O_2$  from erythrocytes to cardiomyocyte cytoplasm, mitochondria and binding to Mb.



Acute local hypoxia hypoxia (the acute decrease in the amount of oxygen or the complete  $O_2$  absence in blood in coronary arteries) can lead to the death of cardiomyocytes and heart infarction. It is known, that the main processes leading to cardiomyocyte death occur not during the hypoxia period, but during the reoxygenation – restoration of blood supply.

1. Describe the processes occurring in cardiomyocytes and especially in the mitochondrial respiratory chain under hypoxia and after reoxygenation. What happens to the complexes of the respiratory chain (what is the redox state of the electron carriers, etc)? Which processes can lead to apoptosis of cardiomyocytes? **(2 points)**

2. Suggest molecules, which application can facilitate pathological conditions in cardiomyocytes under oxidative stress developing under reoxygenation. Justify your suggestion. **(0.5 points)**
3. Which method/methods can you propose to study redox state of the respiratory chain cytochromes in the intact heart? **(1.5 points)**
4. Suggest the methods to monitor the restoration of cardiomyocyte supply with O<sub>2</sub>. **(1.5 points)**
5. Various infections, chronic heart pathologies may lead to the development of the pericarditis. Colchicine is a tested drug that is under the medical trials for the treatment of pericarditis and other inflammations of the heart tissues. However, colchicine is highly toxic and its oral administration can lead to severe diarrhea in patients. What is the cellular target of colchicine? Suggest the possible design of the colchicine-containing “drug” to decrease the gastrointestinal side-effects. **(2.5 points)**

**Total – 8 points**



## National Student Team Contest (first stage)

### Solution of task 3. Heart studies

1. Under hypoxia due to the lack of  $O_2$  – final electron acceptor in respiratory (or electron-transport chain, ETC) – there is the elevation in the amount of reduced electron carriers in ETC (since there is no way to give an electron). The reduction of ETC complexes will stop ETC function and, as a result, will stop ATP synthesis. In its turn, absence of ATP causes stopping of cardiomyocyte contractions. The stop of ETC will cause the accumulation of NADH and FADH<sub>2</sub> and will slow down the rate of the Crebs cycle and beta-oxydation of fatty acids. Under reoxygenation the rapid and acute flow of  $O_2$  will trigger formation of reactive oxygen species (ROS), since electrons will go to the  $O_2$  molecules from complexes I and III that are overfilled with electrons. The elevation of ROS will cause oxidative stress in cytoplasm – oxidation of various cell molecules, including DNA. Besides, oxidation of ETC complexes leads to the formation of PMP (permeability mitochondria pore) and cytochrome c exit to the cytoplasm with the initiation of apoptosis.
2. Any molecules that can scavenge ROS: beta-carotene, vitamin A, E, etc.
3. Raman spectroscopy can be used for the selective study of cytochromes. Laser excitation at 532 nm will excite Raman scattering from cytochromes c and b-type in ETC, laser with 633 nm wavelength will excite Raman scattering of cytochromes a. Raman spectra of cytochromes depend on their redox state, so by characteristic Raman peaks it is possible to monitor change in the relative amount of reduced cytochromes.
4. This can also be done by Raman spectroscopy. Thus, Mb molecules have highly specific Raman scattering. Under laser excitation at 532 nm it is possible to record Raman scattering from all Mb forms in cardiomyocyte cytoplasm and to tell about the relative amount of oxymyoglobin. The increase in the amount of oxyMb will correspond to the restoration of the blood flow to the studied region in a heart.
5. Colchicine interacts with tubulin preventing its polymerization and formation of microtubules thus interfering any cell activity associated with microtubules. Availability of tubulin is essential for the mitosis, so colchicine stops the mitosis. Colchicine is known to have anti-inflammatory action since it inhibits neutrophil motility and activity. To decrease its toxicity many researchers try to develop non-toxic cages that will encapsulate colchicine preventing its gastrointestinal side-effects.





## National Student Team Contest (first stage)

### Task 4. How to watch nanoparticles

Due to the multiple applications of various nanoparticles in biomedical research there is a high need to investigate nanoparticle interactions with cells and to trace absorption of nanoparticles on plasma membrane of cells and to monitor nanoparticles penetration to the cell cytoplasm. You have following techniques: transmission electron microscopy, scanning electron microscopy, atomic force microscopy, scanning ion-conductance microscopy, laser interference microscopy, fluorescent two-photon microscopy. Your aims are to study (a) absorption of nanoparticles on the surface of erythrocytes; macrophages; neurons; epithelial cells and (b) distribution of nanoparticles in cytoplasm of macrophages, neurons and epithelial cells.

1. Which methods will you use in cases (a) and (b) for each cell type. Explain your choice **(1 point)**.
2. What kinds of artefacts can be observed in the proposed studies? **(1 point)**
3. Which method is preferential to study (i) shape and (ii) cytoplasm structure for the each cell type. Explain. **(1 point)**
4. Give the example of the investigation of one of the enumerated cell types using nanoparticles. **(1 point)**

**Total – 4 points**

## National Student Team Contest (first stage)

### Solution of task 4. How to watch nanoparticles

- (a) Erythrocytes: SEM, AFM, SICM (not fluorescence microscopy, since hemoglobin will interfere with the fluorescence signal); macrophages, neurons and epithelial cells: AFM, SICM (SEM is not good, since preparation of these cells for SEM studies can significantly change cell properties). LIM will not be applicable in all cases, since nanoparticles are too small to be detected by this technique.

(b) Fluorescent microscopy (SEM and AFM give information about cell surface only). TEM, but the preparation of cells can affect significantly cell state.
- (a) SEM – modification of cell shape and poor visibility of nanoparticles; AFM and SICM – mechanical removal of nanoparticles from the cell surface by probe. AFM can affect cell shape if cells are in living conditions.

(b) Application of fluorescent microscopy: photodamage.
- Shape: in all cases it is better to use SICM, since it allows to work in liquid with living cells with the minimal cell damage during scanning procedure. Cytoplasm structure: fluorescent two-photon microscopy.
- Application of silver or gold nanoparticles to cells (for example, erythrocytes) is used in surface-enhanced Raman spectroscopy to enhance Raman scattering from cell molecules (Hb).



## National Student Team Contest (first stage)

### Task 5. Blood-brain barrier

The maintenance of the normal brain function is impossible without constant brain supply with O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, and necessary nutrients. Besides, it is also important to prevent penetration of many chemicals, bacteria and viruses into the brain tissue. Blood-brain barrier (BBB) acts as a highly efficient and selective filter allowing penetration of the desired molecules and blocking the entrance of the unwanted ones.

1. What are the components of the blood-brain barrier. What proteins are involved in the building of the BBB? **(0.5 points)**
2. Which chemicals can pass the barrier and which chemicals are stopped? **(0.5 points)**
3. What kind of diseases affect blood-brain barrier leading to the increase in its permeability to molecules with high molecular weight? **(0.5 points)**
4. Describe the methods that are used to study permeability of the blood-brain barrier and the function of its cellular components in general. **(2 points)**
5. Propose, how gold nanoparticles can be used to study blood-brain barrier function? Why are gold nanoparticles better than silver ones? Enumerate the possible artifacts that can arise from the use of nanoparticles in blood-brain barrier studies. **(1.5 points)**

**Total – 5 points**

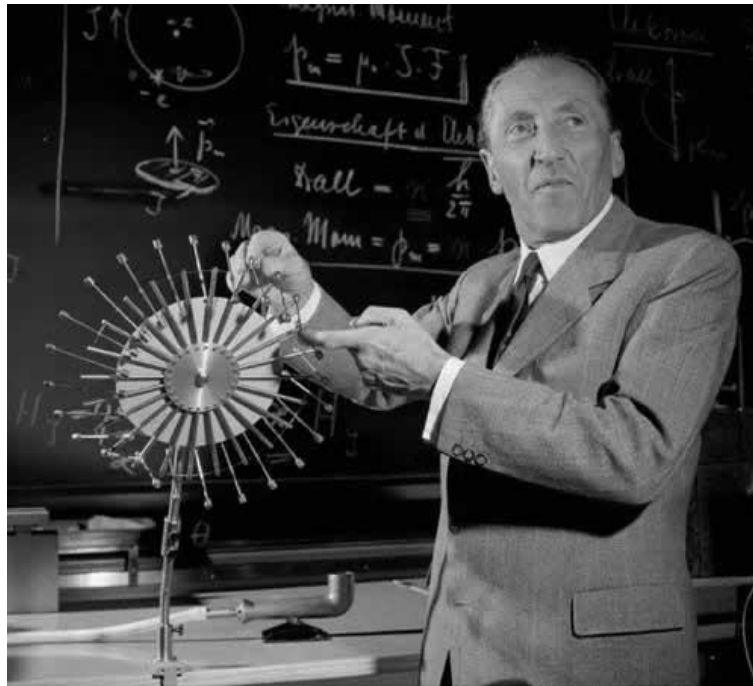


## National Student Team Contest (first stage)

### Solution of task 5. Blood-brain barrier

1. Blood vessel endothelial cells with tight junctions between them, astrocytic endfeet composing “glia limitans”. Occludin, claudin, etc.
2. Molecules with low molecular weight, many lipophilic molecules are allowed to pass. Some peptides can cross the barrier by means of specialized mechanisms. Large molecules, most hydrophilic molecules are prevented from passage.
3. Meningitis, brain abscesses, epilepsy, Alzheimer’s disease, hypoxia and brain ischemia, brain trauma, rabies, tse-tse fly disease.
4. Timed injection of fluorescent dyes into the blood stream followed by estimation of dye diffusion into the tissue. Accumulation of radio-labeled metabolites in the brain tissue followed by radio-autographing brain sections.
5. Timed injection of gold nanoparticles of different sizes into the blood stream followed by the estimation of gold nanoparticle autofluorescence or Raman scattering in neurons and astrocytes. Different size of nanoparticles allows to estimate approximate geometrical size of molecules that can pass blood-brain barrier. Au nanoparticles are more preferable comparing to Ag nanoparticles, since their Raman scattering lies in the visible spectral range and their autofluorescence is excited by longer wavelengths, than autofluorescence of Ag nanoparticles. Therefore, laser excitation of Au nanoparticle autofluorescence and Raman scattering is less harmful for nerve cells, than laser excitation of autofluorescence and Raman scattering of Ag nanoparticles. The main artifact is that nanoparticles can penetrate to brain tissues not only through the “holes” in the blood-brain barrier, but also via endocytosis in endothelial cells, that would give an artificial overestimation of the blood-brain barrier penetrability.

**National Student Team Contest (first stage)**  
**Task 6. X-ray diffraction for the analysis of nanoparticles**



[http://www.library.ethz.ch/exhibit/Traum\\_Reaktor/paul\\_scherrer.html](http://www.library.ethz.ch/exhibit/Traum_Reaktor/paul_scherrer.html)

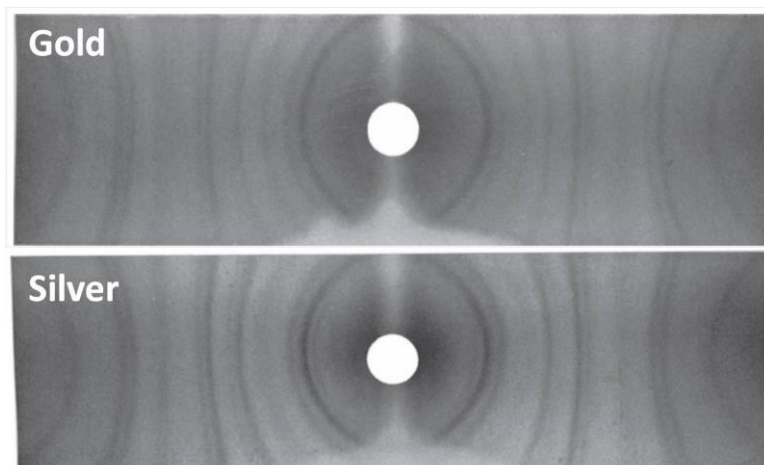
Dr. Paul Scherrer was a Swiss physicist, who published the paper on the use of XRD to estimate crystallite size in 1918. That happened only 6 years after the first X-ray diffraction pattern was described by Laue. The equation proposed by Scherrer is still in use because of its simplicity and minimum of related parameters and constants:

$$B(2\theta) = \frac{K\lambda}{L \cos \theta} ,$$

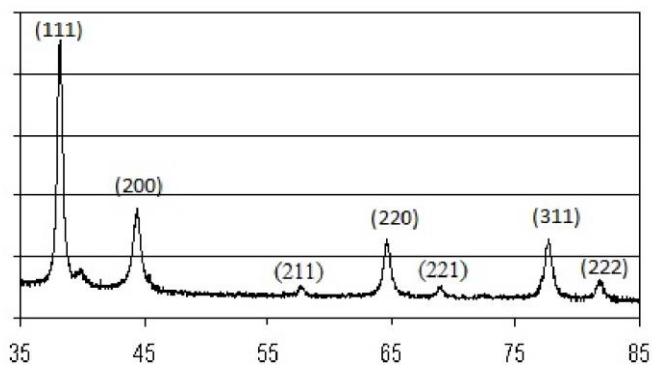
namely,  $K$  is the Scherrer constant,  $\lambda$  is the wavelength of X-rays,  $\theta$  is a half of the diffraction angle. Nevertheless,  $L$  is the coherence length which is not the true particle size or crystallite size and a list of limitations should be in mind.

1. What are the limitations for Scherrer equation? **(2 points)**
2. What is the range for Scherrer constant  $K$  and what are the key parameters which affect its value? **(2 points)**
3. What materials were in the first list of samples examined by Prof. Scherrer in late 1918? What kind of anode and monochromator were applied in those experiments? **(1 point)**
4. Two of the samples were nanoparticles of gold and silver. Compare qualitatively the average values for coherence lengths  $L$  using the experimental data by Prof. Scherrer. **(1 point)**





5. Which of the reflections in the following XRD pattern of gold are most appropriate for the coherence length calculation? **(1 point)**



**Total – 7 points**



**National Student Team Contest (first stage)**  
**Solution of task 6. X-ray diffraction for the analysis of nanoparticles**

1. The easiest equation to estimate the crystalline particle distribution using your experimental powder diffraction data is Scherrer equation. Applicability of the Scherrer equation could be limited the following constraints and restraints:

- The peak broadening depends on equipment to be applied. Therefore, before the experiment the known model nanopowders of preliminary determined coherence length and crystallinity should be tested with the same diffractometer to reveal the instrumental broadening.
- Asymmetry of reflection makes them inappropriate for Scherrer equation.
- The overlapping reflections are not performed for crystallite size calculation using Scherrer equation.
- Significant microstrain and dislocations are able to contribute to broadening of Bragg reflections equal to instrumental broadening.

$$B(2\theta) = 4\varepsilon \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$$

is the microstrain broadening where  $\varepsilon$  is the local strain.

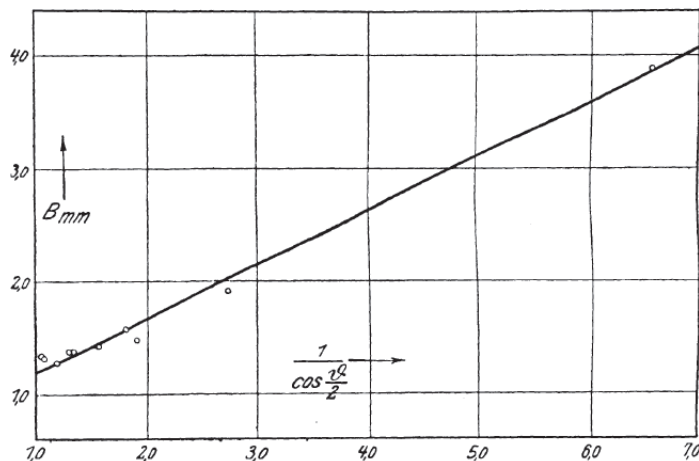
- Most of nanomaterials are nearly perfect because the particle size is smaller than size of dislocations or fracture, however temperature factor also take a part. Debye-Waller factor to be used to describe thermal vibrations, it should be estimated and correlate the reasonable result.

2. The Scherrer constant depends on shape of crystalline particles.

According to Scherrer's results in 1918 the broadening parameter  $B$  is varied with  $\theta$  as the following:

$$B = 2 \sqrt{\frac{\ln 2}{\pi} \cdot \frac{\lambda}{L} \cdot \frac{1}{\cos^2 \frac{\theta}{2}} + b} \tag{1}$$

where  $\theta$  is the diffraction angle,  $L$  is the rib length of polyhedron crystallite,  $b$  is the characteristic lattice symmetry constant. The linear plot for the broadening parameter by Dr. Scherrer is given below. [1]



Nowadays, smaller values of Scherrer parameter (such as 0.89-0.96) are in use for coherence lengths estimation.

For example, the round shape nanoparticles of cubic symmetry (like metal gold and silver in Dr. Scherrer's experiments) corresponds to the K constant of about 0.9.

3. In his publication in 1918 Prof. Scherrer discussed XRD patterns of a series of inorganic nanocrystallites, namely, colloidal precipitates of gold, silver and silicagel. For a comparison he analyzed three organic colloids including gelatin, starch, and cellulose.

The XRD data were collected using a transmission geometry diffractometer and Cu K radiation. The corresponding  $\beta$ - and  $\gamma$ -lines were described by Scherrer as "less intensive" lines.

4. Gold nanoparticles should be smaller because of broader lines in diffractograms. Both metals have equivalent lattice constants and the same Fm3m space group and so the parameter  $b$  (Eq. 1) is to be similar for both the materials. Gold: 4.065(1) Å, Silver: 4.079(1) Å.

Coherence length for gold nanoparticles in precipitate was estimated to be  $\sim 9$  nm. For the silver sample  $L$  reached 16 nm approximately.

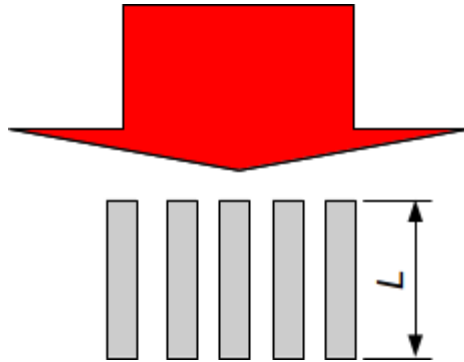
5. Reflection (200) is the most appropriate for analysis.

#### References:

- [1] P. Scherrer, *Bestimmung der Grösse und der inneren Struktur von Kolloidteilchen mittels Röntgenstrahlen*, Nachr. Ges. Wiss. Göttingen. **26** (1918) 98-100.
- [2] J. I. Langford and A. J. C. Wilson. *Scherrer after sixty years: a survey and some new results in the determination of crystallite size*. J. Appl. Cryst. **11** (1978) 102-113.



**National Student Team Contest (first stage)**  
**Task 7. Heating nanowires**



1. Laser-induced effects are important in the study of nanostructures. Estimate the maximum temperature to which the isolated germanium nanowires can be heated during  $\tau = 10$  s. The length of the nanowires  $L = 100$  nm, the laser intensity  $I = 3000$  W / cm<sup>2</sup>. The wavelength of incident radiation is  $\lambda = 630$  nm. Heat exchange with the environment during the time of radiation should be neglected. Take into account the absorption coefficient. Find the necessary data yourself. **(4 points)**
2. Make the same estimate for silicon nanowires of the same size. **(2 points)**

**Total – 6 points**



**National Student Team Contest (first stage)**  
**Solution of task 7. Heating nanowires**

Tabulated values are listed below:

|    | <b>C, specific heat</b> | <b>ρ, density</b>      | <b>α, absorption coefficient</b>     |
|----|-------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Ge | 0,31 kJ/(kg K)          | 5320 kg/m <sup>3</sup> | 2,0·10 <sup>5</sup> cm <sup>-1</sup> |
| Si | 0,68 kJ/(kg K)          | 2330 kg/m <sup>3</sup> | 3,7·10 <sup>3</sup> cm <sup>-1</sup> |

The energy necessary for heating:

$$Q = cm\Delta t = c\rho SL\Delta t.$$

The energy for heating is obtained from absorbed radiation:

$$I_{\text{absorbed}} = I_0(1 - \exp(-\alpha L)), Q = I_{\text{absorbed}}\tau S.$$

Equating:

$$c\rho SL\Delta t = I_0(1 - \exp(-\alpha L))\tau S.$$

Thus we obtain:

$$\Delta t = \frac{I_0(1 - \exp(-\alpha L))\tau}{c\rho L}.$$

Let's estimate the temperature change for Ge:

$$\Delta t = \frac{3 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2 (1 - \exp(-2,0 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-1} 10^{-5} \text{ cm})) 10 \text{ sec}}{305 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} 5320 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} 10^{-7} \text{ m}} \approx 1,6 \cdot 10^8 \text{ K} > T_{\text{fusion}}$$

Similarly for Si:

$$\Delta t = \frac{3 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2 (1 - \exp(-3,7 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-1} 10^{-5} \text{ cm})) 10 \text{ sec}}{678 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} 2330 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} 10^{-7} \text{ m}} \approx 7 \cdot 10^7 \text{ K} > T_{\text{fusion}}.$$



**National Student Team Contest (first stage)**  
**Task 8. Colored nanofilms**

Young researcher Ul'yana has made a thin porous aluminum film, which was colored green (wavelength – 530 nm), if one was seeing by a normal to the film.

1. Explain why is the film colored? **(2 points)**

The measurements showed that volume porosity of the film,  $P$ , was 60%. Ul'yana decided that porosity is not large enough and dissolved some of aluminum from the film homogeneously by volume without changing the thickness of the film. After that the color of the film has changed to violet (wavelength – 430 nm).

2. Using the Bruggeman theory of effective medium find the porosity of the film after dissolution. **(8 points)**

**Total – 10 points**



**National Student Team Contest (first stage)**  
**Solution of task 8. Colored nanofilms**

The color of the film is governed by interference maximum condition:

$$\lambda = 2 D n \tag{1}$$

Since thickness of the film wasn't changed, we get an expression by dividing eq. (1) written for both cases:

$$\frac{\lambda_{\text{green}}}{\lambda_{\text{violet}}} = \frac{n_{\text{green}}}{n_{\text{violet}}} = \frac{530}{430} = 1.23 \tag{2}$$

Then we need to use Bruggeman effective media approximation. According to it one can obtain for two component system:

$$(1 - P) \frac{\epsilon_S - \epsilon_{\text{eff}}}{\epsilon_S + 2\epsilon_{\text{eff}}} + P \frac{1 - \epsilon_{\text{eff}}}{1 + 2\epsilon_{\text{eff}}} = 0 \tag{3}$$

$$(P - 1)(\epsilon_S - \epsilon_{\text{eff}})(1 + 2\epsilon_{\text{eff}}) = P(1 - \epsilon_{\text{eff}})(\epsilon_S + 2\epsilon_{\text{eff}}) \tag{4}$$

$$(P - 1)(\epsilon_S - \epsilon_{\text{eff}} + 2\epsilon_S \epsilon_{\text{eff}} - 2\epsilon_{\text{eff}}^2) = P(\epsilon_S - \epsilon_{\text{eff}} \epsilon_S + 2\epsilon_{\text{eff}} - 2\epsilon_{\text{eff}}^2) \tag{5}$$

$$P(\epsilon_S - \epsilon_{\text{eff}} + 2\epsilon_S \epsilon_{\text{eff}} - 2\epsilon_{\text{eff}}^2) - (\epsilon_S - \epsilon_{\text{eff}} + 2\epsilon_S \epsilon_{\text{eff}} - 2\epsilon_{\text{eff}}^2) = P(\epsilon_S - \epsilon_{\text{eff}} \epsilon_S + 2\epsilon_{\text{eff}} - 2\epsilon_{\text{eff}}^2) \tag{6}$$

$$\epsilon_S - \epsilon_{\text{eff}} + 2\epsilon_S \epsilon_{\text{eff}} - 2\epsilon_{\text{eff}}^2 = P(3\epsilon_{\text{eff}} \epsilon_S - 3\epsilon_{\text{eff}}) \tag{7}$$

$$2\epsilon_{\text{eff}}^2 + \epsilon_{\text{eff}}(3P(\epsilon_S - 1) + 1 - 2\epsilon_S) - \epsilon_S = 0 \tag{8}$$

or

$$P = \frac{\epsilon_S - \epsilon_{\text{eff}} + 2\epsilon_S \epsilon_{\text{eff}} - 2\epsilon_{\text{eff}}^2}{3\epsilon_{\text{eff}}(\epsilon_S - 1)} \tag{9}$$

One can obtain for first case of green film:

$$2\epsilon_{\text{eff}}^2 + \epsilon_{\text{eff}}(0.6(3 \cdot 2.1) + 1 - 2 \cdot 3.1) - 3.1 = 0 \tag{10}$$

or

$$2\epsilon_{\text{eff}}^2 - 1.42 \cdot \epsilon_{\text{eff}} - 3.1 = 0 \tag{11}$$

then

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{1.42 \pm \sqrt{1.42^2 + 4 \cdot 2 \cdot 3.1}}{4} = 1.65 \tag{12}$$



then

$$n_{\text{green}} = \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}} = 1.28 \quad (13)$$

Let's move to violet film.

$$n_{\text{violet}} = \frac{n_{\text{green}}}{1.23} = \frac{1.28}{1.23} = 1.04 \quad (14)$$

$$\epsilon_{\text{vio}} = n_{\text{violet}}^2 = 1.08 \quad (15)$$

$$P = \frac{3 \cdot 1 - 1.08 + 2 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 1.08 - 2 \cdot 1.08^2}{3 \cdot 1.08(3 \cdot 1 - 1)} = \frac{2.02 + 6.7 - 2.33}{6.8} = 0.94 \quad (16)$$

Therefore porosity of new film is equal to 94%.



**National Student Team Contest (first stage)**  
**Task 9. Hydrophobic solar cells**

Solar cell technologies are rapidly developing nowadays. Not only efficiency of the cells is important, but also usability. So, Russian engineers decided to modify solar cells by extremely thin nanocoating, which repels water thus protecting the cell from contamination.

Consider a drop of water which has fallen on the surface of the cell. Diameter of the drop,  $R$ , is 3 mm. Find the contact area between the drop and the cell, if the difference of surface tensions “nanocoating-water” and “nanocoating-air” is  $\Delta\gamma = 36 \text{ mN/m}$ . **(8 points)** Neglect the influence of gravity force on the drop.

**Total – 8 points**



**National Student Team Contest (first stage)**  
**Solution of task 9. Hydrophobic solar cells**

Let's calculate angle,  $\theta$ , which will be formed between surface of the drop and surface of the cell. According to Young equation for contact angle, one can get:

$$\Delta\gamma = \gamma_{LG} \cos\theta, \quad (1)$$

where  $\gamma_{LG}$  is a surface tension coefficient on the bound water-air equal to 72 mN/m. Then:

$$\theta = \arccos \frac{\Delta\gamma}{\gamma_{LG}} = \frac{\pi}{3} \quad (2)$$

So surface area will be equal to  $\pi (r \sin \theta)^2$ , because contact angle precisely equals to the angle of spherical layer cut by the surface of the cell. However the complexity of the question lies on the fact that due to deformability of the drop its new radius,  $r$ , does not equal to initial radius,  $R$ . Let's find,  $r$ , taking into account stable volume of the drop. Volume of the spherical layer equals to:

$$V_{sc} = \frac{\pi}{3} r^3 (\cos\theta + 2)(\cos\theta - 1)^2 = \frac{\pi}{3} r^3 \frac{5}{2} \frac{1}{4} = \frac{5}{32} \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (3)$$

Let's put down condition of the equality of drop volumes before and after adhesion on the surface of the cell:

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{27}{32} \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (4)$$

Then:

$$r = R \frac{2\sqrt[3]{4}}{3} \quad (5)$$

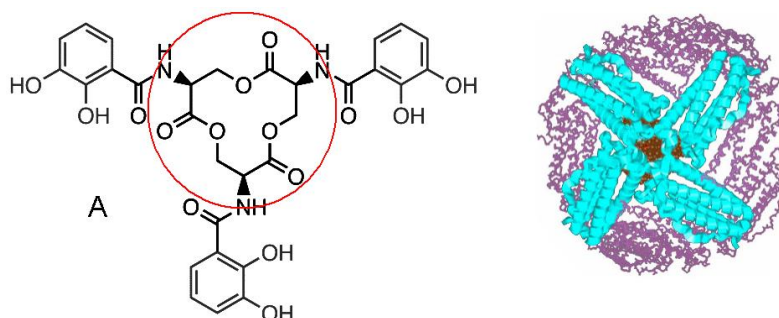
Finally contact area equals to:

$$S = \pi (r \sin\theta)^2 = \pi \left( R \sqrt[3]{4} \frac{\sqrt{3}}{3} \right)^2 = \pi (3\sqrt[3]{16}) = 6\pi\sqrt{2} = 23.7 \text{ mm}^2 \quad (6)$$



## National Student Team Contest (first stage)

### Task 10. Nanobattle for iron



*Fig.1*

Most of living beings can't exist without molecules, the main function of which is to bind free iron, to transport or to store it. Typically these molecules are proteins or polypeptides derivatives.

1. What is the class name of such molecules produced by bacteria, fungi and plants? **(0.5 points)** Why, despite natural iron is widespread, should the organisms use additional tools for such a "mining" (i.e. to excrete molecules to exterior and to take them back with iron)? **(0.5 points)**
2. Why are there any needs for iron in organisms? So why are there any free form of iron of extremely low concentrations? **(1 point)** Give several examples of iron-storing molecules in human body and briefly describe their main functions. **(1 point)**

Compound **A** (fig. 1.), being quite a simple molecule, forms one of the strongest iron complexes.

3. Is **A** produced by bacteria or animals? Where could **A**-producing organisms live in? **(1 point)**
4. Draw or briefly describe the structure of the iron complex (1:1) with **A** and explain the main causes of its great stability. What is the role of the marked fragment of **A** (fig. 1)? **(2 points)** How could organisms extract iron out of such an ultra stable complex (and from other ones such as those at fig. 2)? **(1.5 points)**
5. Briefly explain how can such iron binding compounds be used in medicine? Explain which compounds can be used: are they iron complexes or free compounds, bacteria-originated or human-originated? **(2 points)**

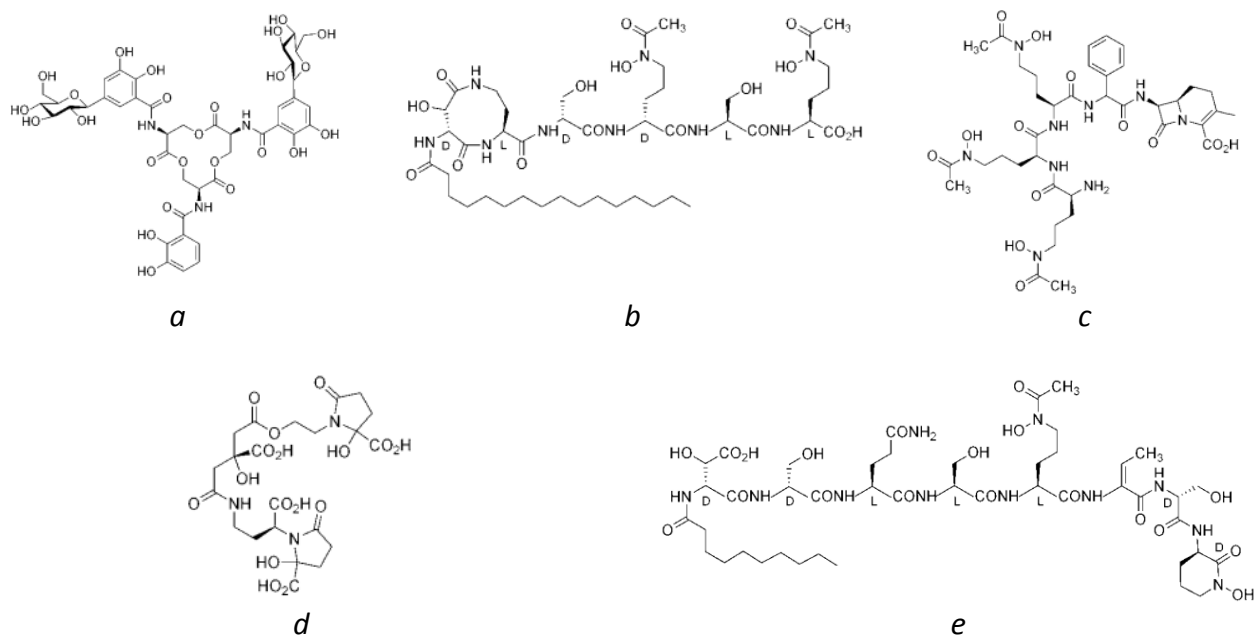


Fig. 2

6. Find out a molecule in fig. 2. which is designed to do something else than the others and explain the purpose of its design. (2.5 points)

Total – 12 points



## National Student Team Contest (first stage)

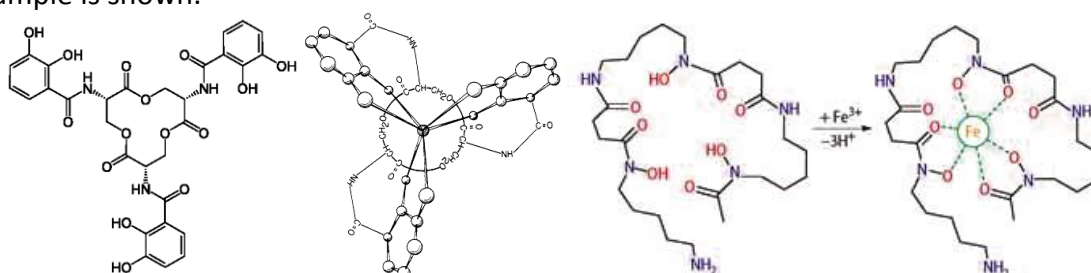
### Solution of task 10. Nanobattle for iron

1. These molecules are named siderophores. Iron is present in anaerobic conditions (i.e. in ground water) in ferrous state. In aerobic conditions it is rapidly oxidized to the ferric state which almost insoluble in neutral medium. So to take iron it is necessary to use complexants to transfer iron into soluble (and thus bioavailable) form.
2. Iron is the most abundant transition metal so it is no wonder that during the evolution organisms adapted to utilize its main chemical properties (ability to form complexes and to catalyze redox reactions by one electron transfer) in great number of metalloproteins and enzymes which control over vital processes such as transport, respiration and DNA synthesis. In example, iron is used in hemoglobin, cytochromes, nitrogenases, reductases, catalases, alcohol dehydrogenases.

Free iron is potentially toxic because of different possible interactions with wide range of biomolecules, peptides and enzymes (i.e. it has an affinity to sulfur containing groups) but mainly because of easy Fenton Reaction with peroxides which leads to free radicals production (which makes oxidative damage). So the same chemical properties of iron which are used by organisms make them to bound iron in order to keep it under control.

The main iron storage molecule in human body is [ferritin](#) (was shown in the figure) which is the primary intracellular iron-storage protein. Hemosiderin is another iron storage complex which function is to deposit in inactive form the excess of iron, often during pathological organism's state (hemolysis or iron utilization deceases). [Transferrin](#) is used in biological fluids to transfer iron to different tissues and it serves as fast and reversible iron carrier, thus it is also used as quick access storage. Transferrin is also associated with the innate immune system, it is found in the mucosa and suppress bacterial growth by withdrawing iron. Though hemoglobin and myoglobin also contain iron, they are not used directly for its storage.

3. Because **A** is one of the strongest iron complexing agents, the corresponding organisms must inhabit a medium with very strong iron deficit and must be in permanent competition for iron. Animals don't compete for iron, so **A** evolved during the competition of bacterial siderophores with each other and/or with animals' ones, for example in intestines or in blood of animals. **A** is enterobactin which is found in bacteria such as *Escherichia coli* and *Salmonella typhimurium*.
4. Each fragment of **A** is a bidentate catechol-based ligand which after deprotonation "catch" iron ion like claws into increased stability five-membered ring. Altogether the ligands complete the coordination sphere of iron. Other siderophores behave similarly, an example is shown.



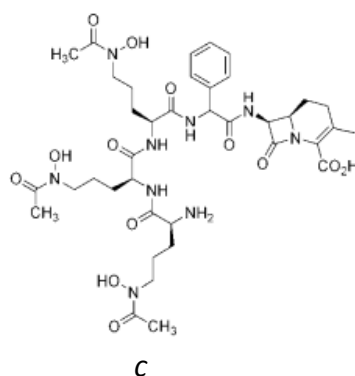
Aminoacid polyester ring moiety is used to hold together three bidentate ligands so that metal complex formation entropy is greatly increased (by reducing three times the number of ligand molecules in the reaction) which greatly stabilize overall complex (so called chelate effect).

To obtain free iron it is necessary to reduce the complex stability, which could be achieved by several ways:

- a. by reducing the chelate effect, i.e. by cutting a link between ligands. As we can see, the building blocks of siderophores are connected by ester and/or peptide bonds which are easily cut by standard cell toolkit (esterases and peptidases).
  - b. by reduction to ferrous state and/or by ligand oxidation.
  - c. by pH change (by protonation).
5. Bacterial siderophores in iron free form could be used for binding and excretion of metal excess from human organism which has no special mechanisms for iron removal, i.e. in a case of poisoning by iron (and even by some other metals, i.e. Al), for treatment of transfusion hemosiderosis (frequent blood transfusions lead to iron overload) or hereditary hemochromatosis (a hereditary disease when excessive intestinal absorption leads to increased iron content in body).

Human originated complexes with iron could be used as a source of bioavailable iron, for example, to increase hemoglobin level (i.e. in anemia). Strong bacterial siderophores in iron free form could also act as antibacterial agents (by suppressing iron uptake and then growth of bacteria which produce weaker siderophores), and as was mentioned above so does human transferring. Since the bacteria due to strong evolutionary selection have a great variety of siderophores, there are different corresponding bacterial transport systems which could be used for selective antibacterial therapy, when bacterial siderophores serve as drugs carriers (see below).

6. The compound has a  $\beta$ -lactam cephalosporin like antibiotic fragment attached to a siderophore which serves as a pass into a bacterial cell, where after cleavage the antibiotic inhibits cell wall biosynthesis. Thus the antibiotic concentration in the bacterial cell is increased many times, increasing its effectiveness.







## Гениальные мысли

Гениальные мысли

Категория участников: школьники 7-11 классов

Конкурс авторефератов **школьных проектов**. Конкурс дает дополнительные баллы 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

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. По результатам отборочного тура лучшие работы или идеи будут доложены на очном туре Олимпиады.

Более подробная информация приведена в положении о конкурсе.



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

Автореферат школьного проекта (творческой) работы. 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 в 5 страниц**. 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.

**1. Название работы (1 балл)**

**2. Степень завершенности (не оценивается, но описать обязательно)**

Указать, работа реальная или виртуальная (придуманная), проектно-экспериментальная, научно-исследовательская или творческая.

**3. Основные школьные предметы (2 балла)**

Предметы, к которым, по Вашему мнению, относится работа и почему именно эти предметы Вы выбрали.

**4. Соответствие области нанотехнологий (3 балла)**

Объясните кратко, почему эта работа относится именно к области нанотехнологий.

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

**6. Новизна работы (3 балла)**

**7. Основные результаты (30 баллов)**

Основная часть работы в произвольной форме, со ссылками и иллюстрациями, до 3-4 страниц.

**8. Выводы, заключение, перспективы (5 баллов)**

**9. Список цитированных источников (1 балл)**

**10. Список достижений (2 балла)**

Список достижений участника (конкурсы, публикации, ссылки в Интернете) в рамках выполнения данной темы / проекта.

**Всего – 50 баллов.**



## Юный эрудит

Юный эрудит

Категория участников: школьники 5-7 классов

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

### Задания

#### 1. Наноматериалы из углерода: 3 x 4

Фуллерены, нанотрубки и наноалмазы называют углеродными наноматериалами. В условии нашей задачи есть три раздела: «Слова», «Утверждения» и «Картинки»...

#### 2. Самый легкий углерод

Наше время недаром называют «новым углеродным веком»: в обиход входит большое число новых материалов, состоящих из углерода. Это не только углеродные волокна, нанотрубки...

#### 3. Почему возникает окраска

Соотнесите объекты, изображенные на рисунке, с одной из причин возникновения окраски в материале. Назовите объекты и материалы, из которых они сделаны...

#### 4. Пропорции

Наглядно представить размер и массу наночастиц помогают пропорции. Наночастица диаметром 10 нм во столько же раз меньше X, во сколько X меньше Земли. Найдите диаметр X...

#### 5. Площадь России

Россия – страна с самой большой территорией, ее площадь оценивается в 17,1 млн. км<sup>2</sup>.

Чему равна масса графена такой же площади?..

## **6. Электронный нос**

У многих живых организмов нос принимает участие не только в дыхательном процессе, но и является местом расположения хеморецепторов, позволяющих улавливать запахи...

## **7. Барьер для вирусов**

Наночастицы серебра обладают противовирусным действием. Можно ли блокировать вирусы гриппа, изображенные на фотографии, полученной на электронном микроскопе...

## **8. Таинственное число**

Вычислите по формуле, если известно, что:  $a$  – порядковый номер углерода в таблице Менделеева,  $b$  – относительная атомная масса углерода,  $c$  – относительная атомная масса радиоуглерода...

## **9. Жирные и полезные**

Мембраны клеток всех живых организмов состоят, в первом приближении, из двойного слоя липидов и встроенных в него белков. Фосфолипиды выглядят, например, вот так...

## **10. Кто они?**

Определите, кто изображен на картинке, приведенной в файле с заданием, и что их связывает между собой?...

## **11. Странное соседство**

Для каждой картинке из левой колонки найдите пару из правой колонки (только одну картинку). Объясните связь между ними...

## **12. Закон Мура и нанотехнологии**

Нанотехнологии оперируют объектами, у которых хотя бы один из размеров лежит в диапазоне 1 – 100 нм. Считая, что кристалл процессора плоский и имеет размер 1,5x1,5 см...

### **13. Модели нанотрубок своими руками**

Углеродную нанотрубку (УНТ) можно задать одной парой шестиугольников на листе графена: для этого необходимо через их центры прочертить перпендикулярно отрезку **OX** линии разреза...

### **14. Перекладывание атомов кластера**

Какое минимальное число атомов может быть в кластере-кубике (пример такого кластера показан на рисунке), если известно, что его атомы можно разложить на 2016, 2017 равных кучек атомов...

### **15. Число связей**

Если начать постепенно растягивать белковую молекулу, то составляющие ее клубки-глобулы начнут распутываться, подобно тому, как развязываются скользящие узлы на веревке...

### **16. Кроссворд**

Нужно просто разгадать кроссворд...



## Юный эрудит (заочный тур)

### Задача 1. Наноматериалы из углерода: 3 x 4

Фуллерены, нанотрубки и наноалмазы называют *углеродными наноматериалами*.

В условии нашей задачи есть три раздела: «Слова», «Утверждения» и «Картинки». Каждый раздел относится к одному из этих трех наноматериалов.

В разделе «Слова» – четыре слова. Три имеют отношение к нашему материалу, четвертое – нет, оно – *лишнее*. О каком материале идет речь? **(0.5 балла)** Найдите *лишнее* слово. **(1 балл)** А что значат остальные слова? **(0.5 балла за каждый правильный комментарий, максимум за комментарии – 1.5 балла)**

В разделе «Утверждения» описаны четыре свойства одного из наноматериалов. Правила прежние: назовите материал, **(0.5 балла)** найдите *лишнее* утверждение, **(1 балл)** прокомментируйте остальные три. **(1,5 балла)**

Наконец, в разделе «Картинки» вы видите 4 рисунка. Действуйте так же, как и в двух предыдущих разделах. **(3 балла)**

#### «Слова»

1. Фуллерид
2. Фуросемид
3. Усеченный икосаэдр
4. Фуллерол

#### «Утверждения»

1. Он может быть проводником
2. Он может быть полупроводником
3. Он растворяется в бензоле
4. Он ни в чем не растворяется без дополнительной обработки.

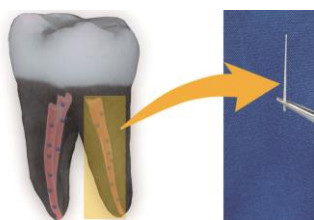
#### «Картинки»



(1)



(2)



(3)



(4)

**Всего – 9 баллов**



## Юный эрудит (заочный тур)

### Решение задачи 1. Наноматериалы из углерода: 3 x 4

«Слова»: а) Речь идет о фуллерене. б) Лишнее слово – «Фуросемид». Это – лекарство. Остальные слова имеют отношение к фуллерену: в) Фуллерит – твердый фуллерен, кристалл, построенный из молекул фуллерена. Фуллериды – соединения, образующиеся при внедрении посторонних атомов или молекул (например, атомов металлов, органических молекул) в кристалл фуллерита. Некоторые фуллериды можно назвать солями фуллеренов. В этих солях фуллерены принимают на себя отрицательный заряд и становятся анионами. Фуллерол (или фуллеренол), продукт присоединения группы ОН к фуллеренам, фуллереновый спирт. Усеченный икосаэдр – геометрическое тело. Фуллерен C<sub>60</sub> имеет форму усеченного икосаэдра.

«Утверждения»: а) Речь идет о нанотрубках. б) Лишняя фраза - (3). Нанотрубки не растворяются в бензоле. Зато, верно утверждение (4) – нанотрубка ни в чем не растворяется без предварительной химической обработки. Нанотрубка может проводить электрический ток (1) или быть полупроводником (2). Электрические свойства нанотрубок определяет угол свертки, или хиральность.

«Картинки» а) Картинки имеют отношение к наноалмазу. б) Лишняя здесь – картинка (1), на которой изображен бриллиант, т.е. алмаз, обработанный ювелиром. Наноалмаз – это мелкий, черный порошок, который нельзя превратить в бриллиант. Бриллиант, вероятно, можно измельчить до нано размеров, но так никто не поступает. Наноалмазы получают иначе, из дешевого сырья, а настоящий алмаз – вещь дорогая. Итак, алмаз и наноалмаз – разные материалы! (в) Кастрюля, грифель автоматического карандаша, пломба для зуба (2-4) – изделия, в которые наноалмазы вводят для увеличения прочности. Для кастрюли (сковороды) – это антипригарное покрытие внутренней поверхности, а для пломб и грифелей – наполнитель, который добавляют к основному материалу. Все эти сведения можно найти в Интернете. Кастрюли и карандаши – первый пример использования наноалмазов в массовом производстве.

Юные эрудиты неплохо справились с задачей. 77% участников получили очки за свои решения. Один человек получил высший бал – 9. 18% решавших набрали 8 баллов, т.е. в своих ответах допустили только одну ошибку.

Несколько слов об ошибках, которые часто встречались.

1. Некоторые участники невнимательно прочли условие задачи. В условии сказано, что в вопросах речь идет только о трех наноматериалах: фуллерене, нанотрубках и наноалмазе. Поэтому ответы «графит», «графен» и т.п. не могут быть правильными ни в одном из заданий.
2. Несколько участников во втором задании посчитали правильным ответом «фуллерены», а не «нанотрубки», а «лишним» называли утверждение (4). Однако, сами фуллерены плохо проводят электрический ток, а, значит, утверждение (1) тоже, «лишнее». Не получается! Писали, что хорошими проводниками тока являются фуллерены с добавками металлов. Это – верно, но в условии задачи говорится о чистых фуллеренах. Словом, ответ «фуллерены» в задании (2) считался неправильным. Однако, если правильно назывались свойства фуллеренов, например, растворимость в бензоле, то за это давалось одно очко.



Самым трудным оказалось третье задание. Многие поняли, что речь идет о наноалмазе, но мало кто догадался, что «лишней» здесь будет картинка (1). Это вопрос – ловушка. Наноалмаз и крупный алмаз, бриллиант – разные материалы. Почему это так, вы можете прочесть выше, в «Решении». Тот, кто ответил правильно на все вопросы, но не угадал «лишнюю» картинку.



**Юный эрудит (заочный тур)**  
**Задача 2. Самый легкий углерод**

Наше время недаром называют «новым углеродным веком»: в обиход входит большое число новых материалов, состоящих из углерода. Это не только углеродные волокна, нанотрубки, фуллерены и традиционные алмаз и графит, но и этот материал, который получают при высушивании и разложении без доступа воздуха органической полимерной смолы. Полученный гель активируют, пропуская через него газ. Удельная площадь всей поверхности этого материала с учетом пор равна  $2600 \text{ м}^2/\text{г}$ , а плотность материала очень низкая –  $0.04 \text{ г}/\text{см}^3$ .

Как называется такой материал? **(1 балл)**

Из этого материала изготовили кубик ребром 1 см. Определите, во сколько раз площадь поверхности кубика меньше площади всей поверхности материала, из которого сделан кубик. **(3 балла)**

**Всего – 4 балла**



## Юный эрудит (заочный тур)

### Решение задачи 2. Самый легкий углерод

Аэрогель углерода

$d = m/V$ . Возьмем единичный кубик  $1 \text{ см}^3$ ,  $m = 0,04 \text{ г}$ .

Площадь всей поверхности этого материала с учетом пор =  $2600 \text{ м}^2/\text{г} = 2,6 \cdot 10^7 \text{ см}^2/\text{г}$ .

Отнесем ее к массе единичного кубика:  $2,6 \cdot 10^7 \cdot 0,04 = 1,04 \cdot 10^6$ .

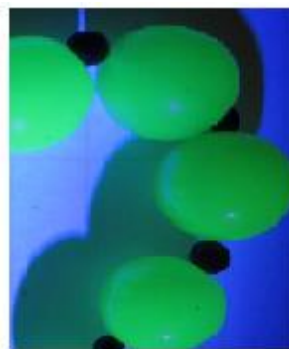
Найдем площадь поверхности грани кубика ( $1 \text{ см}^2$ ) и всех граней ( $6 \text{ см}^2$ ).

Найдем отношение  $1,04 \cdot 10^6 / 6 = 1,73 \cdot 10^5$  или в 173 000 раз.



**Юный эрудит (заочный тур)**  
**Задача 3. Почему возникает окраска**

Соотнесите объекты, изображенные на рисунке, с одной из причин возникновения окраски в материале. Назовите объекты и материалы, из которых они сделаны.



|   |   |   |
|---|---|---|
| А | Б | В |
| Г | Д | Е |



- (1) полное внутреннее отражение света
- (2) интерференция и дифракция
- (3) поверхностный плазмонный резонанс наночастиц металла
- (4) поглощение кванта света при электронном переходе внутри иона металла
- (5) люминесценция
- (6) поглощение кванта света при электронном переходе в органической молекуле

Ответ представьте в виде таблицы

| Обозначение объекта | Название объекта (материала) | Номер причины окраски |
|---------------------|------------------------------|-----------------------|
| А                   |                              |                       |
| Б                   |                              |                       |
| В                   |                              |                       |
| Г                   |                              |                       |
| Д                   |                              |                       |
| Е                   |                              |                       |

**Всего – 6 баллов**



## Юный эрудит (заочный тур)

### Решение задачи 3. Почему возникает окраска

| Номер объекта | Название                                  | Номер причины окраски |
|---------------|---|-----------------------|
| А             | Крыло бабочки                             | 2                     |
| Б             | Стекло золотой рубин                      | 3                     |
| В             | Урановое стекло                           | 5                     |
| Г             | Ткань, окрашенная органическим красителем | 6                     |
| Д             | Опал                                      | 1                     |
| Е             | Раствор медного купороса                  | 4                     |



**Юный эрудит (заочный тур)**  
**Задача 4. Пропорции**

Наглядно представить размер и массу наночастиц помогают пропорции.

1. Наночастица диаметром 10 нм во столько же раз меньше **X**, во сколько **X** меньше Земли. Найдите диаметр **X**.
2. Наноалмаз диаметром 5 нм весит  $2.3 \cdot 10^{-19}$  г. Он во столько же раз легче **Y**, во сколько **Y** легче Земли. Найдите массу **Y**.

Предложите свои варианты объектов **X** и **Y** из повседневной жизни. Необходимые для решения данные найдите самостоятельно.

**Всего – 4 балла**



**Юный эрудит (заочный тур)**  
**Решение задачи 4. Пропорции**

1. Диаметр Земли –  $12700 \text{ км} = 1.27 \cdot 10^7 \text{ м} = 1.27 \cdot 10^{16} \text{ нм}$ .  
Пусть  $x \text{ нм}$  – диаметр **X**, тогда по условию

$$1.27 \cdot 10^{16} / x = x / 10,$$

откуда  $x = 3.56 \cdot 10^8 \text{ нм} = 35.6 \text{ см}$ . Это, например, диаметр хорошего арбуза.

**1.5 балла – расчет, 0.5 балла – пример X.**

2. Масса Земли –  $5.97 \cdot 10^{24} \text{ кг} = 5.97 \cdot 10^{27} \text{ г}$ .  
Пусть  $y \text{ г}$  – масса **Y**, тогда по условию

$$5.97 \cdot 10^{27} / y = y / 2.3 \cdot 10^{-19},$$

откуда  $y = 3.7 \cdot 10^4 \text{ г} = 37 \text{ кг}$ . Это – средняя масса школьника начальных классов.

**1.5 балла – расчет, 0.5 балла – пример Y.**





**Юный эрудит (заочный тур)**  
**Задача 5. Площадь России**

Россия – страна с самой большой территорией, ее площадь оценивается в 17,1 млн. км<sup>2</sup>. Чему равна масса графена такой же площади? Если весь этот графен получен из графитового куба, чему равна сторона куба?

Необходимые справочные данные найдите самостоятельно.

**Всего – 4 балла**



## Юный эрудит (заочный тур) Решение задачи 5. Площадь России

Проще всего – воспользоваться удельной поверхностью графена, которую можно найти в интернете:  $1300 \text{ м}^2/\text{г}$  (в сети встречается вдвое большее значение, но это – для двусторонней поверхности).

Площадь территории России:  $17.1 \cdot 10^6 \text{ км}^2 = 1.71 \cdot 10^{13} \text{ м}^2$

Масса графена, покрывающего территорию России:  $1.71 \cdot 10^{13} \text{ м}^2 / 1300 \text{ м}^2/\text{г} = 1.3 \cdot 10^{10} \text{ г} =$   
**13 000 т.**

Плотность графита:  $2.23 \text{ г}/\text{см}^3$ .

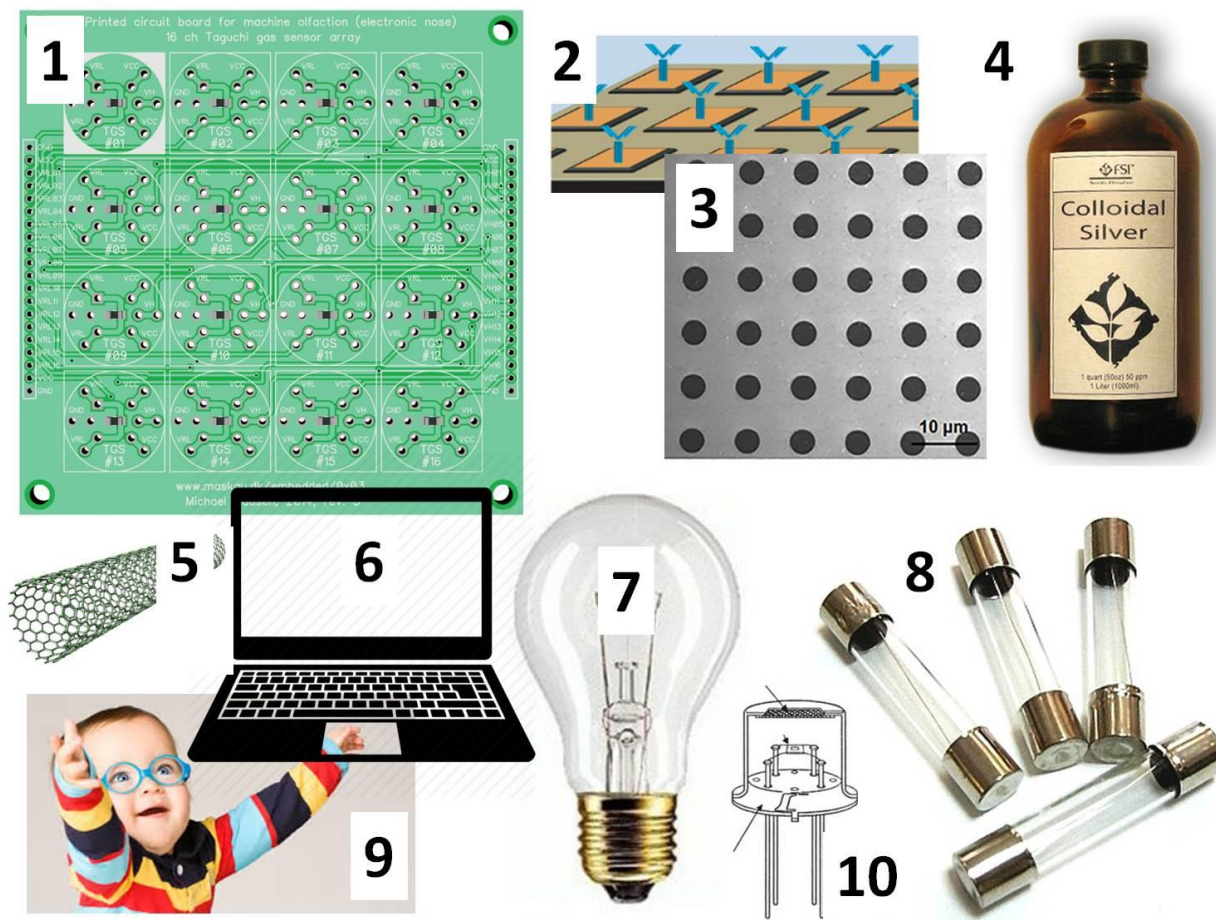
Объем графита:  $1.3 \cdot 10^{10} \text{ г} / 2.23 \text{ г}/\text{см}^3 = 5.8 \cdot 10^9 \text{ см}^3$ .

Сторона графитового куба:  $(5.8 \cdot 10^9 \text{ см}^3)^{1/3} = 1800 \text{ см} =$  **18 м.**



**Юный эрудит (заочный тур)**  
**Задача 6. Электронный нос**

У многих живых организмов нос принимает участие не только в дыхательном процессе, но и является местом расположения хеморецепторов, позволяющих улавливать запахи и определять, например, приближение опасности или потенциального обеда. А как собрать электронный нос? Выберите из изображенных ниже пять объектов, которые могут быть Вам полезны при создании собственного электронного носа. Назовите их и объясните, какую роль они играют.



Всего – 5 баллов



## Юный эрудит (заочный тур) Решение задачи 6. Электронный нос

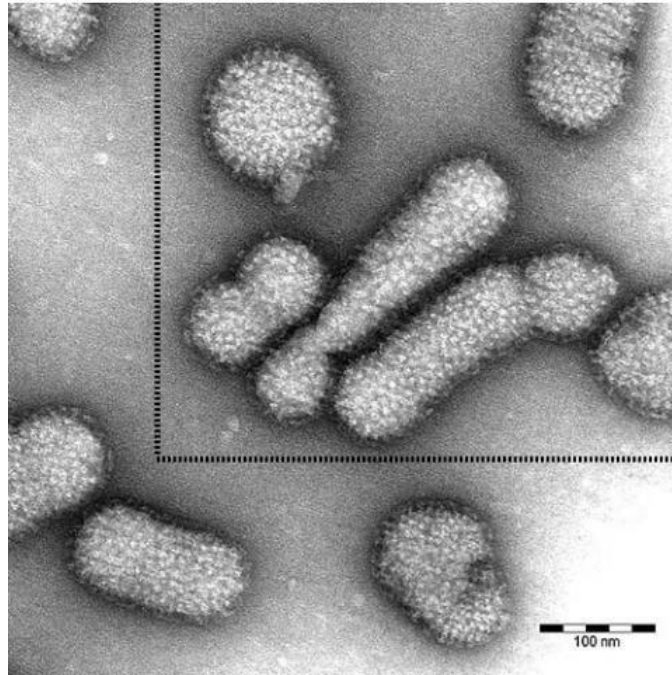
Ответ: 1, 2 или 5, 3, 6, 10

- 1 Плата для сборки устройства, содержащего несколько микроэлектронных чипов. Использование нескольких микроэлектронных чипов в одном устройстве позволяет сделать его многофункциональным, и ваш электронный нос будет иметь более широкий рабочий диапазон концентраций или будет уметь определять присутствие нескольких различных газов одновременно.
- 2 Поверхность, модифицированная набором молекул-субстратов, избирательно связывающих некоторые из компонентов анализируемой пробы. Ковалентное связывание анализируемых молекул позволит увеличить чувствительность сенсора и предел обнаружения молекул газов. Такое модифицирование поверхности обычно увеличивает и селективность сенсора.
- 3 Микросита – мембраны с микронным или нанометровым размером пор, которые могут быть применены для повышения селективности сенсоров. В зависимости от диаметра пор и гидрофильности/гидрофобности их поверхности проницаемость микросита для газов будет различна.
- 5 Углеродная нанотрубка (УНТ) – кандидат на роль чувствительного элемента разрабатываемого газового сенсора – электронного носа. В то же время, на рисунке изображена одностенная УНТ, обладающая металлическим характером проводимости. Такой сенсор будет уступать по характеристикам полупроводниковым аналогам.
- 6 Компьютер с программным обеспечением необходим для регистрации и обработки сигнала, полученного с помощью созданного вами электронного носа.
- 10 Микроэлектронный чип, представляющий собой диэлектрическую подложку с подведенными металлическими контактами, позволяющими измерять электропроводность нанесенной сверху пленки 4х-контактным методом. Изменения электропроводности сенсора соответствуют процессу адсорбции газа на поверхности чипа.



**Юный эрудит (заочный тур)**  
**Задача 7. Барьер для вирусов**

Наночастицы серебра обладают противовирусным действием. Можно ли заблокировать вирусы гриппа, изображенные на фотографии, полученной на электронном микроскопе (см. рис), выстроив из наночастиц серебра барьер высотой  $h = 10$  нм и толщиной  $d = 10$  нм? Для строительства барьера имеется  $m = 10^{-6}$  нг серебра (плотность  $10.5$  г/см<sup>3</sup>). Барьер строить вдоль линии, обозначенной на рисунке.



**Всего – 4 балла**



**Юный эрудит (заочный тур)**  
**Решение задачи 7. Барьер для вирусов**

Длину барьера  $L$  находим из масштаба:  $440 \text{ нм} + 360 \text{ нм} = 800 \text{ нм}$ .

Для строительства потребуется:

$$m = \rho V = \rho Lhd = 10.5 \text{ г/см}^3 \cdot 800 \text{ нм} \cdot 10 \text{ нм} \cdot 10 \text{ нм} = 8 \cdot 10^{-16} \text{ г} = 8 \cdot 10^{-7} \text{ нг}$$

Ответ: хватит.



**Юный эрудит (заочный тур)**  
**Задача 8. Таинственное число**

Вычислите:

$$b - \frac{\frac{(d-a)^a}{c^a} - e^a}{1 - b^a}$$

если известно, что:

$a$  – порядковый номер углерода в таблице Менделеева,

$b$  – относительная атомная масса углерода,

$c$  – относительная атомная масса радиоуглерода,

$d$  – количество атомов углерода в наименьшем из теоретически возможных фуллеренов,

$e$  – количество пятиугольников в фуллерене  $C_{60}$ .

Как связано это число с текущей олимпиадой по нанотехнологии?

**Всего – 5 баллов**



**Юный эрудит (заочный тур)**  
**Решение задачи 8. Таинственное число**

1. Найдем все переменные:

a = 6, порядковый номер углерода в таблице Менделеева

b = 12, атомная масса углерода

c = 14, атомная масса радиоуглерода

d = 20, количество атомов углерода в низшем из теоретически возможных фуллеренов (C<sub>20</sub>)

e = 12, количество пятиугольников C<sub>60</sub>

2. Подставим в уравнение:

$$12 - \frac{(20 - 6)^6 - 12^6}{1 - 12^6} = 11$$

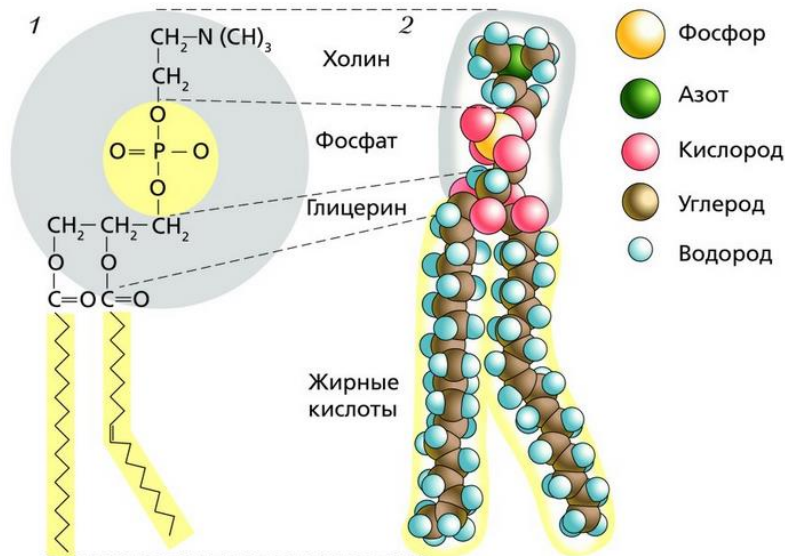
Ответ: 11 – порядковый номер Олимпиады!





**Юный эрудит (заочный тур)**  
**Задача 9. Жирные и полезные**

Мембраны клеток всех живых организмов состоят, в первом приближении, из двойного слоя липидов и встроенных в него белков. Фосфолипиды выглядят, например, вот так:



Мембраны могут находиться в «твердом» состоянии, когда все хвостики (жирнокислотные цепочки) вытянуты и расположены упорядоченно, или в «жидком» (жидкокристаллическом) - когда хвосты подвижны и упорядоченная структура нарушается. Обычно для жизни клеток необходима именно такая, «жидкая», но все-таки не слишком хаотичная и подвижная структура.

1. Как вы думаете, для чего это нужно? **(2 балла)**

Жирные кислоты могут содержать двойные (ненасыщенные связи). Чем больше этих связей в молекуле жирной кислоты, тем ниже ее температура плавления, например, для жирной кислоты, содержащей 18 атомов углерода:

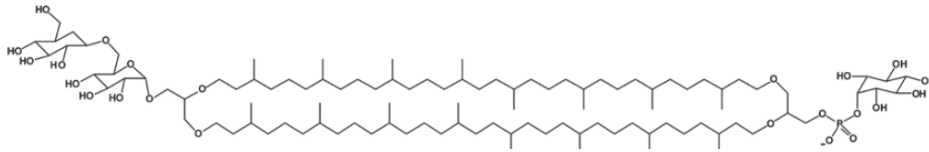
- стеариновая (нет двойных связей) 69.6 °C
- олеиновая (1 двойная связь) 13.4 °C
- линолевая (2 двойные связи) -5 °C
- линоленовая (3 двойные связи) -11 °C

2. Как вы думаете, у кого содержание ненасыщенных жирных кислот в составе фосфолипидов мембран выше — у трески, которая живет в морях Арктики, или у тунца, населяющего тропические воды? Почему? **(1 балл + 1 балл за пояснение)**

Вместе с треской в Арктике живет гренландский тюлень.

3. Как вы думаете, каково содержание ненасыщенных жирных кислот в его жире (по сравнению с треской) и почему? **(1 балл + 1 балл за объяснение)**

У некоторых организмов в составе мембран могут встречаться даже вот такие необычные молекулы, которые пронизывают бислои и располагаются полярными головками по обе стороны мембраны.



4. Как вы думаете, каким организмам из перечисленных они могут принадлежать и почему? **(1 балл + 2 балла за объяснение)**
- Высокогорным животным.
  - Бактериям, обитающим в горячих источниках.
  - Лишайникам, растущим при низких температурах.
  - Пресноводным моллюскам.
  - Птицам, мигрирующим на большие расстояния.

**Всего – 9 баллов**



## Юный эрудит (заочный тур)

### Решение задачи 9. Жирные и полезные

1. Микровязкость мембраны (подвижность ж.к. цепей) поддерживается в оптимальном состоянии для обеспечения конформационной подвижности встроенных белковых молекул.
2. Ненасыщенных жирных кислот больше в составе мембран арктических рыб, это позволяет поддерживать определенную микровязкость мембран при низкой температуре.
3. Тюлень теплокровный, поэтому в его мембранах содержится больше насыщенных жирных кислот и меньше ненасыщенных.
4. б, термофильным бактериям — эти организмы живут при высокой температуре и для того, чтобы мембраны клеток не были слишком разупорядочены, их мембраны содержат такого типа липидные молекулы, пронизывающие оба монослоя и стабилизирующие мембрану.



**Юный эрудит (заочный тур)**  
**Задача 10. Кто они?**



Определите, кто изображен на картинке и что их связывает между собой?

**Всего – 5 баллов**



**Юный эрудит (заочный тур)**  
**Решение задачи 10. Кто они?**

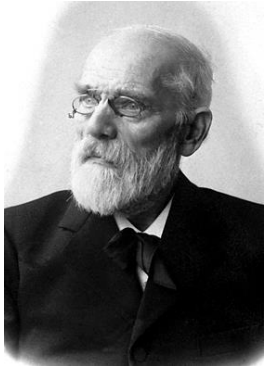



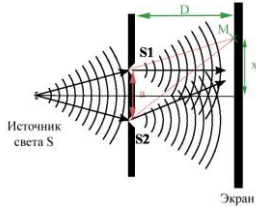

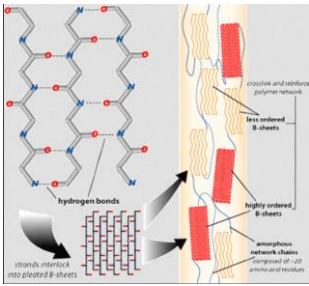
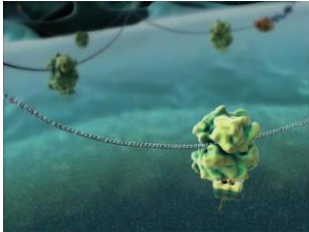
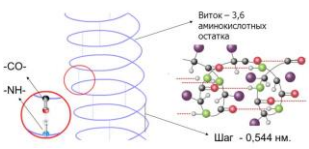
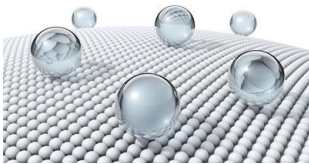
- А. Фридрих Мишер – швейцарский биолог, первооткрыватель ДНК.
- Б. Фрэнсис Крик – английский биофизик, Нобелевский лауреат, совместно с Джеймсом Уотсоном определивший структуру молекулы ДНК.
- В. Розалинд Франклин – английский биофизик, которая работала над расшифровкой структуры ДНК с помощью рентгеноструктурного анализа и способствовала открытию Уотсона и Крика.
- Г. Вальтер Флемминг – немецкий биолог, первооткрыватель хромосом.

Все эти ученые изучали ДНК.



**Юный эрудит (заочный тур)**  
**Задача 11. Странное соседство**

Для каждой картинки из левой колонки найдите пару из правой колонки (только одну картинку). Объясните связь между ними.

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 1 |    | а |    |
| 2 |   | б |   |
| 3 |  | в |  |
| 4 |  | г |  |
| 5 |  | д |  |

**Всего – 5 баллов**



**Юный эрудит (заочный тур)**  
**Решение задачи 11. Странное соседство**

- 1б. Лапки геккона прилипают к поверхности за счет сил Ван-дер-Ваальса.
- 2д. Эффект лотоса — за счет наноструктур поверхность становится несмачиваемой.
- 3а. За счет интерференции света, отраженного от структур на чешуйках крыльев бабочек, они приобретают цвет, не связанный с наличием пигментов.
- 4в. Представлена организация белка в составе паутины — фрагменты неупорядоченной структуры чередуются с нерастяжимыми участками бета-слоев.
- 5г. Белок синтезируется на рибосоме.



## Юный эрудит (заочный тур)

### Задача 12. Закон Мура и нанотехнологии

1. Нанотехнологии оперируют объектами, у которых хотя бы один из размеров лежит в диапазоне 1 – 100 нм. Считая, что кристалл процессора плоский и имеет размер 1,5x1,5 см, а на нем вплотную друг к другу размещены квадратные транзисторы, найдите, какое максимально возможное число их можно разместить с помощью нанотехнологий. Современный процессор такого же размера содержит  $1.125 \cdot 10^9$  транзисторов. Во сколько раз нанотехнологии могут увеличить число транзисторов в процессоре? **(2 балла)**
2. Закон Мура гласит, что количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые 2 года. Примерно оцените, сколько еще лет нанотехнологии смогут таким образом обеспечивать выполнение закона Мура? **(3 балла)**

**Всего – 5 баллов**





## Юный эрудит (заочный тур)

### Решение задачи 12. Закон Мура и нанотехнологии

1. Минимальный размер транзистора, попадающего под определение нанотехнологий,

–  $1 \text{ нм}^2$ . Тогда максимальное число транзисторов составляет  $\frac{(1,5 \cdot 10^{-2})^2}{1 \cdot 10^{-18}} = 2,25 \cdot 10^{14}$ ,  
что в  $\frac{2,25 \cdot 10^{14}}{1,125 \cdot 10^9} = 2 \cdot 10^5$  раз больше текущего.

2. Для того, чтобы узнать, сколько раз можно удвоить число транзисторов, чтобы их число увеличилось не более чем в 200 000 раз, нужно 200 000 делить на 2 до тех пор, пока остаток от деления будет больше единицы. Но можно упростить задачу: поскольку три последние цифры этого числа – нули, то оно делится на 8 (т.е. три раза на 2):  $200\,000/8 = 25\,000$ , получившееся число тоже делится на 8:  $25\,000/8 = 3\,125$ . Продолжим делить на 8, пока целое от деления будет больше единицы:  $3\,125/8/8/8 \approx 6,1$ . Последнее число можно еще 2 раза разделить на 2:  $6,1/2/2 = 1,525$ . Итого, мы поделили исходное число на 2 всего  $3+3+3+3+2 = 17$  раз (в 18-й раз удвоить число транзисторов уже не получится – транзисторы станут меньше 1 нм). Таким образом, пройдет больше  $17 \cdot 2 = 34$  лет, но меньше  $18 \cdot 2 = 36$  лет.

Или, если знать логарифмы:

$$2^n = 2 \cdot 10^5, \quad n = \log_2(2 \cdot 10^5) \approx 17,6.$$

То есть, закон Мура перестанет действовать через  $17,6 \cdot 2 = 35,2$  года.



**Юный эрудит (заочный тур)**

**Задача 13. Модели нанотроек своими руками**

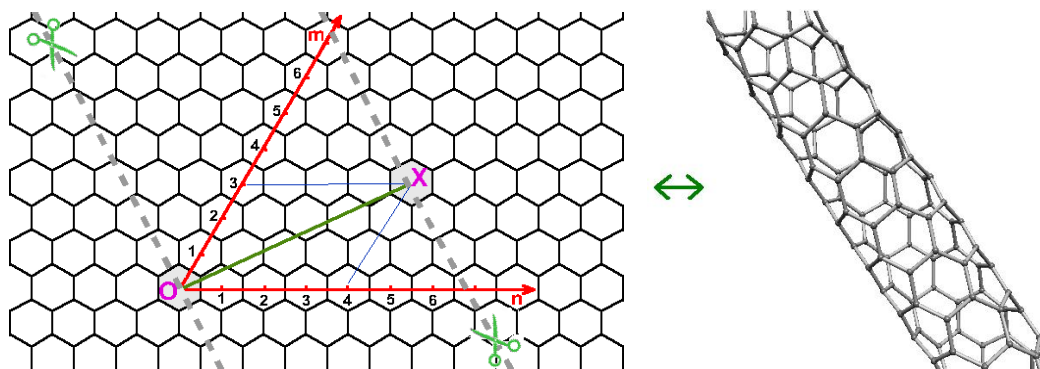
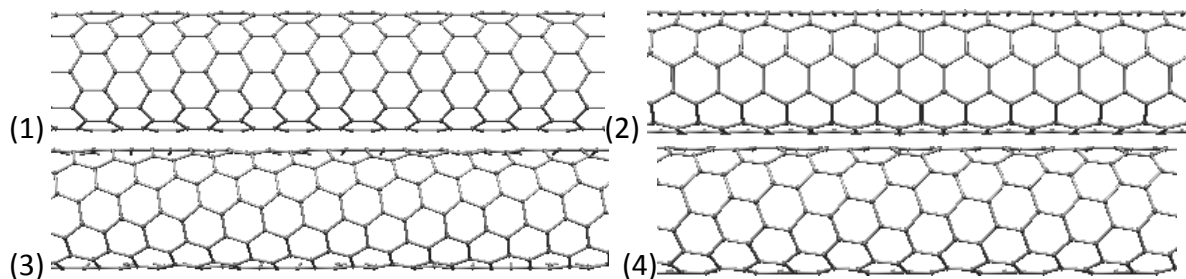


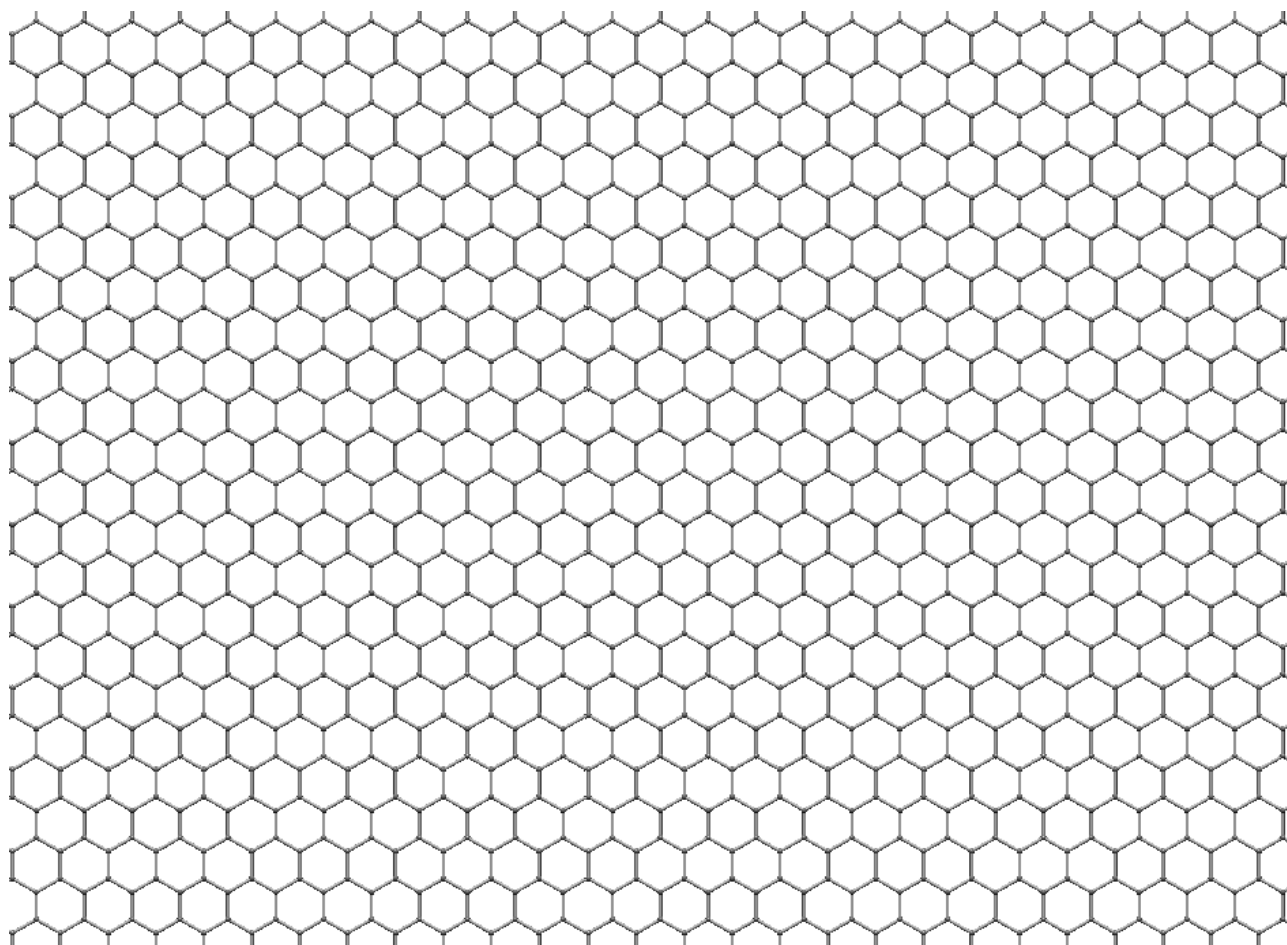
Рис. 1.

Углеродную нанотрубку (УНТ) можно задать одной парой шестиугольников на листе графена: для этого необходимо через их центры (рис. 1, точки **O** и **X**, взаимное расположение которых в «скошенной» системе координат задается двумя натуральными числами **n** и **m**) прочертить перпендикулярно отрезку **OX** линии разреза, вырезать по ним полоску графена и затем соединить ее края. Здесь приведен пример для «выкройки» трубки с **n = 4** и **m = 3**.



1. Сопоставьте изображенным на рисунке моделям УНТ пары координат **n,m** из следующих возможных вариантов: (8,2), (2,8), (5,5), (10,0), (4,7) и (7,4). **(4 балла)**
2. Одинаковые или разные УНТ задаются парами координат (10,0) и (0,10), а также (4,7) и (7,4)? Если разные, то поясните, чем они отличаются. **(2 балла)**

Для решения задачи можно распечатать приведенный ниже графеновый лист и сделать из него модели УНТ, как указано на рис. 1.



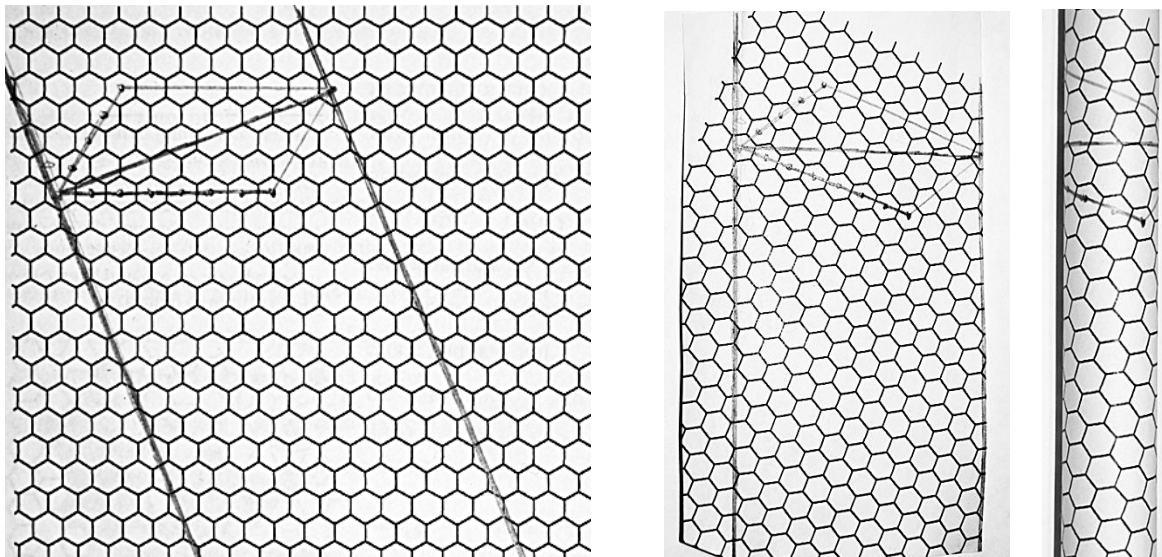
**Всего – 6 баллов**



**Юный эрудит (заочный тур)**

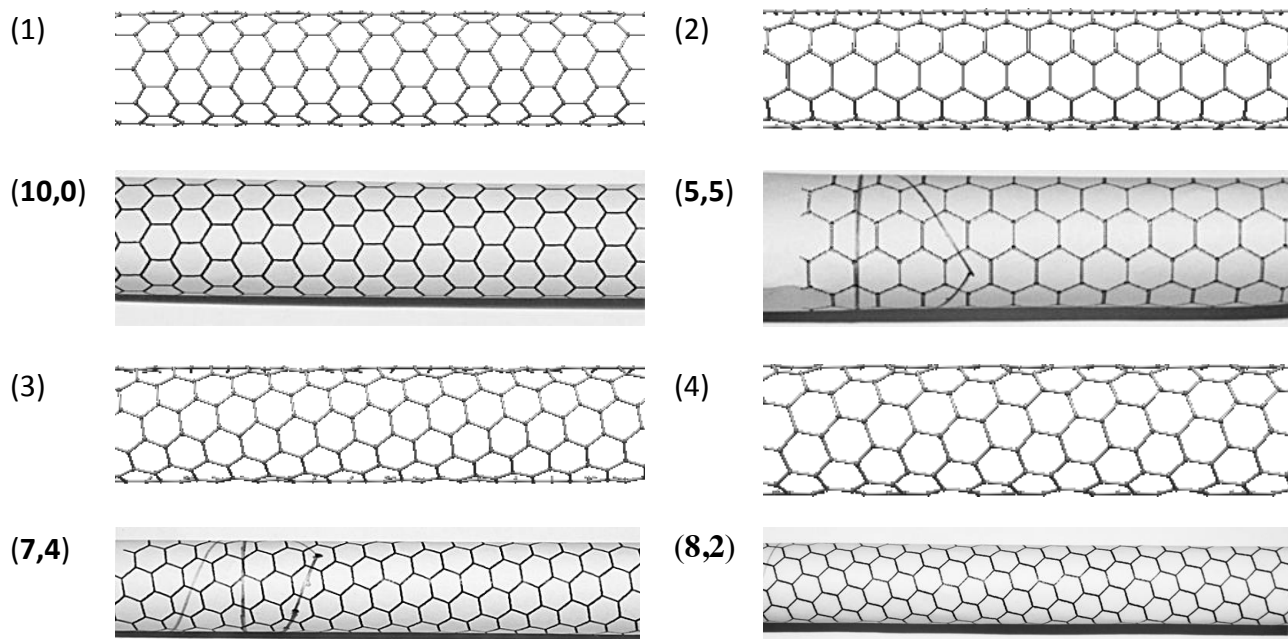
**Решение задачи 13. Модели нанотрубок своими руками**

1. Построение нанотрубок на примере (7,4).

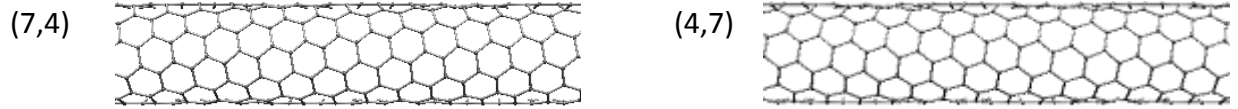


На распечатке листа с сеткой шестиугольников произвольно выбираем шестиугольник, строим координатные оси  $n$  и  $m$  и откладываем на них выбранные индексы хиральности. Затем вырезаем заготовку трубки и, сворачивая ее, совмещаем края (слева желательно оставить «запас», чтобы можно было склеить края трубки клеем по линии). Получившиеся трубки сравниваем с приведенными в условии картинками.

Ниже приведены картинки моделей из условия и фотографии склеенных из листа нанотрубок, очевидно, они однозначно сопоставляются:



2. УНТ (10,0) и (0,10) – одинаковы (можно свернуть две трубки и убедиться, в том, что они идентичны, поскольку отрезок ОХ для первой трубки совпадает с таковым для второй). УНТ (n,m) и (m,n) при  $n \neq m$  и  $n \neq 0$  являются зеркальными отражениями друг друга как правая и левая рука.



Стоит отметить, графеновый лист можно свернуть двумя способами (наружу и вовнутрь, получая при этом зеркальные отражения трубок), однако выкройка нанотрубки на распечатанном листе сворачивается однозначно.



**Юный эрудит (заочный тур)**

**Задача 14. Перекладывание атомов кластера**



Какое минимальное число атомов может быть в кластере-кубике (пример такого кластера показан на рисунке), если известно, что его атомы можно разложить на

- а. 2016;
- б. 2017

равных кучек атомов?

Ответ обоснуйте.

**Всего – 4 балла**



## Юный эрудит (заочный тур)

### Решение задачи 14. Перекладывание атомов кластера

- а. 2016 – четное число, и при делении его на 2 тоже получается четное. Поделив его 5 раз на 2, получаем  $63 = 9 \cdot 7 = 3^2 \cdot 7$ , т.е.  $2016 = 2^5 \cdot 3^2 \cdot 7$ . Ближайшим кубом натурального числа будет  $2^6 \cdot 3^3 \cdot 7^3 = 84^3 = 592\,704$ .
- б. 2017 – простое число (не раскладывается на множители), поэтому  $2017^3 = 8\,205\,738\,913$ .





**Юный эрудит (заочный тур)**  
**Задача 15. Число связей**

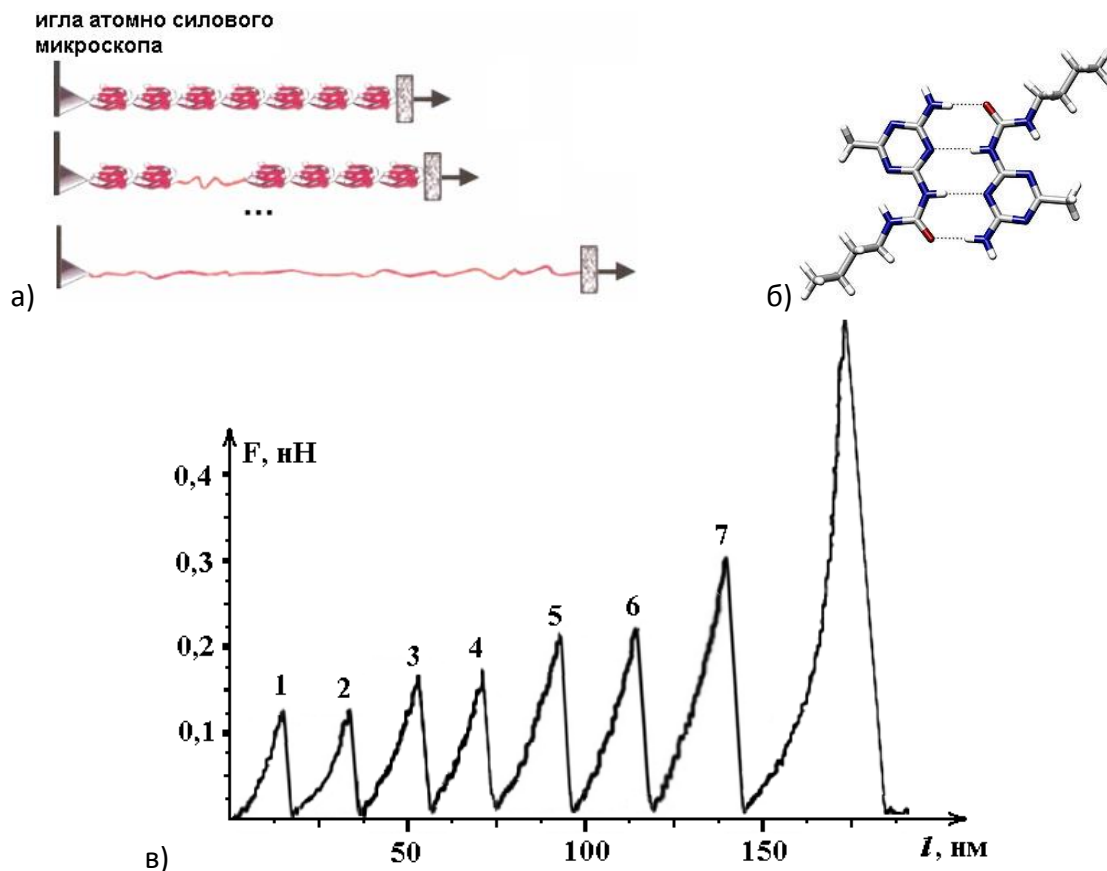


Рис. а) Схематичный пример растягивания белка, состоящего из семи одинаковых глобул-клубков. б) Пример водородных связей (обозначены точками), которые удерживают удаленные друг от друга звенья в глобуле белка. в) Упрощенный график зависимости силы от удлинения при растяжении молекулы белка, состоящей из семи разных глобул.

Если начать постепенно растягивать белковую молекулу, то составляющие ее клубки-глобулы начнут распутываться (рис. а), подобно тому, как развязываются скользящие узлы на веревке. Такими «узелками», связывающими далекие звенья клубка, выступают водородные связи (рис. б).

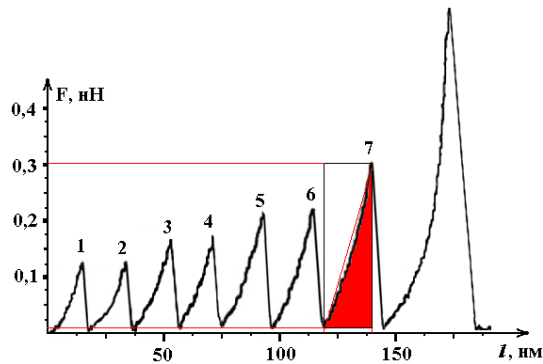
Оцените, сколько водородных связей разрывается при распутывании последней (седьмой) глобулы (по рис. в), если средняя энергия таких связей составляет 0.1 эВ (упрощенно считать, что глобулу удерживают в свернутом состоянии только водородные связи).

**Всего – 4 балла**





**Юный эрудит (заочный тур)**  
**Решение задачи 15. Число связей**



1) Переведем среднюю энергию связи в систему СИ ( $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ ):

$$0,1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-20} \text{ Дж.}$$

2) Работа постоянной силы равна произведению силы на удлинение ( $A = F\Delta l$ ).  
 Для оценки работы будем считать, что сила меняется линейно от нуля до  $F_{\max}$ .

3) Средняя сила составляет  $0,5F_{\max}$ , тогда работа  $0,5F_{\max}\Delta l_{\max}$  (работа силы  $F_{\max}$  на  $\Delta l_{\max}$  будет равна площади прямоугольника со сторонами  $F_{\max}$  и  $\Delta l_{\max}$ , в нашем случае мы приближаем кривую  $F(l)$  прямой, являющейся диагональю этого прямоугольника).

4) Тогда число разрываемых водородных связей составляет

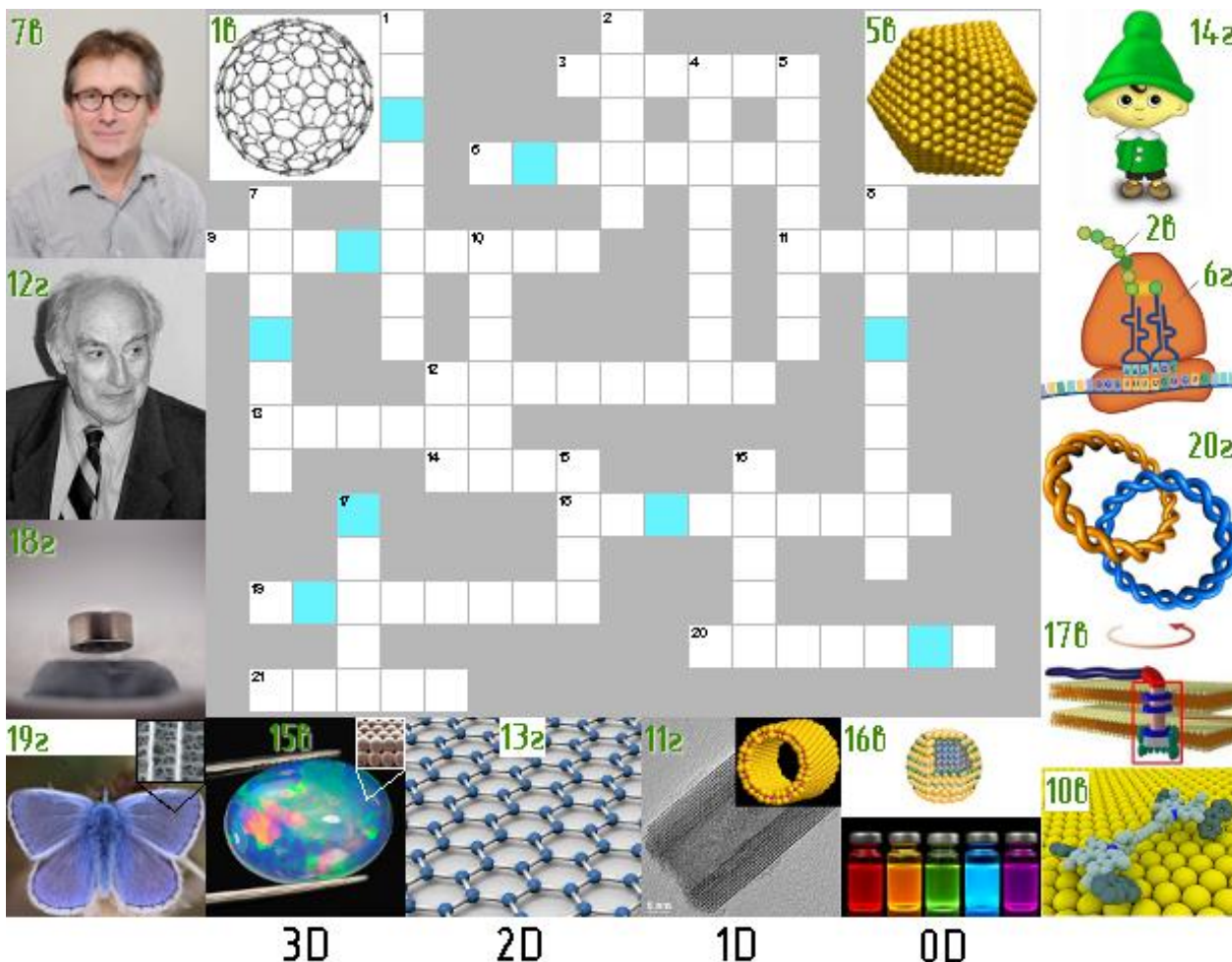
$$n = \frac{A}{E_0} = \frac{0,5F_{\max}\Delta l_{\max}}{E_0}.$$

По графику определяем, что  $F_{\max} \approx 0,29 \text{ нН}$ ,  $\Delta l_{\max} \approx 21 \text{ нм}$ , переводя все величины в систему СИ, находим:

$$n = \frac{0,5 \cdot 0,29 \cdot 10^{-9} \cdot 21 \cdot 10^{-9}}{1,6 \cdot 10^{-20}} = \frac{3,05 \cdot 10^{-18}}{1,6 \cdot 10^{-20}} \approx \underline{\underline{190}} \text{ водородных связей.}$$



**Юный эрудит (заочный тур)**  
**Задача 16. Кроссворд**



**По горизонтали**

- 3. Искривление поверхности жидкости, например, возле стенки тонкого капилляра.
- 6. Бионано-10в (рис. 6г).
- 9. Молекула-дерево.
- 11. Пример псевдо-одномерной (1D) наноструктуры (рис. 11г).
- 12. Российский ученый, рис. 12г (получил Нобелевскую премию по физике за вклад в теорию рис. 18г).
- 13. Псевдо-двумерная (2D) форма углерода (рис. 13г)
- 14. Приставка, образованная от греческого названия персонажа (рис. 14г).
- 18. Сверх-... (рис. 18г).
- 19. Мета-... (рис. 19г и 15в).
- 20. Рис. 20г, одна из возможных деталей для создания нано-10в.
- 21. Может заразить и человека, и компьютер.

**По вертикали**

- 1. Углеродный шарик (рис. 1в).
- 2. Получается в результате работы 6г (рис. 2в).
- 4. Его форму могут иметь и 21г, и 1в и 5в.

- 5. Группа атомов (рис. 5в).
- 7. Лауреат Нобелевской премии по химии 2016 года (рис. 7в), создал первый искусственный молекулярный **17в**.
- 8. Взвесь наночастиц в воде.
- 10. Молекулярная ... (рис. 10в). За дизайн и синтез вручена Нобелевская премия по химии 2016 года.
- 12. В нем содержится программа сборки **2в**.
- 15. Природный минерал, пример трехмерной (3D) наноструктуры (рис. 15в).
- 16. Квантовая ... (рис. 16в).
- 17. Природный нано-... (рис. 17в).

Из букв, помеченных голубым цветом, составьте слово.

**Всего – 21 балл**



**Юный эрудит (заочный тур)**  
**Решение задачи 16. Кроссворд**

**По горизонтали**

- 3. Мениск – искривление поверхности жидкости, например, возле стенки тонкого капилляра.
- 6. Рибосома – бionано-10в (машина) (рис. 6г).
- 9. Дендример – молекула-дерево.
- 11. Трубка – пример псевдо-одномерной (1D) наноструктуры (рис. 11г).
- 12. Гинзбург – российский ученый, рис. 12г (получил Нобелевскую премию по физике за вклад в теорию рис. 18г (сверх-проводников)).
- 13. Графен – псевдо-двумерная (2D) форма углерода (рис. 13г).
- 14. Нано – приставка, образованная от греческого названия персонажа (рис. 14г).
- 18. Сверх-проводник (рис. 18г).
- 19. Мета-материал (рис. 19г и 15в).
- 20. Катенан – рис. 20г, одна из возможных деталей для создания нано-10в (машин).
- 21. Вирус – может заразить и человека, и компьютер.

**По вертикали**

- 1. Фуллерен – углеродный шарик (рис. 1в).
- 2. Белок – получается в результате работы 6г (рибосомы) (рис. 2в).
- 4. Икосаэдр – его форму могут иметь и 21г (вирусы), и 1в (фуллерены) и 5в (кластеры).

**5. Кластер** – группа атомов (рис. **5в**).

**7. Феринга** – лауреат Нобелевской премии по химии 2016 года (рис. **7в**), создал первый искусственный молекулярный **17в** (*мотор*).

**8. Суспензия** – взвесь наночастиц в воде.

**10. Молекулярная машина** (рис. **10в**). За дизайн и синтез вручена Нобелевская премия по химии 2016 года.

**12. Ген** – в нем содержится программа сборки **2в** (*белка*).

**15. Опал** – природный минерал, пример трехмерной (3D) наноструктуры (рис. **15в**).

**16. Квантовая точка** (рис. **16в**).

**17. Природный нано-мотор** (рис. **17в**).

Из букв, помеченных голубым цветом, составьте слово: **о, л, и, м, п, и, а, д, а**



## 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 четырем предметам.

### Задания

#### 1. Гидрирование C<sub>20</sub>

Найдите формулы C<sub>20</sub>H<sub>x</sub> всех продуктов присоединения водорода к фуллерену C<sub>20</sub>, у которых все атомы водорода лежат в вершинах какого-нибудь правильного многогранника...

#### 2. Статистические сополимеры

В пробирке находятся наночастицы (NP) с прикрепленными к ним молекулами сополимера, формула которых может быть записана как NP-A<sub>12</sub>B<sub>12</sub>...

#### 3. Перекладывание атомов в кубиках

Допустим, нанокластер C можно разобрать на отдельные атомы, а затем собрать из них без остатка 3 других кубических нанокластера, причем  $n_1, n_2, n_3, n$  составляют арифметическую прогрессию...

#### 4. Углеродный нанобублик

Всем хорошо известны углеродные нанополоски (фуллерены). Более сложную структуру – нанотор – можно рассматривать как некий «гибрид» внешней углеродной нанотрубки и нано-переходника...

## **5. Гомологический ряд борофенов**

Бор, как и углерод, может образовывать каркасные молекулы, подобные фуллеренам – борсферены (обнаружены в 2014 году), а также подобные графену квази-двумерные структуры – борофены...

## **6. Икосаэдрические фуллерены и индексы хиральности**

Любой икосаэдрический фуллерен можно представить в виде «выкройки» на графеновой плоскости. Общее число атомов при этом определяется по формуле  $N = 20(n^2 + nm + m^2)$ ...

## **7. Митохондриальная Ева и ближайший общий предок**

У всех людей есть предки. Чем дальше уходим вглубь веков, тем больше предков у каждого из нас, и тем больше людей имеют общих предков...

## **8. Контактное число**

При построении нанокластера или кристалла вещества, Природа часто решает математическую задачу о Контактном Числе (КЧ): какое максимальное число одинаковых шаров можно разместить...

## **9. Чертова дюжина**

Рост нанокластера можно рассматривать как последовательное увеличение числа слоев, тогда первым шагом можно назвать размещение атомов первого слоя вокруг центрального атома...

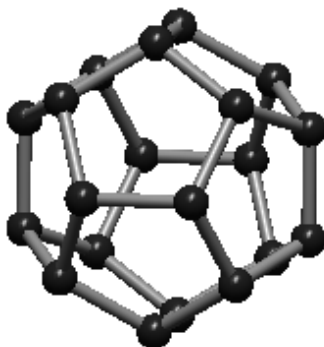
## **10. Триpletный Код Полуэкта**

Юный нанотехнолог Полуэкт, насмотревшись фильмов про расшифровку британскими математиками кодов немецких секретных сообщений во время Второй мировой войны, захотел создать штамм...





**Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 1. Гидрирование  $C_{20}$**



Найдите формулы  $C_{20}H_x$  всех продуктов присоединения\* водорода к фуллерену  $C_{20}$ , у которых все атомы водорода лежат в вершинах какого-нибудь правильного многогранника. (К каждому атому углерода может присоединиться только один атом водорода). Для каждой формулы, удовлетворяющей условию, схематично нарисуйте, к каким вершинам присоединены атомы водорода. Поясните, будут ли среди них пары зеркальных изомеров\*\*?

\* каркас фуллерена не разрушается.

\*\* зеркальные изомеры – молекулы, не переходящие друг в друга ни при каких поворотах в пространстве, но переходящие друг в друга при отражении в зеркале.

**Всего – 5 баллов**



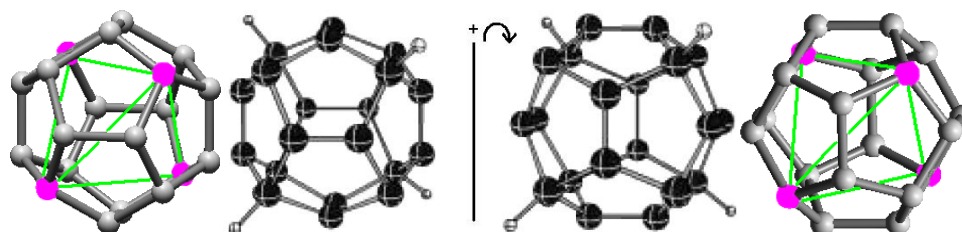


**Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 1. Гидрирование  $C_{20}$**

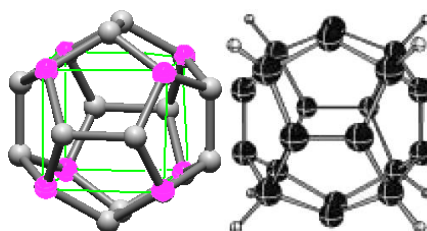
Фуллерен  $C_{20}$  представляет собой правильный двадцативершинник – додекаэдр. Таким образом, данная задача сводится к поиску правильных многогранников, вписанных в додекаэдр так, что их вершины совпадают. Таких многогранников два: тетраэдр и куб.

То есть, условию удовлетворяют:

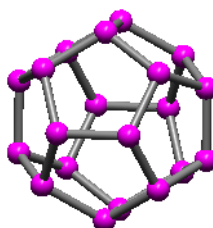
$C_{20}H_4$  (тетраэдр, пара зеркальных изомеров, правый после отражения и поворота на 90 градусов переходит в левый):



$C_{20}H_8$  (куб)



$C_{20}H_{20}$  (додекаэдр)







**Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 2. Статистические сополимеры**

1. Полимер длиной 24 можно разбить блоки равной длины пятью способами (делители 12):

$$x = 1, n = 24/2x = 12, N_1 = C_2^1 = 2 \text{ (два варианта структуры блока: (AB)}_{12} \text{ и (BA)}_{12} \text{)}$$

$$x = 2, n = 24/2x = 6, N_2 = C_4^2 - N_1 = \frac{4!}{2!2!} - 2 = 4 \text{ (учет того, что (AB)}_{12} \text{ и (ABAB)}_6 \text{ – это один и тот же сополимер)}$$

$$x = 3, n = 24/2x = 4, N_3 = C_6^3 - N_1 = \frac{6!}{3!3!} - 2 = 18 \text{ (учет того, что (AB)}_{12} \text{ и (ABABAB)}_4 \text{ – это один и тот же сополимер)}$$

$$x = 4, n = 24/2x = 3, N_4 = C_8^4 - N_1 - N_2 = \frac{8!}{4!4!} - 2 - 4 = 64$$

$$x = 6, n = 24/2x = 2, N_5 = C_{10}^5 - N_1 - N_2 - N_3 = \frac{10!}{5!5!} - 2 - 4 - 18 = 900$$

$x = 12$  – не удовлетворяет условию  $n > 1$  (не является полимером)

Общее число вариантов регулярного расположения звеньев равно

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 = 2 + 4 + 18 + 64 + 900 = 988$$

- 2.

- 1) Общее число вариантов сополимера  $A_{12}B_{12}$

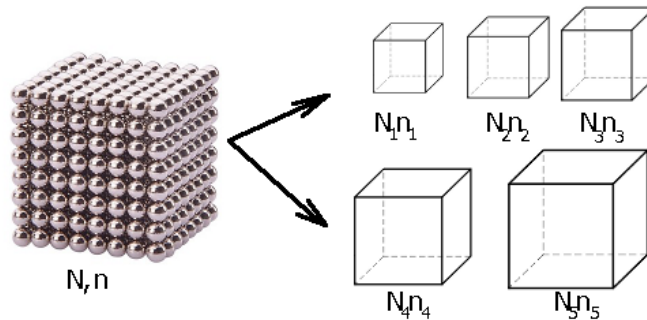
$$N_{\text{all}} = C_{24}^{12} = \frac{24!}{12!12!} = 2704156$$

- 2) Вероятность регулярной структуры равна

$$P = \frac{N}{N_{\text{all}}} = \frac{988}{2704156} \approx 3,7 \cdot 10^{-4}$$

Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 3. Перекладывание атомов в кубиках



Кубический нанокластер  $C$  из атомов железа.  $N$  – общее число атомов в кластере,  $n$  – число атомов, приходящееся на ребро. Слева показан пример нанокластера для  $n = 8$ .

Допустим, нанокластер  $C$  можно разобрать на отдельные атомы, а затем собрать из них без остатка (см. рисунок):

- а. 3 других кубических нанокластера, причем  $n_1, n_2, n_3, n$  составляют арифметическую прогрессию с шагом 1;
- б. 2 одинаковых кубических нанокластера ( $n_4 = n_5$ );
- в. 2 разных по размеру кубических нанокластера ( $n_4 \neq n_5$ ).

Для каждого пункта найдите соответствующие нанокластеру  $C$  минимальные  $N$  и  $n$ , а также все  $N_i, n_i$ .

**Всего – 6 баллов**



**Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 3. Перекладывание атомов в кубиках**

а.

$$n_1^3 + n_2^3 + n_3^3 = n^3$$

$$n_2 = n_1 + 1, \quad n_3 = n_2 + 1 = n_1 + 2, \quad n = n_3 + 1 = n_1 + 3$$

$$n_1^3 + (n_1 + 1)^3 + (n_1 + 2)^3 = (n_1 + 3)^3$$

$$2n_1^3 - 12n_1 - 18 = 0$$

$$n_1^3 - 6n_1 - 9 = 0$$

Ищем натуральные корни среди делителей свободного члена (9):

$$n_1 = 3, \quad (n_1 - 3)(n_1^2 + 3n_1 + 3) = 0$$

$$n_2 = n_1 + 1 = 4,$$

$$n_3 = n_2 + 1 = n_1 + 2 = 5,$$

$$n = n_3 + 1 = n_1 + 3 = 6$$

$$N = 6^3 = 216.$$

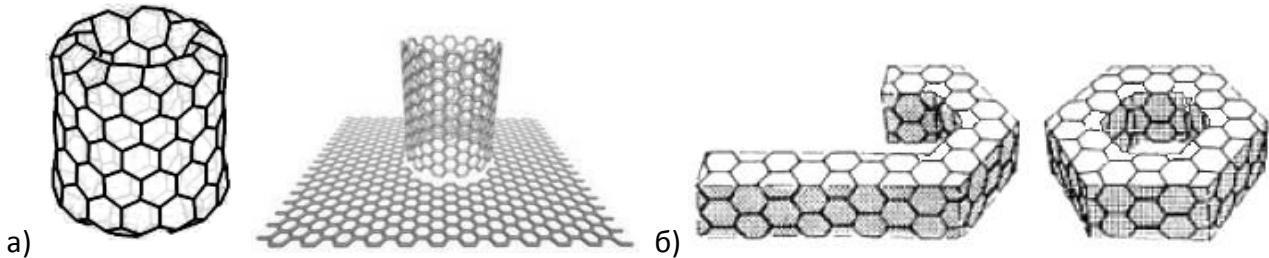
- б. Предположим, что атомы одного кубического нанокластера можно поделить поровну между двумя другими кубическими нанокластерами, тогда  $2n_4^3 = n^3$  и  $n = \sqrt[3]{2}n_4$ . Поскольку полученная величина  $n \notin \mathbb{N}$ , следовательно, такой вариант невозможен.
- в. Куб натурального числа не может быть представлен в виде суммы кубов натуральных чисел (следствие из Великой теоремы Ферма, несмотря на кажущуюся простоту формулировки, теорема была доказана лишь недавно).



## Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Задача 4. Углеродный нанобублик

Всем хорошо известны углеродные нанополлики (фуллерены). Более сложную структуру – нанотор – можно рассматривать как некий «гибрид» внешней углеродной нанотрубки и внутреннего [нано-переходника трубка-графен](#).

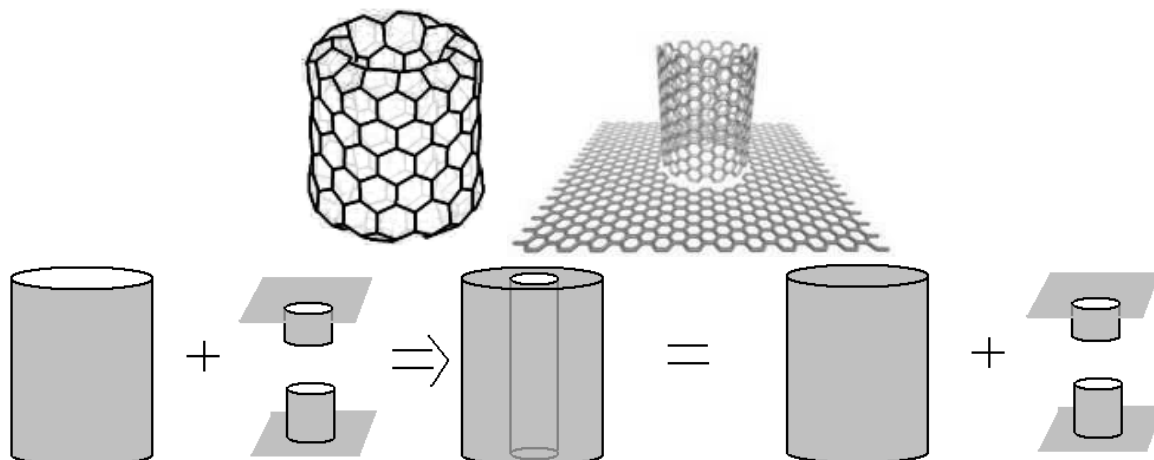


1. Поясните, какое минимальное число дефектов (углеродных циклов, отличных от шестиугольников) может содержать нанотор и какие это дефекты? **(2 балла)**
2. Другой способ построить нанотор из углеродной нанотрубки схематично приведен на рисунке б. Основываясь на симметричности полученной фигуры, найдите, сколько у нее вершин **V**? **(3 балла)** Оцените диаметр трубки, из которой был свернут нанотор. Длину С–С связи считать равной 0.14 нм. **(1 балл)**

**Всего – 6 баллов**

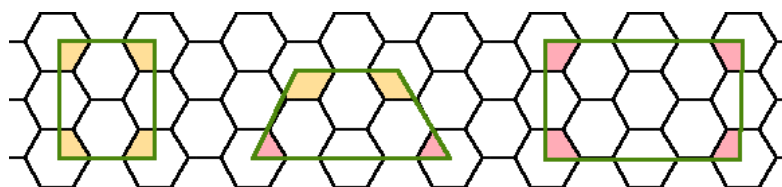
**Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 4. Углеродный нанобублик**

1.



Если мы возьмем нанотрубку и закроем ее торцы переходниками нанотрубка-графен, то такой нанотор также можно представить в виде фуллерена, на торцах которого создали переходники графен-нанотрубка (см. рисунок). Таким образом, минимальное число дефектов такого нанотора будет складываться из минимального числа дефектов фуллерена + удвоенного минимального числа дефектов в переходнике графен-нанотрубка, т.е. из 12 пятиугольников и 12 (6·2) семиугольников. Стоит отметить, что возможен другой принцип построения нанотора (не указанный в задаче), при котором изгиб и замыкание нанотрубки происходит за счет геометрического искажения ее шестиугольников так, что она, изгибаясь, замыкается сама на себя без дополнительного образования семи- и пятиугольных дефектов.

2. 1) Изображенный на рисунке нанотор можно представить как шестиугольную «гайку», поверхность которой состоит из *шести* малых прямоугольников, образующих внутреннее отверстие, *шести* внешних прямоугольников, а также *двенадцати* одинаковых трапеций (желтым цветом отмечены части семиугольников, розовым - пятиугольников).



Рассчитаем число вершин, отвечающее каждому из элементов поверхности тора (учитывая, что вершина, лежащая на границе элемента, принадлежит этому элементу лишь наполовину):

|          | Малый<br>прямоугольник | Трапеция               | Большой<br>прямоугольник | Всего вершин                                |
|----------|------------------------|------------------------|--------------------------|---|
| <b>V</b> | $6 + 4 \cdot 0,5 = 8$  | $4 + 10 \cdot 0,5 = 9$ | $12 + 8 \cdot 0,5 = 16$  | $8 \cdot 6 + 9 \cdot 12 + 16 \cdot 6 = 252$ |

2) Диаметр «полости» равен диаметру углеродной нанотрубки, которую характеризуют индексы хиральности (n,0), где

$$n = 2 + 1,5 + 2 + 1,5 = 7$$

(Высота малого прямоугольника + высота трапеции + высота большого прямоугольника + высота трапеции, выраженные через малую диагональ шестиугольника).

Тогда

$$D = \frac{a\sqrt{3}}{\pi} \sqrt{n^2 + nm + m^2} = \frac{0,14 \cdot \sqrt{3}}{3,14} 7 = 0,54 \text{ нм.}$$



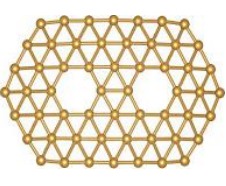
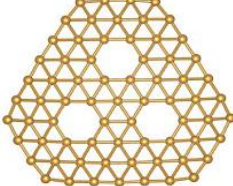

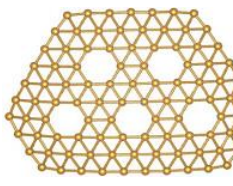
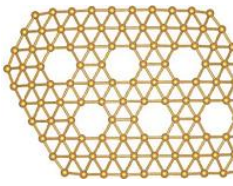


## Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Задача 5. Гомологический ряд борофенов

Бор, как и углерод, может образовывать каркасные молекулы, подобные фуллеренам – [борсферены \(обнаружены в 2014 году\)](#), а также подобные графену квази-двумерные структуры – борофены (первую такую структуру получили в конце 2015-го года, *Science* 350, 6267, 1513 (2015)). Моделирование показало, что для того, чтобы форма борофенового листа была максимально приближена к плоской, в его структуре необходимо наличие систематических дефектов – шестиугольников, образующихся на месте отсутствующего атома.

В таблице представлен один из гомологических рядов двумерных кластеров бора  $B_n$ :

|   |   |   |  |   |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |
| $x = 1$   | $x = 2$   | $x = 3$   | $x = 4$  | $x = 5$   |

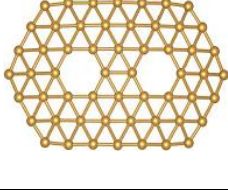
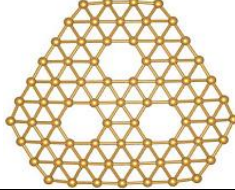
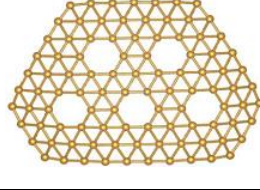
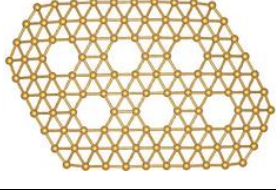
$x$  – порядковый номер молекулы в последовательности.

1. Выведите общий вид зависимости  $n(x)$  для произвольного кластера данного ряда. **(1.5 балла)**
2. Опишите общий алгоритм построения следующего члена ряда на основе предыдущего. **(1.5 балла)**
3. Сколько атомов бора в кластере с  $x = 3$ ? Нарисуйте его структуру. **(1.5 балла)**
4. Рассчитайте радиус описанной окружности для кластера с  $x = 2$ , если расстояние между соседними атомами бора  $a = 0.16$  нм, атомы считать точечными. **(2 балла)**
5. Выведите общую формулу для расчета длины кластера  $L(x)$  (как максимальной длины по горизонтали). **(1.5 балла)**
6. Какое соотношение атомов бора к дефектам в бесконечно длинном борофене? **(1 балл)**

**Всего – 9 баллов**

**Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 5. Гомологический ряд борофенов**

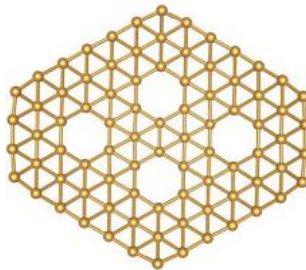
1.

|        |   |   |         |  |   |
|--------|---|---|---------|--|---|
| $B_n$  |  |  |         |  |  |
| $x$    | $x = 1$   | $x = 2$   | $x = 3$ | $x = 4$  | $x = 5$   |
| $n(x)$ | <b>56</b>   | <b>70 = 56 + 14</b>   | ?       | <b>98 = 70 + 28</b>  | <b>112 = 98 + 14</b>  |

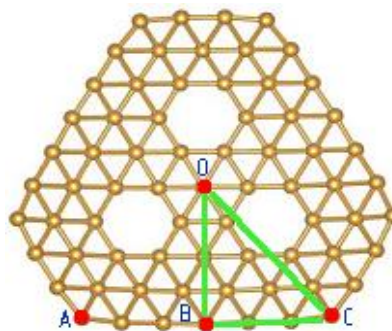
$$n(x) = 56 + 14(x - 1) = 42 + 14x$$

2. Шаг последовательности равен 14 и отвечает удалению одного атома из центра ребра длиной 7 атомов бора с одновременной достройкой трапеции из 15 атомов бора (6+5+4) вдоль этого ребра.

3.  $n(3) = 84$



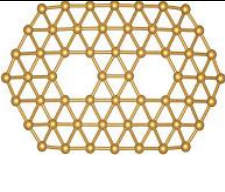
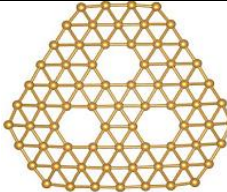
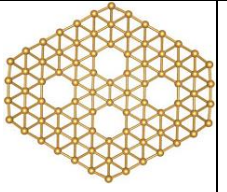
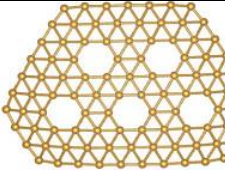
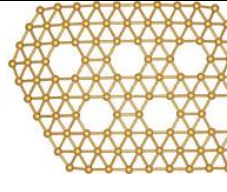
4. Кластер  $B_{70}$  представляет собой усеченный треугольник.



$$R = \sqrt{BC^2 + OB^2} = \sqrt{(3a)^2 + \left(4 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} a\right)^2} = a\sqrt{9+12} = a\sqrt{21} = 0,16 \cdot \sqrt{21}$$

**R = 0,73 нм.**

5.

|   |   |   |  |   |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |
| $x = 1$   | $x = 2$   | $x = 3$   | $x = 4$  | $x = 5$   |
| $L = 7,5a$  | $L = 9a$  | $L = 10,5a$   | $L = 12a$  | $L = 13,5a$   |

$$L(x) = (7,5 + 1,5(x - 1))a = (6 + 1,5x)a = 0,16 \cdot (6 + 1,5x)$$

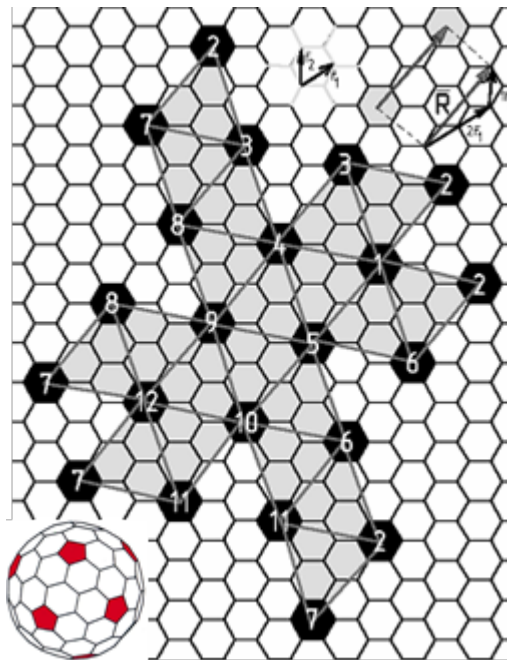
6. Соотношение атомов бора и дефектов в бесконечно длинной ленте составляет

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{n(x)}{x+1} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{42 + 14x}{x+1} = \lim_{x \rightarrow 0} \left( \frac{28}{x+1} + 14 \right) = 14$$

На треугольник, соединяющий центры трех дефектов, приходится  $6/2 + 1 = 4$  атома бора. В тоже время, один дефект приходится на 6 таких треугольников, то есть, на один треугольник приходится  $3/6 = 1/2$  дефектов. Соотношение атомов бора и дефектов в бесконечно большом листе (когда долей краевых атомов бора можно пренебречь) составляет: 4 (=  $6/2 + 1$  атома бора, приходящиеся на треугольник, соединяющий центры трех дефектов):0,5 (дефектов приходится на один треугольник, поскольку один дефект приходится на 6 таких треугольников) = 8:1, то есть, на каждые 8 атомов приходится один дефект.

**Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 6. Икосаэдрические фуллерены и индексы хиральности**

Любой икосаэдрический фуллерен можно представить в виде «выкройки» на графеновой плоскости (рис. 1). Общее число атомов при этом определяется по формуле  $N = 20(n^2 + nm + m^2)$ , где натуральные 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».



*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  $\vec{R} = 2\vec{r}_1 + 1\vec{r}_2$ .*

1. Рассмотрим множество икосаэдрических фуллеренов (ряд  $F_c$ ), имеющих одинаковую сумму индексов хиральности  $c = n + m$ . Выразите число атомов и индексы хиральности через  $c$  для икосаэдрических фуллеренов этого ряда, имеющих минимальное  $N_{\min}$  и максимальное  $N_{\max}$  число атомов в молекуле. **(4 балла)**
2. Запишите все члены ряда  $F_c$ , включающего в себя самый маленький икосаэдрический фуллерен. **(1 балл)**
3. Для ряда  $F_c$ , включающего бакибол  $C_{60}$ , рассчитайте  $N_{\min}$  и  $N_{\max}$ . Сколько еще и каких ( $N$ ) икосаэдрических фуллеренов содержит этот ряд? **(2 балла)**
4. Каково число икосаэдрических фуллеренов в ряду  $F_{2017}$ ? Найдите  $N_{\min}$  и  $N_{\max}$  для этого ряда. **(3 балла)**

Считать фуллерены  $(n,m)$  и  $(m,n)$  одним и тем же членом ряда.

**Всего – 10 баллов**



**Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 6. Икосаэдрические фуллерены и индексы хиральности**

1. Запишем число атомов в икосаэдрическом фуллерене как функцию от суммы индексов хиральности:

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

$$N = 20(c^2 - cn + n^2)$$

Максимальному значению числа атомов  $N_{\max}$  отвечает минимальное значение величины, вычитаемой из константы  $20c^2$ :  $20n(c - n) = 0$ , то есть либо  $n = 0$ , либо  $c - n = 0$ . При этом  $m = c$  (или  $n = c$ ) и  $N(0, c) = N(c, 0) = 20c^2$ .

*\*В условии задачи была допущена неточность: для фуллеренов вместо  $n, m \in N_0$  было указано  $n, m \in N$ . Все решения, выполненные с учетом  $n, m \in N$ , оценивались полным баллом.*

Чтобы найти значение  $n$ , отвечающее  $N_{\min}$ , запишем первую производную и приравняем ее к нулю:

$$N'(n) = 20(-c + 2n) = 0,$$

то есть,  $2n - c = 0$  или  $n = 0,5c$ . Значение второй производной

$$N''(n) = 40 > 0$$

подтверждает, что найденный экстремум отвечает минимуму функции  $N(n)$ .

Поскольку  $n, m \in N$ , то  $n = 0,5c$  справедливо только для  $c \div 2$ . Для нечетных значений  $c$  ближайшим целым значением  $n$  будет  $0,5c - 0,5$ .

Тогда для  $c \div 2$  второй индекс равен  $m = c - 0,5c = 0,5c$  и минимальное число атомов равно  $N(0,5c, 0,5c) = 20 \cdot 3 \cdot 0,25 \cdot c^2 = 15c^2$ , а нечетных значений  $c$  второй индекс равен  $m = c - 0,5(c - 1) = 0,5c + 0,5$  и минимальное число атомов равно

$$N\left(\frac{c-1}{2}, \frac{c+1}{2}\right) = 20\left(\left(\frac{c-1}{2}\right)^2 + \left(\frac{c-1}{2}\right) \cdot \left(\frac{c+1}{2}\right) + \left(\frac{c+1}{2}\right)^2\right) = 5(3c^2 + 1)$$

Таким образом,  $N_{\max}(c) = 20c^2$  (для икосаэдрических фуллеренов с индексами  $(0, c)$  и  $(c, 0)$ ),  $N_{\min}(c) = 15c^2$  (для  $c \div 2$  и икосаэдрических фуллеренов с индексами  $(0,5c, 0,5c)$ ) либо  $N_{\min}(c) = 5(3c^2 + 1)$  (для нечетного  $c$  и икосаэдрических фуллеренов с индексами  $(0,5c - 0,5, 0,5c + 0,5)$ ).

2.  $F_1: c = 1, n = 0, m = 1, N(0,1) = 20$ . Ряд состоит из одного икосаэдрического фуллерена.
3.  $F_2: c = 2$ ,  
минимальное число атомов:  $n = 0, m = 2, N(0,2) = 80$ ;  
максимальное число атомов:  $n = 1, m = 1, N(1,1) = 60$ .  
Ряд состоит только из этих двух икосаэдрических фуллеренов.
4.  $N_{\max}(0,2017) = 20 \cdot 2017^2 = 81365780$ ,  $N_{\min}(1008,1009) = 5(3 \cdot 2017^2 + 1) = 61024340$ .  
В ряду  $F_{2017}$  индекс  $n$  проходит все значения от 0 до 1008, то есть, ряд содержит 1009 икосаэдрических фуллеренов.



**Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 7. Митохондриальная Ева и ближайший общий предок**

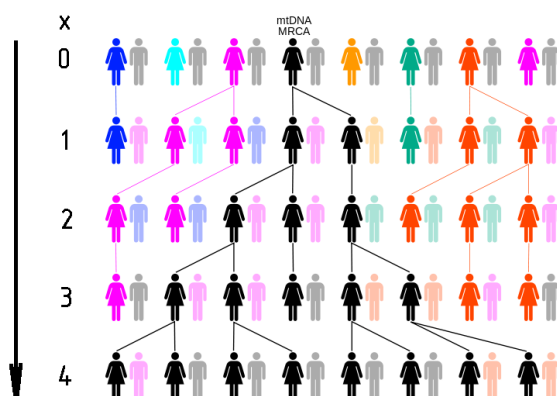


Рис. Пример эволюции популяции из  $n = 16$  человек со случайным возникновением митохондриальной Евы уже в четвертом поколении ( $x = 4$ ).

У всех людей есть предки. Чем дальше уходим вглубь веков, тем больше предков у каждого из нас, и тем больше людей имеют общих предков. Поэтому можно найти такое время (~5 000 лет назад), в котором жил ближайший общий предок (БОП) всех людей.

Однако, если считать родство по митохондриям (которые наследуются только по материнской линии), то ближайшим общим предком, от которого все современное человечество унаследовало митохондриальную ДНК, будет жившая в Африке около 200 000 лет назад женщина – «митохондриальная Ева».

Чтобы понять феномен возникновения Евы, а также, почему она намного старше БОП всех ныне живущих людей, рассмотрим простую математическую модель: популяцию, состоящую в нулевом поколении из  $n = 2048$  неродственных людей, мужчин и женщин поровну. Браки в этой популяции случайны, в каждой семье всегда рождается по 2 ребенка, вероятность того, что ребенок будет мальчиком или девочкой равна 50%, а между сменой поколений проходит  $t_0 = 20$  лет.

1. Для первого поколения ( $x = 1$ ) рассчитайте:
  - а. в популяции – долю групп людей, имеющих одинаковых предков ( $\omega_{n1}$ ) **(1 балл)**
  - б. среди женщин популяции – долю групп женщин, имеющих одинаковых матерей ( $\omega_{ne1}$ ) **(1 балл)**
2.
  - а. Найдите, чему равно минимальное время  $t_{\min}$ , за которое у всех членов рассматриваемой популяции может возникнуть общий предок в нулевом поколении. **(2.5 балла)**
  - б. Каково при этом суммарное число всех предков у произвольного человека из поколения, отвечающего времени  $t_{\min}$ ? **(1 балл)**
3. Путем компьютерного моделирования\* найдите среднее время  $t_e$ , за которое в рассмотренной популяции возникает митохондриальная Ева. **(7 баллов)** Во сколько раз  $t_e$  больше  $t_{\min}$ ? **(1 балл)**
4. Считая, что  $t_e$  пропорционально  $n$ , оцените размер популяции, в которой по прошествии 200 000 лет возникла митохондриальная Ева. **(1.5 балла)**

\*Напишите программу (на любом языке программирования), которая будет осуществлять смену поколений соответственно модели, для каждого поколения находить остающееся в популяции число общих матерей из поколения  $x = 0$ , до тех пор, пока не останется лишь одна. Приведите в ответе исходный код и коротко опишите алгоритм программы.

*Подсказка для компьютерного моделирования:*

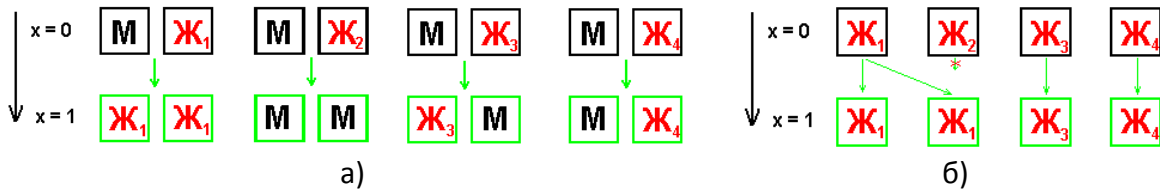
- можно рассматривать только женскую часть популяции;
- величиной  $t_e$  считать время, через которое все женщины популяции будут иметь одну общую мать из нулевого поколения;
- поскольку получаемая величина  $t_e$  подвержена случайным изменениям, то моделирование необходимо повторить 10–20 раз и полученные значения усреднить;
- перед каждой сменой поколений всю популяцию можно разбивать случайным образом на группы некоторого минимального размера, в каждой из которых выполнить смену поколений по единому для всех этих групп алгоритму.

**Всего – 15 баллов**



**Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 7. Митохондриальная Ева и ближайший общий предок**

1. В первом поколении в каждой семье рождается по 2 ребенка, следовательно, первое поколение состоит из родственных пар детей и  $\omega_{n1} = 1/2 = 0,5$ . Всего возможно 4 варианта пола детей в семье: ЖЖ, ММ, ЖМ, МЖ. Таким образом, передача митохондрий по материнской линии будет происходить в среднем для 3-х из 4-х женщин (см. рис), а также 3 из 4-х женщин будут иметь разных матерей. Следовательно,  $\omega_{ne1} = 3/4 = 0,75$ .



- 2.
- а. В поколении **1** из 2048 не более 2-х человек могут иметь одного и того же предка в поколении **0**.  
 В поколении **2** из 2048 не более  $2^2 = 4$ -х человек могут иметь одного и того же предка в поколении **0**.  
 В поколении **3**, соответственно,  $2^3 = 8$ .  
 В поколении **x** –  $2^x$ .  
 Если при этом общий родственник из поколения **0** есть у любого человека из популяции, то  $2048 = 2^x$ . Тогда  $x = \log_2 2048 = 11$  и  $t_{\min} = x \cdot t_0 = 11 \cdot 20 = \underline{220}$  лет.
- б. Суммарное число предков у любого члена популяции из поколения, отвечающего времени  $t_{\min}$ , составляет

$$S = \sum_{k=1}^{11} 2^k = 2(2^{11} - 1) = \underline{4094} \text{ человек.}$$

3. Пример программы на языке Pascal (PascalABC.NET <http://pascalabc.net/>):

```
{моделирование времени  $t_e$ , за которое возникает Митохондриальная Ева}
const n = 1024; {число женщин в популяции}
const t0 = 20; {время смены поколений}
var
    i, r, Ptmp, flag, x, te: integer;
    P: array[1..n] of integer;
BEGIN

x := 0; {начинаем с нулевого поколения}
for i := 1 to n do P[i] := i; {заполняем элементы массива P условными номерами от 1 до n мтДНК матерей из нулевого поколения}

{пока флаг равен единице (не все элементы в массиве P идентичны), производим циклическую смену поколений}
flag := 1;
while flag = 1 do
begin
    {для этого сначала случайным образом перемешиваем весь массив}
    for i := 1 to n do
```

```

begin

    r := Random(n) + 1;
    Ptmp := P[i];
    P[i] := P[r];
    P[r] := Ptmp;
end;

{передаем условные номера мтДНК матерей из поколения 0 в следующее
поколение.
Представим массив P разбитым на четверки элементов: P[4*i+1] P[4*i+2]
P[4*i+3] P[4*i+4] (где i от 0 до 1024/4-1). Согласно п.1 решения,
необходимо заменить значение, например, второго элемента в четверке на
значение первого элемента}
    x := x + 1;
    for i := 0 to Round(n/4)-1 do P[4*i+2] := P[4*i+1];

{затем проверяем, имеются ли в массиве P не идентичные элементы, для этого
достаточно сравнить все элементы массива с первым; если все элементы
массива P будут равны первому (образовалась Ева), то флаг останется равным
нулю и цикл смены поколений прекратится}
    flag := 0;
    for i:=2 to n do if P[1] <> P[i] then flag := 1;
    end;
te := x*t0;
writeln ('Прошло ', te, ' лет');
END.

{моделирование времени te за которое возникает Митохондриальная Ева}
const n = 1024; {число женщин в популяции}
const t0 = 20; {время смены поколений}
var
    i, r, Ptmp, flag, x, te: integer;
    P: array[1..n] of integer;
BEGIN

x := 0; {начинаем с нулевого поколения}
for i := 1 to n do P[i] := i; {заполняем элементы массива P условными
номерами от 1 до n мтДНК матерей из нулевого поколения}

{пока флаг равен единице (не все элементы в массиве P идентичны),
производим циклическую смену поколений}
flag := 1;
while flag = 1 do
    begin
        {для этого сначала случайным образом перемешиваем весь массив}
        for i := 1 to n do
            begin
                r := Random(n) + 1;
                Ptmp := P[i];
                P[i] := P[r];
                P[r] := Ptmp;
            end;
    end;

{Передаем условные номера мтДНК матерей из поколения 0 в следующее
поколение. Представим массив P разбитым на четверки элементов: P[4*i+1]
P[4*i+2] P[4*i+3] P[4*i+4] (где i от 0 до 1024/4-1). Согласно п.1 решения,
необходимо заменить значение, например, второго элемента в четверке на
значение первого элемента}
    x := x + 1;
    for i := 0 to Round(n/4)-1 do P[4*i+2] := P[4*i+1];

```

```
{затем проверяем, имеются ли в массиве P не идентичные элементы, для этого достаточно сравнить все элементы массива с первым; если все элементы массива P будут равны первому (образовалась Ева), то флаг останется равным нулю и цикл смены поколений прекратится}
flag := 0;
for i:=2 to n do if P[1] <> P[i] then flag := 1;
end;
te := x*t0;
writeln ('Прошло ', te, ' лет');
END.
```

Пример 20 значений числа поколений  $t_e$ , полученных в результате работы программы:

106580 57940 128300 43760 40460 54860 77680 57940 47860 150720 166480 99020  
74120 50340 55920 57700 44160 101000 74740 81540

Усредняя, получаем  $t_{\text{ср}} = 78556$  лет. Полученное экспериментально таким способом  $t_{\text{ср}}$  обычно находится в пределах 60 000 – 100 000 лет.

Справочное значение составляет  $t_{\text{ср}} = t_0 2n = 81920$  лет (эта цифра будет использована для дальнейших расчетов)

$$t_e/t_{\text{min}} = 81920/220 \approx 372.$$

4.  $n = 200000/81920 \cdot 2048 = 5000$  человек.

*Комментарии к решению.* Популяция превращается в одну родственную группу (т.е., возникает БОП) быстрее, чем в ней возникает митохондриальная Ева. Время возникновения БОП, как правило, пропорционально логарифму размера популяции, а время возникновения митохондриальной Евы пропорционально размеру популяции. По некоторым данным, все человечество примерно 130 000 лет назад состояло из нескольких десятков тысяч человек. Использование даже такой грубой модели дает близкую по порядку величины оценку.



## Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Задача 8. Контактное число

При построении нанокластера или кристалла вещества, Природа часто решает математическую задачу о Контактном Числе (КЧ): *какое максимальное число одинаковых шаров можно разместить вокруг центрального, так, чтобы все шары оболочки его касались?* Поиск КЧ привел к диспуту в 1694-м году между Ньютоном и математиком-астрономом Грегори. Ньютон полагал, что контактное число равно 12 (несложно заметить, что в упаковках одинаковых апельсинов, шариков, атомов, число соседей не бывает больше 12-ти), в то же время Грегори считал, что контактное число может быть и больше. Попробуем на основе несложных расчетов получить оценки КЧ сверху.

#### **Контактное число на плоскости**

Рассмотрим максимально плотную упаковку из одного слоя одинаковых атомов-шаров на плоскости («монослой»).

1. Найдите КЧ при заполнении атомами плоскости. Дайте краткое обоснование. **(1 балл)**
2. Оцените, сколько атомов радиусом 0.1 нм можно разместить на поверхности сферической наночастицы радиусом 10 нм. **(2 балла)**

#### **Вслед за Грегори**

Рассмотрим кластер, в котором вокруг центрального атома расположена оболочка из  $N$  атомов и каждый касается центрального. Спроецируем все атомы оболочки на некоторую далекую сферу радиуса  $R'$  (см. рисунок).

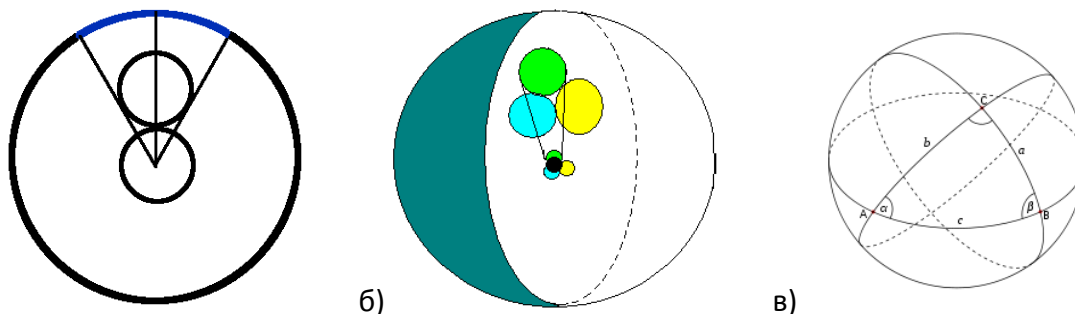


Рис. а) Проекция одного атома на далекую сферу. б) Проекция трех атомов, касающихся центрального, на далекую сферу. в) Сферический треугольник  $ABC$ .

Его площадь равна  $S_{\Delta ABC} = R'^2(\alpha + \beta + \gamma - \pi)$ , где  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  – углы между плоскостями, формирующими стороны сферического треугольника.

Самую грубую оценку сверху КЧ можно получить, ответив на вопрос:

3. Во сколько раз площадь сферы радиуса  $R'$  больше площади проекции на нее одного атома, касающегося центрального? **(2 балла)**
4. Допустим, все атомы оболочки касаются друг друга и их центры образуют правильные треугольники. Рассчитайте, во сколько раз площадь сферы радиуса  $R'$  больше площади сферического треугольника, являющегося проекцией центров трех касающихся атомов. Воспользовавшись теоремой Эйлера, оцените, какому числу атомов теоретически отвечает полученное число «треугольных граней». **(5 баллов)**

Сейчас уже точно известно, что, несмотря на кажущееся наличие в оболочке места под 13-й шар, невозможно «сгруппировать» 12 шаров так, чтобы 13-й тоже касался центрального. Потребовалось несколько столетий со времени спора Ньютона и Грегори для строгого решения этой задачи. Теорема Эйлера:  $V - E + F = 2$ , где **V**, **E**, **F** – число вершин, рёбер и граней многогранника.

**Всего – 10 баллов**

**Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 8. Контактное число**

1. Рассмотрим два круга равного диаметра, касающихся друг друга. Отрезок  $AB = 2r$ , соединяющий их центры, отрезок  $BC$ , представляющий собой касательную ко второму кругу, проведенную из центра первого и отрезок  $CA = r$ , соединяющий точку касания и центр второго круга, образуют прямоугольный  $\triangle ABC$  с углом

$$\alpha = \angle ABC = \arcsin\left(\frac{r}{2r}\right) = 30^\circ$$

Таким образом, при касании двух кругов, один из них закрывает для другого «угол обзора», равный  $2 \cdot 30^\circ = 60^\circ$ . Следовательно, вокруг одного круга могут поместиться

только  $\frac{360^\circ}{60^\circ} = 6$  кругов того же радиуса.

2. Степень заполнения равна соотношению площади, занятой кругами, к площади треугольника, соединяющего центры трех соприкасающихся кругов радиуса  $r$ :

$$\varphi = \frac{S_o}{S_\Delta} = \frac{0,5 \cdot \pi^2}{0,5(2r)^2 \sin 60^\circ} = \frac{\pi}{4 \cdot \sqrt{3}/2} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \approx 0,91$$

$$N = \frac{S\varphi}{S_1} = \frac{4\pi R^2 \varphi}{\pi R_1^2} = \frac{4R^2 \varphi}{R_1^2} = \frac{4 \cdot 10^2 \cdot 0,91}{0,1^2} = 36400$$

3. При касании двух шаров равного диаметра, один из них закрывает для второго «область обзора», которую можно представить в виде конуса с углом  $60^\circ$ . Такой конус отсекает на сфере радиуса  $R'$  шаровой сектор площадью

$$S_{at} = 2\pi R' h = 2\pi R' \left( R' - \sqrt{R'^2 - (R'/2)^2} \right) = 2\pi R'^2 \left( 1 - \sqrt{3}/2 \right)$$

Это составляет

$$\frac{S_{at}}{S_s} = \frac{2\pi R'^2 \left( 1 - \sqrt{3}/2 \right)}{4\pi R'^2} = 0,067$$

долю от общей площади сферы.

Таким образом, площадь сферы в  $\frac{1}{0,067} = 14,93$  раза больше площади, занимаемой проекцией одного шара.

4.  $S_{\triangle ABC} = R^2(\alpha + \beta + \gamma - \pi)$ ,

где  $\alpha = \beta = \gamma = \arccos \frac{1}{3}$  - двугранный угол в тетраэдре.

Тогда

$$\frac{S_s}{S_{\Delta ABC}} = \frac{4\pi R'^2}{R'^2(3\arccos(1/3) - \pi)} = \frac{4}{0,1755} = 22,79$$

сферических треугольника может разместиться на сфере.

Теорема Эйлера:  $V - E + F = 2$ .

$F = 22$  - число треугольных граней

$E = 3/2F = 33$  - число ребер (у каждой грани три ребра, каждое ребро принадлежит двум граням)

Следовательно,  $V = 2 - F + E = 2 - 22 + 33 = 13$ .



## Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Задача 9. Чертова дюжина

Рост нанокластера можно рассматривать как последовательное увеличение числа слоев, тогда первым шагом можно назвать размещение атомов первого слоя вокруг центрального атома. Известно, что максимальное число атомов, которое можно разместить вокруг другого такого же атома, составляет 12, причем расположить их можно не только одним способом.

1. Используя теорему Эйлера\*, найдите все возможные многогранники, состоящие из 12 вершин, если все их грани представляют собой правильные многоугольники, а каждая вершина имеет одинаковое число соседей. Считать, что такие многогранники содержат не более двух типов граней, пятиугольные грани отсутствуют. **(4 балла)**
2. Некоторые многогранники, состоящие из 12 вершин, гораздо проще найти, исходя из соображений симметрии, зная, что они состоят из правильных многоугольников и имеют поворотную ось пятого порядка. Найдите все такие многогранники. **(1.5 балла)**
3. Определите, сколько и каких граней и ребер содержит каждый из найденных вами многогранников, а также изобразите их либо схематично, либо в виде плоской проекции на одну из граней. **(3 балла)**

Теперь посмотрим, что получится, если попытаться построить на основе найденных многогранников нанокластеры из 13 атомов. Поместим атомы в центры и в каждую вершину всех найденных многогранников.

4. Есть ли среди получившихся кластеров такие, что:
  - а. все атомы оболочки касаются друг друга, но центральный атом не может одновременно касаться всех атомов оболочки?
  - б. все атомы оболочки касаются друг друга, и центральный атом касается всех атомов оболочки?
  - в. центральный атом касается всех атомов оболочки, но атомы оболочки не касаются друг друга?Ответы подтвердите расчетами (при необходимости можно использовать справочные формулы, атомы считать жесткими сферами одинакового радиуса). **(6 баллов)**
5. Рассчитайте радиусы сфер, описанных вокруг кластеров  $\text{Au}_{13}$  для каждой формы кластера из п.4 (радиус атома золота  $r = 0.14$  нм). **(1.5 балла)**

\* Теорема Эйлера:  $V - E + F = 2$ , где  $V$ ,  $E$ ,  $F$  – число вершин, ребер и граней многогранника.

**Всего – 16 баллов**





**Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 9. Чертова дюжина**

1. Число граней  $F = F_3 + F_4 + F_6$ ,

вершин  $V = \frac{3F_3 + 4F_4 + 6F_6}{m} = 12$  (каждая вершина принадлежит  $m$  ребрам),

ребер  $E = \frac{3F_3 + 4F_4 + 6F_6}{2} = \frac{mV}{2} = 6m$  (каждое ребро принадлежит двум граням).

Запишем для искомым многогранников:

1) число граней  $F = F_3 + F_4 + F_6$  (треугольные, квадратные и шестиугольные),

2) вершин  $V = \frac{3F_3 + 4F_4 + 6F_6}{m} = 12$  (каждая вершина принадлежит  $m$  ребрам),

3) ребер  $E = \frac{3F_3 + 4F_4 + 6F_6}{2} = \frac{mV}{2} = 6m$  (каждое ребро принадлежит двум граням).

Тогда теорема Эйлера:

$$12 - 6m + F_3 + F_4 + F_6 = 2$$

или

$$F_3 + F_4 + F_6 = 6m - 10$$

В тоже время,

$$3F_3 + 4F_4 + 6F_6 = 12m .$$

Таким образом, получена система из двух уравнений с четырьмя неизвестными. Для нахождения всех возможных решений поварьируем значение  $m$ , а также все возможные пары типов граней.

1)  $m = 3$

$$F_3 + F_4 + F_6 = 8$$

$$3F_3 + 4F_4 + 6F_6 = 36$$

1.1)  $F_3 = 0$

$$F_4 + F_6 = 8 \quad F_4 = 8 - F_6 \quad F_6 = 2$$

$$4F_4 + 6F_6 = 36 \quad 4(8 - F_6) + 6F_6 = 36 \quad F_4 = 6$$

Многогранник – шестиугольная призма (2 шестиугольных и 6 квадратных граней, 18 ребер).

1.2)  $F_4 = 0$

$$F_3 + F_6 = 8 \quad F_3 = 8 - F_6 \quad F_6 = 4$$

$$3F_3 + 6F_6 = 36 \quad 3(8 - F_6) + 6F_6 = 36 \quad F_3 = 4$$

Многогранник – усеченный тетраэдр (4 шестиугольных и 4 треугольных грани, 18 ребер).

1.3)  $F_6 = 0$

$$\begin{aligned} F_3 + F_4 &= 8 & F_3 &= 8 - F_4 & F_4 &= 12 \\ 3F_3 + 4F_4 &= 36, & 3(8 - F_4) + 4F_4 &= 36, & F_3 &= -4, \end{aligned}$$

нет решения в натуральных числах

2)  $m = 4$

$$F_3 + F_4 + F_6 = 14$$

$$3F_3 + 4F_4 + 6F_6 = 48$$

2.1)  $F_3 = 0$

$$\begin{aligned} F_4 + F_6 &= 14 & F_4 &= 14 - F_6 & F_6 &= -4 \\ 4F_4 + 6F_6 &= 48, & 4(14 - F_6) + 6F_6 &= 48, & F_4 &= 18, \end{aligned}$$

нет решения в натуральных числах

2.2)  $F_4 = 0$

$$\begin{aligned} F_3 + F_6 &= 14 & F_3 &= 14 - F_6 & F_6 &= 2 \\ 3F_3 + 6F_6 &= 48, & 3(14 - F_6) + 6F_6 &= 48, & F_3 &= 12 \end{aligned}$$

Многогранник – шестиугольная антипризма (2 шестиугольных и 12 треугольных граней, 24 ребра).

2.3)  $F_6 = 0$

$$\begin{aligned} F_3 + F_4 &= 14 & F_3 &= 14 - F_4 & F_4 &= 6 \\ 3F_3 + 4F_4 &= 48, & 3(14 - F_4) + 4F_4 &= 48, & F_3 &= 8 \end{aligned}$$

Многогранник – кубооктаэдр (трехскатный повернутый бикупол), а также трехскатный прямой бикупол (6 квадратных и 8 треугольных граней, 24 ребра).

3)  $m = 5$

$$F_3 + F_4 + F_6 = 20$$

$$3F_3 + 4F_4 + 6F_6 = 60$$

3.1)  $F_3 = 0$

$$\begin{aligned} F_4 + F_6 &= 20 & F_4 &= 20 - F_6 & F_6 &= -10 \\ 4F_4 + 6F_6 &= 60, & 4(20 - F_6) + 6F_6 &= 60, & F_4 &= 30, \end{aligned}$$

нет решения в натуральных числах

3.2)  $F_4 = 0$

$$\begin{aligned} F_3 + F_6 &= 20 & F_3 &= 20 - F_6 & F_6 &= 0 \\ 3F_3 + 6F_6 &= 60, & 3(20 - F_6) + 6F_6 &= 60, & F_3 &= 20 \end{aligned}$$

Многогранник – икосаэдр (20 треугольных граней, 30 ребер).

3.3)  $F_6 = 0$

$$F_3 + F_4 = 20$$

$$F_3 = 20 - F_4$$

$$F_6 = 0$$

$$3F_3 + 4F_4 = 60$$

$$3F(20 - F_4) + 4F_4 = 60$$

$$F_3 = 20$$

Многогранник – икосаэдр (20 треугольных граней, 30 ребер).

При наличии у искомого многогранника граней  $F_n$  с  $n \geq 7$  возможны еще 4 решения:

$m = 3, F_3 = 5, F_7 = 3$  – тип 1 (невозможно построить),

$m = 3, F_3 = 6, F_9 = 2$  – тип 2 (невозможно построить для граней в виде правильных многоугольников),

$m = 3, F_4 = 7, F_8 = 1$  – тип 3 (невозможно построить),

$m = 4, F_3 = 13, F_9 = 1$  – тип 4 (невозможно построить).

Невозможно построить: значит, что, нарисовав один из многоугольников и пытаясь расположить внутри него оставшиеся вершины (чтобы построить плоскую проекцию) согласно найденным решениям, мы неизбежно приходим к противоречию, см. пример на рис. а.3)

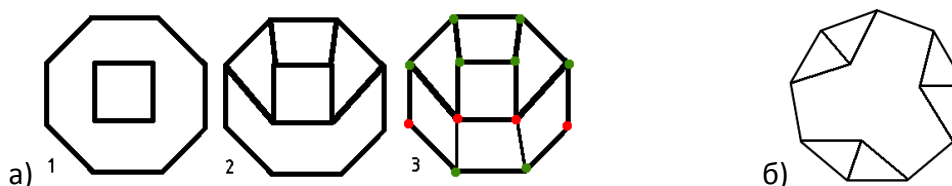


Рис. а) Попытка построения плоской проекции многогранника типа 3 (остаются вершины с  $m \neq 3$ ), б) многогранник типа 2, один из девятиугольников которого не является правильным.

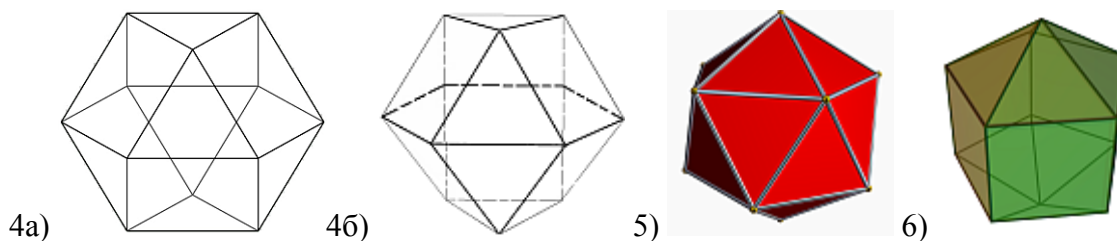
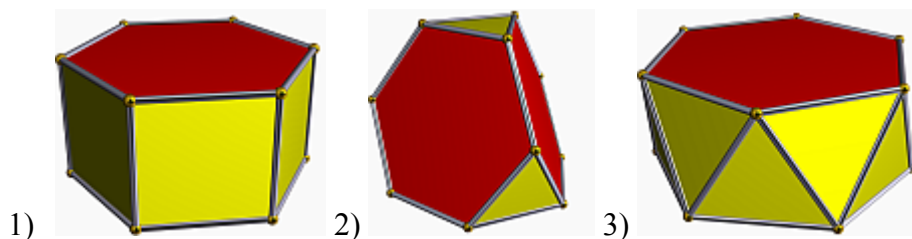
2. При наличии поворотной оси пятого порядка возможны два варианта размещения атомов относительно нее: либо атом лежит на этой оси, либо пять атомов переводятся друг в друга при повороте (т.е., ось проходит через центр пятиугольной грани). Второй вариант невозможен по условию.

Таким образом, при реализации первого варианта два атома из 12-ти лежат на поворотной оси пятого порядка, а остальные 10 разбиты на 5 идентичных групп (по 2 атома), которые переводятся друг в друга поворотом вокруг оси.

Взаимное расположение пятерки атомов вокруг атома, лежащего на поворотной оси, задано симметрией, поэтому оболочку можно представить соединенной из 2-х шапочек 1+5 (пятиугольная пирамида).

Такие шапочки можно скомбинировать либо с поворотом на угол  $\frac{\pi}{5}$  друг относительно друга – получив при этом уже ранее найденный икосаэдр, либо симметрично (атом над атомом) – получив при этом удлиненную пятиугольную бипирамиду (10 треугольных и 5 квадратных граней, 25 ребер).

3. 1) Шестиугольная призма (2 шестиугольных и 6 квадратных граней, 18 ребер).  
 2) Усеченный тетраэдр (4 шестиугольных и 4 треугольных грани, 18 ребер).  
 3) Шестиугольная антипризма (2 шестиугольных и 12 треугольных граней, 24 ребра).  
 4а) Кубооктаэдр (трехскатный повернутый бикупол), а также 4б) трехскатный прямой бикупол (6 квадратных и 8 треугольных граней, 24 ребра).  
 5) Икосаэдр (20 треугольных граней, 30 ребер).  
 6) Удлиненная пятиугольная бипирамида (10 треугольных и 5 квадратных граней, 25 ребер).



4.

1) Шестиугольная призма

Все соседние атомы в оболочке касаются друг друга (по ребрам многогранника), то есть, расстояние между центрами пары атомов в оболочке равно  $2r$ .

Расстояние между центром центрального атома и центром любого атома оболочки равно радиусу сферы, описанной вокруг правильной шестиугольной призмы:

$$R = \sqrt{a^2 + (a/2)^2} = \frac{\sqrt{5}}{2} a = \sqrt{5}r$$

, где  $a = 2r$  – длина ребра призмы, образованной центрами атомов оболочки.

$\sqrt{5}r > 2r$  - касания центрального атома с атомами оболочки нет (кластер типа а).

2) Усеченный тетраэдр

Все соседние атомы в оболочке касаются друг друга (по ребрам многогранника), то есть, расстояние между центрами пары атомов в оболочке равно  $2r$ .

Расстояние между центром центрального атома и центром любого атома оболочки равно радиусу сферы, описанной вокруг усеченного тетраэдра:

$$R = \frac{a}{4} \sqrt{22} = \frac{2r}{4} \sqrt{22} = \frac{r\sqrt{22}}{2}$$

, где  $a = 2r$  – длина ребра усеченного тетраэдра, образованного центрами атомов оболочки.

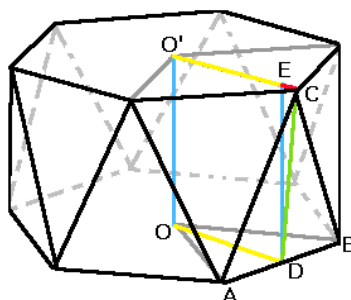
$\frac{r\sqrt{22}}{2} > 2r$  - касания центрального атома с атомами оболочки нет (кластер типа а).

3) Шестиугольная антипризма

Все соседние атомы в оболочке касаются друг друга (по ребрам многогранника), то есть, расстояние между центрами пары атомов в оболочке равно  $2r$ . Расстояние между центром центрального атома и центром любого атома оболочки равно радиусу сферы, описанной вокруг правильной шестиугольной антипризмы:

$$R = \sqrt{a^2 + (H/2)^2} = \sqrt{4r^2 + r^2(\sqrt{3} - 1)^2} = r\sqrt{3 + \sqrt{3}},$$

где  $a = 2r$  – длина ребра шестиугольной антипризмы, образованной центрами атомов оболочки,  $H$  – ее высота.



Расчет высоты: по условию,  $H = OO' = ED$  и  $AB = AC = BC = O'C = a$ . Рассмотрим  $\triangle CDE$ .  $DC = OD = EO' = h$ ,

$$h = \frac{\sqrt{3}}{2} a \quad \text{- высота правильного треугольника со стороной } a.$$

$$CE = O'C - EO' = a - \frac{\sqrt{3}}{2} a = \frac{a(2 - \sqrt{3})}{2} = b.$$

$$H = \sqrt{h^2 - b^2} = \sqrt{\frac{3a^2}{4} - \frac{a^2(2 - \sqrt{3})^2}{4}} = a\sqrt{\sqrt{3} - 1}.$$

$r\sqrt{3 + \sqrt{3}} > 2r$  - касания центрального атома с атомами оболочки нет (кластер типа а).

4) Кубоктаэдр, а также трехскатный прямой бикупол

Все соседние атомы в оболочке касаются друг друга (по ребрам многогранника), то есть, расстояние между центрами пары атомов в оболочке равно  $2r$ . Расстояние между центром центрального атома и центром любого атома оболочки равно радиусу сферы, описанной вокруг кубоктаэдра (трехскатного прямого бикупола) и равно длине его ребра, то есть расстоянию между центрами атомов в оболочке:  $R = a = 2r$ . Следовательно, все атомы оболочки касаются центрального атома (кластер типа б).

5) Икосаэдр

Предположим, что все соседние атомы в оболочке касаются друг друга (по ребрам многогранника), то есть, расстояние между центрами пары атомов в оболочке равно  $2r$ . Тогда расстояние между центром центрального атома и центром любого атома оболочки равно радиусу сферы, описанной вокруг икосаэдра:

$$R = \frac{1}{4} \sqrt{2(5 + \sqrt{5})} a = \frac{r}{2} \sqrt{2(5 + \sqrt{5})},$$

где  $a = 2r$  – длина ребра икосаэдра, образованного центрами атомов оболочки.

Но

$$\frac{r}{2} \sqrt{2(5 + \sqrt{5})} < 2r,$$

то есть, при условии касания соседних атомов оболочки мы не сможем поместить еще один атом в центр икосаэдра. Следовательно, центральный атом в икосаэдре касается каждого из атомов оболочки, а соседние атомы оболочки не касаются друг друга (кластер типа в).

6) Удлиненная пятиугольная бипирамида

Предположим, что все соседние атомы в оболочке касаются друг друга (по ребрам многогранника), то есть, расстояние между центрами пары атомов в оболочке равно  $2r$ . Тогда несложно заметить, что расстояние между центром центрального атома и центрами атомов оболочки будет неодинаково: атомы, лежащие на поворотной оси пятого порядка, будут отстоять от центрального дальше, чем остальные 10 атомов. Следовательно, центральный атом в удлиненной пятиугольной бипирамиде касается каждого из атомов оболочки, но не все соседние атомы оболочки касаются друг друга (кластер типа в).

5.

1) Шестиугольная призма

Радиус сферы, описанной около кластера в форме правильной шестиугольной призмы, равен

$$R + r = r(\sqrt{5} + 1) = 0,14(\sqrt{5} + 1) = 0,45 \text{ нм.}$$

2) Усеченный тетраэдр

Радиус сферы, описанной около кластера в форме усеченного тетраэдра, равен

$$R + r = r \left( \frac{\sqrt{22}}{2} + 1 \right) = 0,14 \left( \frac{\sqrt{22}}{2} + 1 \right) = 0,47 \text{ нм.}$$

3) Шестиугольная антипризма

Радиус сферы, описанной около кластера в форме шестиугольной антипризмы, равен

$$R + r = r(\sqrt{3 + \sqrt{3}} + 1) = 0,14(\sqrt{3 + \sqrt{3}} + 1) = 0,44 \text{ нм.}$$

- 4) Кубооктаэдр, а также трехскатный прямой бикупол  
Радиус сферы, описанной около кластера в форме кубооктаэдра (трехскатного прямого бикупола), равен

$$R + r = 3r = 0,14 \cdot 3 = 0,42 \text{ нм.}$$

- 5) Икосаэдр  
Радиус сферы, описанной вокруг икосаэдра, образованного центрами атомов оболочки, равен  $R = 2r$ , а длина ребра этого икосаэдра –

$$a = \frac{8r}{\sqrt{2(5 + \sqrt{5})}}$$

Радиус сферы, описанной около кластера в форме икосаэдра, равен

$$R + r = 3r = 0,14 \cdot 3 = 0,42 \text{ нм.}$$

- 6) Удлиненная пятиугольная бипирамида  
Радиус сферы, описанной вокруг усеченного декаэдра, образованного центрами атомов оболочки, равен  $R = 2r$ .

Радиус сферы, описанной около кластера в форме усеченного декаэдра, равен

$$R + r = 3r = 0,14 \cdot 3 = 0,42 \text{ нм.}$$





CNCWFVSANCD SNGMRVRDSVPMSPVNH DWCMDPMWCVMWVMH AVMFWPHMLPWFDPDCAMRDPV  
SHDWCPMWMH AVMCNCWHVSACWG WADVPYMCWMRWCRVPMHANHMHAVMPVSVCHMCWKV GML  
PDSVMRNPMNRNPRVRMVWPMRVRVGWLFVCHMWVMH AVMCNCWFNSADCVPMSPVNHVRMKTMH  
AVMKWHHWF IQLMNLLPWNSAYMDHMRDGGMNGGWRMSPVNHDCAMCNCWRVRDPVPMRDHAMSW  
CHPWGGNKGVMFWRV FVCHPMNHMHAVMCNCWP SNGVYMRADSAMSWQGRMGVNRMHWMVQHQP V  
MPVRWGQHDWCMD CMCVRMFNHV PDNGPMSPVNH DWCMNCRMRDPVNPVMHPVNH FVCHYMNCRM  
FNTMGVNRMHWMH AVMAWGTMAPNDGMWVMCNCWHVSACWG WADVPMIMCNCWPWKWHPY

Однако затем они решили, что перебрать все варианты кодировок из п. 1 нереально даже при помощи компьютера. Но присутствовавший при этом школьник Петя, зная, что Полуэкт подбирал свой код так, чтобы студенты смогли его расшифровать, а также предположив, что текст – о нанотехнологиях, что-то записывая и стирая карандашом на распечатке пептида, восстановил все послание за 6 минут.

2. Попробуйте восстановить текст и вы. Поясните ход решения, а также вкратце опишите, как устроен триплетный код Полуэкта. Считать, что каждому символу текста соответствует аминокислота и наоборот. **(9 баллов)**
3. Можно ли установить, как в коде Полуэкта закодированы заглавные и строчные буквы? **(1 балл)**
4. Запишите триплетным кодом Полуэкта (для удобства разделяя пробелами триплеты при записи) часть молекулы мРНК, несущую закодированные символы, для фразы: XI Int. Olymp. on Nanotechnologies. **(3 балла)**
5. Запишите последовательность аминокислот в соответствующем пептиде. **(1 балл)**

**Всего – 17 баллов**



## Математика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 10. Триpletный Код Полуэкта

1. Число вариантов триплетов составляет  $4^3 = 64$ , этого хватит, чтобы закодировать необходимые Полуэктору  $26 + 26 + 1 + 7 = 60$  символов. Даже останется 4 неиспользованных триплета.

При этом возможно всего

$$A_{64}^{60} = \frac{64!}{4!} \approx 5,29 \cdot 10^{87}$$

вариантов триpletных кодировок.

2. Для решения необходимо будет или менять в тексте все угаданные символы аминокислот на разгаданные символы (либо в электронном виде в редакторе, либо в распечатке с помощью корректора), или подписывать разгаданные символы на распечатке между строк карандашом.

Однако, поскольку число аминокислот (20) меньше числа букв в английском алфавите, при расшифровке будут неизбежны коллизии (одной аминокислоте могут соответствовать несколько букв), остается только надеяться на то, что Полуэкт подбирал кодировку так, чтобы коллизии не сильно затрудняли расшифровку. Также важно не забывать, что по условию каждому символу текста соответствует аминокислота и каждая аминокислота соответствует символу текста.

Для начала в закодированном тексте необходимо разгадать разделители слов. Самый простой способ: догадаться, что последний символ “Y” – скорее всего, точка или другой знак препинания, поскольку он стоит в самом конце. В тексте мы видим еще 4 таких символа, и после каждого из них стоит символ “M” – это, вероятно, пробел.

После подстановки получаем следующий текст:

```
CNCWFVSANCD SNG RVRDSVP SPVNHDWC DP WCV WV HAV FWP H LPWFDPDCA
RDPV SHDWCP WV HAV CNCWHVSACGWADVP. CW RWCRVP HANH HAV PVSVCH
CWKVG L PDSV RNP NRNPRVR VWP RVRVGLFVCH WV HAV CNCWFNSADCVP
SPVNHVR KT H AV KWHHWF IQL NLLPWNSA. DH RDGG NGGWR SPVNHDCA
CNCWRVRDPVP RDHA SW CHPWGGNKG V FWRV FVCHP NH HAV CNCWPSNGV.
RADSA SWQGR GVNR HW VQHQP V PVRWGQHDWC DC CVR FNHVPDNGP
SPVNHDWC NCR RDPVNPV HPVNH FVCH. NCR FNT GVNR HW HAV AWGT
APNDG WV CNCWHVSACGWADVP I CNCWPWKWHP.
```

Бросается в глаза обилие коротких слов HAV – это, вероятно, определенный артикль the. Слово “nano” примечательно тем, что первая и третья буквы у него одинаковы. Заметим, что первое слово начинается с “CNCW”, так же начинаются еще 7 других слов. Делаем замену H => t A => h V => e, C => n, N => a, W => o:

nanoFeShanDSaG ReRDSeP SPeatDon DP one oe the FoPt LPoFDPDnh  
 RDPeStDonP oe the nanoteShnoGohDeP. no RonReP that the PeSent  
 noKeG LPDSe RaP aRaPReR eoP ReReGoLFent oe the nanoFaShDneP  
 SPeateR KT the KottoFIQL aLLPoaSh. Dt RDGG aGGoR SPeatDnh  
 nanoReRDPeP RDth SontPoGGaKGe FoReFentP at the nanoPSaGe.  
 RhDSh SoQGR Gear to eQtQPe PeRoGQtDon Dn neR FatePDaGP  
 SPeatDon anR RDPeaPe tPeatFent. anR FaT Gear to the hoGT  
 hPaDG oe nanoteShnoGohDeP I nanoPoKotP.

Текст начинает угадываться, но также становятся видны последствия «слияния» букв,  
 (например: “one oe the” вместо “one of the” – при этом очевидно, слились две  
*последовательные* буквы алфавита «e» и «f»).

Расшифровываем дальше. Слово nanoteShnoGohDeP похоже на «nanotechnolohies» =  
 “nanotechnologies” (опять слились *последовательные* буквы «g» и «h»), подставляя S  
 => c, G => l, D => i, P => s, получаем:

nanoFechanical ReRices cseation is one oe the Fost LsoFisinh  
 Risections oe the nanotechnolohies. no RonRes that the secent  
 noKel Lsice Ras aRasReR eos ReReloLFent oe the nanoFachines  
 cseateR KT the KottoFIQL aLLsoach. it Rill alloR cseatinh  
 nanoReRises Rith contsollaKle FoReFents at the nanoscale.  
 Rhich coQlR lear to eQtQse seRoLQtion in neR Fatesials  
 cseation anR Risease tseatFent. anR FaT lear to the holt  
 hsail oe nanotechnolohies I nanosoKots.

nanoFechanical = nanomechanical (F => m)

ReRices = devices (R => слившиеся d и v, видим, что также могут сливаться и  
*непоследовательные* буквы, причина этого станет ясна позже)

nanomechanical dedices cseation is one oe the most Lsomisinh  
 disections oe the nanotechnolohies. no dondes that the secent  
 noKel Lsice das adasded eos dedeloLment oe the nanomachines  
 cseated KT the KottomIQL aLLsoach. it dill allod cseatinh  
 nanodedises dith contsollaKle modements at the nanoscale.  
 dhich coQld lead to eQtQse sedolQtion in ned matesials  
 cseation and disease tseatment. and maT lead to the holt  
 hsail oe nanotechnolohies I nanosoKots.

coQld = could (Q => u)

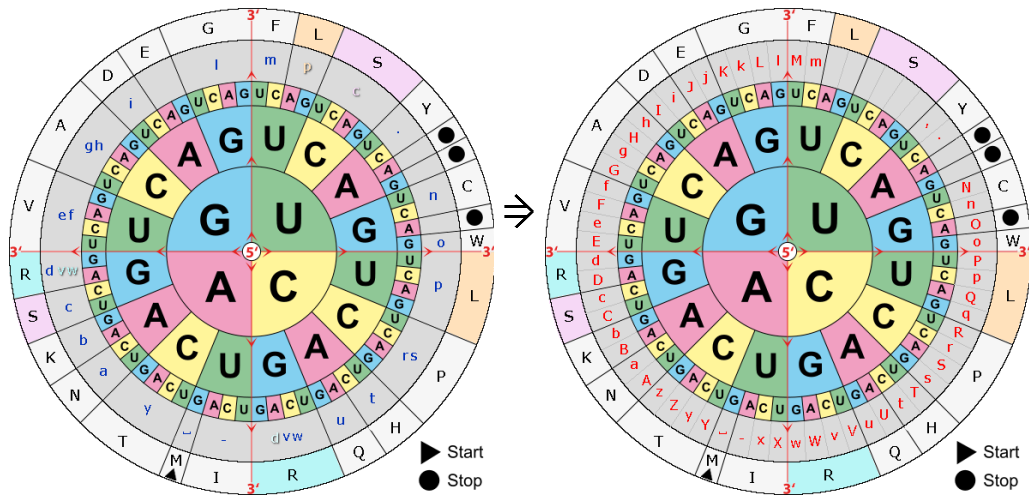
KT the Kottom = by the bottom (K=b, T=y)

aLLsoach, Lsomisinh (L = p, s,r <= P)

nanomechanical dedices cseation is one oe the most psomisinh  
 disections oe the nanotechnolohies. no dondes that the secent  
 nobel psice das adasded eos dedelopment oe the nanomachines  
 cseated by the bottom-up appsoach. it dill allod cseatinh  
 nanodedises dith contsollable modements at the nanoscale.  
 dhich could lead to eutuse sedolution in ned matesials  
 cseation and disease tseatment. and may lead to the holy  
 hsail oe nanotechnolohies - nanosobots.

das adaded = was awarded (d, w <= R)

Удобно отмечать разгаданные буквы (включая сливающиеся) на карте:



Становится видна система в расположении букв: они почти всегда располагаются по алфавиту по часовой стрелке. Коллизии происходят, когда одну аминокислоту кодируют более 2-х триплетов. Считая, что алфавитный порядок букв по часовой стрелке не нарушается, мы сможем сопоставить триплеты буквам, при этом становятся понятны коллизии не идущих по алфавиту букв (относятся к 3 аминокислотам, S, R, L, которые встречаются более чем в одном непрерывном секторе).

Теперь, зная, какие буквы сливались друг с другом, мы можем (перебирая ограниченное число комбинаций, а также исправив пару опечаток) восстановить полный текст:

Nanomechanical devices creation is one of the most promising directions of the nanotechnologies. No wonder that the recent Nobel Prize was awarded for development of the nanomachines created by the bottom-up approach. It will allow creating nanodevices with controllable movements at the nanoscale, which could lead to future revolution in new materials creation and disease treatment, and may lead to the Holy Grail of nanotechnologies - nanorobots.

Похожие методы расшифровки описаны в популярной художественной литературе, см. Эдгар Аллан По «Золотой жук» и Артур Конан Дойл «Пляшущие человечки».

3. Если считать, что заглавные и строчные буквы расположены на схеме единообразно (т.е. что первым триплетом по часовой стрелке всегда кодируется либо заглавная, либо строчная буква) – то можно. На помощь нам приходит буква “o”. Поскольку в тексте она везде встречается в середине слов, можно утверждать, что это именно строчная буква. Тогда для соответствующей ей заглавной буквы “O” остается только единственное место – под идущим ранее стоп кодоном (=> первыми по часовой стрелке кодируются заглавные буквы).

4. Нуклеотиды РНК:

AUU GAU AUG GAU UGC CAC UAC AUG UGA GGG ACC UUC CUC UAC AUG UGG UGC AUG  
UGU AAC UGC UGG CAC GUC AGC GCG UGC UGG GGG UGG GCC GAC GUC CCG

5. Полипептид:

IDMDCHYM (поскольку букве “O” соответствует стоп-кодон UGA, то, прочитав его согласно указанному в условии коду, рибосома остановит сборку).



## Конкурс тьюторов

Конкурс Тьюторов

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

Конкурс **руководителей** школьных проектов (тьюторов) совместно с ОЦ "Сириус" и ФИОП для проведения летней проектной смены.

### Задание

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

Тематика подаваемого проекта должна быть связана с нанотехнологиями и наноматериалами, при этом участнику предоставляется выбор - на конкурс может быть представлен проект по **самостоятельно** выбранной теме или по теме **из списка номинаций от компаний**. По итогам конкурса будет отобрано до 8 проектов: 3 проекта по номинациям от компаний (по каждой номинации - один проект-победитель) и до 5 проектов, завлеченных по самостоятельным темам.

### Список специальных номинаций от компаний\*:

1. Лучший проект по теме "*Создание солнечных батарей*" совместно с компанией ["ХЕВЕЛ"](#).
2. Лучший проект по теме "*Получение неорганических пеноматериалов (углерод, алюминий и т.д.) и исследование их механических характеристик*" совместно с компанией [ULNANOTECH](#), ["НПП "Металл-Композит"](#).
3. Лучший проект по теме "*Влияние светодиодного освещения на протекание фотохимических реакций*" совместно с компанией ["Светлана-Оптоэлектроника"](#).

*\* При разработке проекта по номинациям рекомендуем ознакомиться с кейсами от компаний, подготовленными для летней интенсивной школы "Наноград" [2014](#), [2015](#), [2016](#) года.*

Об итогах первой проектной смены 2016 года можно ознакомиться на сайте [ОЦ "Сириус"](#).



## **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).*

### **Часть А. Идентификационная.**

#### **A1. Автор-руководитель проекта (не оценивается)**

*Фамилия, имя, отчество куратора проекта полностью.*

#### **A2. Статус, ученая степень (5 баллов)**

*Указывается текущий статус в настоящий момент (студент, аспирант, преподаватель и др.) и ученая степень (при наличии).*

#### **A3. Организация (5 баллов)**

*Место учебы / работы.*

#### **A4. Перечень достижений в науке, технике, работе со школьниками, опыт образовательной деятельности (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 (1 балла)**

#### **A7. Краткая аннотация проекта (3 баллов)**

*Объем – до 1000 знаков.*

#### **A8. Научно-популярное описание проекта (8 баллов)**

*Примерная структура блока: введение, состояние дел в предметной области проекта, актуальность, новизна, цель, задачи, рисунки, список источников. Объем – до 10 000 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 (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 (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 (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 (2 баллов)

Объем – до 2000 знаков.

## Часть В. Научно-исследовательская (опытно-конструкторская).

### В1. Предполагаемый план-график выполнения проекта (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 (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 (3 баллов)**

*Перечень рекомендаций по подготовке школьником презентации и ключевым пунктам возможного выступления на конференции. Объем – до 1000 знаков.*



## 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.

### Задания

#### 1. Карик и Валя. Возможно ли это?

В известной книге Яна Ларри “Необыкновенные приключения Карика и Вали” рассказывается о невероятных событиях, которые произошли с братом и сестрой Кариком и Валец...

#### 2. Бактерии на страже окружающей среды

Показано изображение разных водоемов с необычным цветом воды. Это вовсе не грязь, а результат жизнедеятельности бактерий! Эти бактерии окисляют ионы определенного металла из воды...

#### 3. Планета Kepler-22b

Больше всего в межгалактических перелетах Зырянов не любил просыпаться после анабиоза. Голова сутки еще не работает в полную силу..

#### 4. Царевна-лягушка

После того, как Иван-царевич спас царевну-лягушку от Коцея Бессмертного, они вернулись в свое тридцатое царство. Днем царевна была, по-прежнему, лягушкой, а ночью - Василисой Премудрой...

## **5. «Золотое руно»**

С древних времен нам известен миф о «золотом руно». Некоторые историки объясняют его происхождение тем, что в реках Колхиды золотоискатели опускали шкуру барана в реку...

## **6. Инкрустированный золотом**

В одной из лабораторий золотые наночастицы были конъюгированы с белком, который участвует в клетке в одноэлектронном переносе...

## **7. Генномодифицированные мыши**

С помощью многочисленных генетических технологий можно создавать уникальные генные модификации для исследования фундаментальных процессов в организме...

## **8. Наночастицы в тераностике**

Тераностика – это новый подход в медицине, сочетающий терапию и диагностику одновременно. Перспективные методы тераностики опухолевых заболеваний - неинвазивные технологии...

## **9. Вирусы**

Появившиеся в процессе эволюции одно- и многоклеточные системы стали объектами воздействия вирусов – неклеточных частиц нанометрового диапазона, способных размножаться внутри хозяина...

## **10. «Король вступил под своды Храма Истины»**

Прочитайте рассказ по мотивам произведений Толкина (события вымышленные, но животное, упоминаемое в рассказе, существует на самом деле). "Король вступил под своды Храма Истины..."

**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 1. Карик и Валя. Возможно ли это?**



В известной книге Яна Ларри “Необыкновенные приключения Карика и Вали” рассказывается о невероятных событиях, которые произошли с братом и сестрой Кариком и Валею и профессором Иваном Гермогеновичем после того, как они выпили уменьшающую жидкость и стали меньше муравья. Исходя из описаний в книге, можно сделать вывод, что размер детей после уменьшения стал 3-4 мм.

1. Подумайте и обоснуйте, возможно ли подобное уменьшение человеческого организма с полным сохранением всех функций органов и мозговой деятельности в случаях, когда: (1.1) все клетки уменьшаются равномерно по мере уменьшения всего тела, при этом число клеток не меняется; **(1 балл)** (1.2) уменьшение размеров тела происходит частично за счет уменьшения размеров тела и частично – за счет уменьшения числа клеток. **(1 балл)** При обосновании ответов следует учитывать, что размеры самих молекул и атомов изменяться не могут.
2. Назовите одно или несколько самых маленьких многоклеточных животных, существующих на нашей планете. За счет чего происходит уменьшение размера клеток? **(2 балла)**

**Всего – 4 балла**

**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 1. Карик и Валя. Возможно ли это?**

1. Подобное уменьшение невозможно.

1.1. При равномерном уменьшении всех клеток получается, что размер новых маленьких клеток будет сопоставим с толщиной плазматической мембраны, то есть в “новых” клетках не будет места для внутриклеточных структур. Расчет для примера: рост Карика, например, 120 см. Он стал ростом 3 мм, т.е. в 400 раз меньше. Для примера возьмем эритроциты. Их размер в диаметре 8 мкм, в толщину в самом широком месте – 2 мкм. После уменьшения диаметр эритроцита будет 20 нм, а толщина – 5 нм. При этом известно, что толщина плазматической мембраны составляет 10 нм.

1.2. Даже незначительное уменьшение числа клеток, в первую очередь, в головном мозге, приведет к существенным нарушениям в межклеточных взаимодействиях, изменению морфологии нейрональных сетей и, в конечном итоге, общему упрощению мозговой деятельности и полному изменению человеческой личности.

2. Одно из самых маленьких многоклеточных животных – это оса Мегафрагма, размер которой составляет менее 200 мкм. Такой маленький размер животного достигается, в первую очередь, уменьшением размеров ее нейронов. В свою очередь, нейроны обладают маленькими размерами за счет того, что они “теряют” ядра на стадии перехода из личинки в имаго. При этом нейроны взрослой осы используют запасы белков, синтезированные на стадии личинки.

Другой пример — коловратка *Ascomorpha minima*, достигающая размера 40-50 мкм. В данном случае маленькие размеры тела достигаются за счет маленького количества клеток.

**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)  
Задача 2. Бактерии на страже окружающей среды**



На рисунке показаны разные водоемы с необычным цветом воды. Это вовсе не грязь, а результат жизнедеятельности бактерий!

Эти бактерии окисляют ионы определенного металла из воды, и при взаимодействии с кислородом он превращается в нерастворимое соединение, которое определяет цвет водоема.

1. О каких бактериях идет речь? Какой металл они окисляют? **(1 балл)**
2. Для чего они его окисляют? Какое соединение, образующееся в результате деятельности бактерий, обуславливает цвет водоема? **(1 балл)**
3. В результате промышленной деятельности человека происходит загрязнение водоемов и почв тяжелыми металлами. Представим, что с помощью генной инженерии Вы можете создать бактерии, утилизирующие (или превращающие в менее опасное соединение, или более удобное для дальнейшей химической утилизации) один или несколько тяжелых металлов. Опишите: (1) какой металл будут использовать созданные Вами бактерии, (2) где это будет происходить, (3) в какой форме (валентность, растворимость, в виде соли/кислоты/оксида и т.д.) бактерии будут с ним взаимодействовать и в какую форму его превращать; почему именно так; (4) в результате чего этот металл может попасть в окружающую среду, (5) чем он вреден для живых организмов. **(5 баллов)**

**Всего — 7 баллов**



**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 2. Бактерии на страже окружающей среды**

1. Железобактерии, окисляющие железо Fe(II).
2. Это источник энергии для фиксации CO<sub>2</sub>.  
Цвет водоема обеспечен оксидом железа (III) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
3. Принимается любой обоснованный ответ. Пример:
  - (1) Свинец – один из самых опасных тяжелых металлов.
  - (2) В биореакторе для очистки сточных вод.
  - (3) Считается, что растворимые соединения тяжелых металлов гораздо опаснее нерастворимых, так как могут легко попадать в организм человека и других животных с водой. Допустим, мы разработали новый штамм устойчивых сульфатредуцирующих бактерий, наиболее эффективно взаимодействующий с растворимым двухвалентным ионом свинца Pb<sup>+2</sup>. В результате жизнедеятельности сульфатредукторов в анаэробных условиях образуется сероводород H<sub>2</sub>S, способный вступить в реакцию со свинцом с образованием нерастворимого сульфида свинца:  $H_2S + Pb^{+2} = PbS \downarrow + 2H^+$ . Таким образом, вода будет очищена от ионов свинца, а осадок можно будет использовать в качестве источника свинца в производстве. Таким методом можно осаждают и другие тяжелые металлы в виде двухвалентных ионов, например, Zn, Cu, Ni, Co и др. Недостатком метода может являться закисление воды и избыточное образование сероводорода, поэтому очистку предлагается проводить в биореакторе, а не в естественном водоеме.
  - (4) Свинец выбрасывается в окружающую среду во время добычи свинца, переплавки, при машиностроении, использовании этилированного бензина (запрещенного с недавнего времени) и др. способами.
  - (5) Свинец и все его соединения токсичны. Свинец может накапливаться в костях, вызывая их постепенное разрушение, концентрироваться в печени и почках, обладает нейротоксическим и гемолитическим действием.





## Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 3. Планета Kepler-22b

Больше всего в межгалактических перелетах Зырянов не любил просыпаться после анабиоза. Голова сутки еще не работает в полную силу. А биолог космолета должен быть в полной боевой готовности, и без раскачки начать собирать данные о новой планете. На мониторе высветились данные с метеозондов. Вместо обещанного рая, климат в самом теплом месте планеты напоминал Северный полюс в канун Рождества с бескрайними ледяными просторами. А это значит, что Зырянову придется перепрограммировать биороботов-разведчиков. Так уже повелось, что роботы-разведчики были зооморфными и копировали земных животных. К услугам биолога была готова модель Р-256, состоящая из мобильных нанороботов, количество которых было под сто триллионов. В данный момент Р-256 копировал самца африканского буйвола, не самого крупного, весящего 700 кг. Да, предстоит немалая работа по изменению внешнего облика биоробота для того, чтобы сделать его способным к обитанию в условиях Северного полюса...

1. Как вы считаете, почему роботы-разведчики зооморфны и какие преимущества это дает, на какое реальное земное животное, по вашему мнению, будет похож Р-256? **(1 балл)**
2. Как вы думаете, какого цвета будет, скорее всего, шкура, какого размера будут уши, как изменится структура волоса и лап Р-256? Объясните свое мнение. **(3 балла)**
3. В какую сторону должно измениться потребление энергии Р-256, и какие структуры в клетках реальных млекопитающих за это отвечают? **(3 балла)**

**Всего – 7 баллов**

**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)  
Решение задачи 3. Планета Kepler-22b**

1. Вопрос творческий и не предполагает однозначного ответа. Один из примеров, роботы зооморфны, потому что природа за годы эволюции создала идеальные по форме и структуре тела, которые служат примером инженерам. Скорей всего, за пример для создания Р-256 был взят полярный медведь.
2. Шкура скорей всего будет белой, для маскировки, размер ушей небольшой и структура волоса полая внутри, для лучшего сохранения тепла. Лапы с кучей пупырышков, как наждак, чтобы не скользить по льду.
3. Р-256 в полярном варианте будет потреблять больше энергии, так как для нормальной работы наноструктур внутри него нужно будет поддерживать температуру близкую к комнатной, а это в холодном климате требует дополнительной энергии. В клетках «энергетическими станциями» являются митохондрии.

После того, как Иван-царевич спас царевну-лягушку от Кощея Бессмертного, они вернулись в свое тридцатое царство. Днем царевна была, по-прежнему, лягушкой, а ночью - Василисой Премудрой. Это было первое заклятие, которое наложил на нее перед смертью Кощей. А второе заключалось в том, что царевна заснет мертвым сном, если ее кожи коснется любая игла, так как именно в игле была спрятана жизнь самого Кощея, и ее сломал Иван-царевич, чтобы его убить. Поэтому в доме у Иван-царевича и Василисы Премудрой не было никаких иголок. Однажды царевна захворала. Иван-царевич пригласил для ее лечения доктора Айболита. Долго ехал доктор и приехал он в их дом только за полночь. Осмотрел Василису и понял, что для лечения надо ввести антибиотик гентамицин. Принимать этот антибиотик нужно 4 раза в день, каждые 6 часов. Но вот беда, при пероральном применении он не эффективен, так как практически не всасывается в желудочно-кишечном тракте. Гентамицин хорошо растворим в воде. Доктор понял, что 2 раза в день с введением препарата не будет никаких проблем, а вот для двух остальных раз он использовал специальные вещества-переносчики для того, чтобы можно было вводить препарат через кожу царевны-лягушки.

1. Назовите основное отличие кожи лягушки от кожи человека с точки зрения барьерных функций? **(1 балл)**
2. В каком случае для царевны не нужны специальные переносчики для введения гентамицина через кожу, а в каком случае без них не обойтись **(2 балла)**
3. Какие преимущества имеет доставка препаратов через кожу по сравнению с другими? **(2 балла)**
4. Какими свойствами должны обладать лекарства, чтобы их можно было использовать для доставки лекарств через кожу? **(2 балла)**

**Всего – 7 баллов**

## Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Решение задачи 4. Царевна-лягушка

1. В отличие от кожи человека – кожа лягушки проницаема для воды, через нее в значительной мере осуществляется газообмен. Она тоньше, чем человеческая кожа, покрыта слизью, которую вырабатывают многочисленные слизистые железы.
2. Так как гентамицин растворим в воде, то днем, когда царевна в виде лягушки, для введения антибиотика – можно просто окунуть царевну в раствор гентамицина. Для введения гентамицина Василисе Премудрой нужны специальные вещества, которые позволят проникнуть гентамицину через кожу. В случае с гентамицином - это матрицы, образованные сложными полиэфирами.
3. Трансдермальный перенос обладает следующими преимуществами: более быстрое усвоение и действие препарата, а также то, что он не проходит через ЖКТ, неинвазивность (не требуется уколы), удобство и простота применения, можно обеспечить поддержание постоянной концентрации лекарства в крови, снижение дозы препарата.
4. Молекулярный вес этих веществ не должен быть больше 1000 Дальтон, они должны обладать свойствами амфифильности, иметь низкую температуру плавления, обладать высокой эффективностью и коротким периодом полураспада.



**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 5. «Золотое руно»**

С древних времен нам известен миф о «золотом руне». Некоторые историки объясняют его происхождение тем, что в реках Колхиды золотоискатели опускали шкуру барана в реку, чтобы собирать золотые песчинки. Представьте, что руно на самом деле было золотым и содержало наночастицы золота. Известно, что бараны песок не едят, а в воде золото находится в виде металлических песчинок и ионов.

1. Каким образом наночастицы золота могли бы гипотетически попасть в структуру волоса руна? **(3 балла)**
2. Если состричь шерсть из такого «золотого руна», которое содержит наночастицы золота и связать из нее свитер, то отчего бы зависел его цвет при дневном свете? **(1 балл)**
3. В современной онкологии при терапии раковых опухолей используют наночастицы золота в комплексе с антителами. Какое свойство наночастиц золота используют для избирательной гибели опухолевых клеток? **(2 балла)**

**Всего – 6 баллов**

**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)  
Решение задачи 5. «Золотое руно»**

1. Если в реке содержится высокое содержание золота, то, вероятно, что его много и в почве по ее берегам. Многие растения способны накапливать в своих клетках металлы, которые они извлекают из почвы. При этом в клетках растений эти металлы находятся в форме коллоидных наночастиц. Вероятно, что травоядные животные с травой могут получать эти наночастицы золота, которые включаются в структуру волоса.
2. Цвет будет зависеть от размера наночастиц золота, так, например, при размерах наночастиц в 10 нм он будет красного цвета.
3. При облучении ИК-лазером, в инфракрасном диапазоне биологические ткани оптически прозрачны, наночастицы золота способны нагреваться и нагревать соответственно те клетки, в которые они попали благодаря антителам, что приводит к их гибели. Оптические свойства золотых наночастиц связаны с их плазмонным резонансом.



## Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 6. Инкрустированный золотом

В одной из лабораторий золотые наночастицы были конъюгированы с белком, который участвует в клетке в одноэлектронном переносе. Это было сделано, чтобы с помощью созданных конъюгатов детектировать активные формы кислорода (АФК) в клетках млекопитающих.

1. Почему использовали золотые наночастицы? **(1 балл)**
2. Как вы думаете, какой белок-переносчик наиболее подходит на эту роль? Какая форма этого белка использовалась для соединения с наночастицами золота? **(2 балла)**
3. Как называется метод регистрации АФК с помощью наночастиц золота и белка-переносчика? **(1 балл)**
4. Какую именно форму АФК можно будет регистрировать с помощью этого метода, и почему Вы так считаете? **(3 балла)**
5. Какую физиологическую роль играют АФК при нормальном функционировании клеток животных? Приведите не менее 5 примеров. **(5 баллов)**

**Всего – 12 баллов**

**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)  
Решение задачи 6. Инкрустированный золотом**

1. Золотые наночастицы использовали из-за того, что они обладают плазмонным резонансом.
2. Наиболее подходящим является цитохром С, из-за того, что он способен к одноэлектронному переносу, растворим в воде и небольшого размера. Использовали окисленный цитохром С, потому что он может принимать электрон от АФК и превращаться в восстановленный цитохром.
3. Это метод гигантского комбинационного рассеяния, из-за того что наночастицы золота обладают плазмонным резонансом – мы можем регистрировать спектры ГРП от окисленного и восстановленного цитохрома С, которые отличаются.
4. Это супероксид-анион радикал, продукт одноэлектронного восстановления молекулярного кислорода. Он считается ключевой АФК и чаще всего образуется в клетках животных.
5.
  - а. АФК образуются в результате естественного метаболизма клеток фагоцитарного звена иммунной системы.
  - б. АФК являются побочным продуктом митохондриального дыхания.
  - в. Регуляция синтеза медиаторов липидной природы: простагландинов, тромбоксанов и лейкотриенов.
  - г. Окислительное разрушение ксенобиотиков, деструкция собственных поврежденных или аномальных клеток.
  - д. В качестве сигнальных молекул для регуляция роста, пролиферации и дифференцировки клеток.
  - е. Участие в обновлении и модификации клеточных мембран.
  - ж. Регуляция апоптоза.
  - з. Побочный продукт при окислении гемового железа и образовании метгемоглобина.





**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)  
Решение задачи 7. Генномодифицированные мыши**

1. 100%, т.е. все потомство будет больным.
2. Печень. Так как Cre-рекомбиназа была помещена под промотор альбумина, который вырабатывается в печени, то Cre-рекомбиназа тоже вырабатывалась только в печени и вырезала рецептор к инсулину по LoxP сайтам. Это приводило, в том числе, к вырезанию стоп-кодона, препятствующего транскрипции GFP. Таким образом, в печени этих мышей отсутствовал рецептор к инсулину и при этом вырабатывался GFP, что вызывало свечение. Похожую идею воплотили в жизнь исследователи из США в 2000 году: [M. Dodson et al., Molecular Cell 6, 87-97 \(2000\)](#)
3. У животных была инсулин-резистентность клеток печени, что приводило к сахарному диабету.
4. Как минимум 2, например, Crispr-Cas, Zn-палец, TALENs (Transcription Activator-like Effector Nucleases) и др.

## Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Задача 8. Наночастицы в тераностике

Тераностика – это новый подход в медицине, сочетающий терапию и диагностику одновременно. Перспективными методами тераностики опухолевых заболеваний (пока только на животных) являются неинвазивные *in vivo* спектроскопические технологии, предполагающие использование наночастиц. Однако применение данного метода осложнено рядом факторов: во-первых, проникновением света в ткани, во-вторых, созданием безопасных наночастиц, и в-третьих, необходимостью правильно организовывать методический подход.

1. До каких слоев кожи может пройти свет с длиной волны (а) 800 нм и (б) 360 нм? Каким излучениям соответствуют данные длины волн? **(1 балл)**
2. Какие есть методы медицинской диагностики, позволяющие визуализировать более глубокие ткани организма? **(1 балл)**
3. Какой белок обладает наибольшим рассеянием в тканях? **(1 балл)**
4. Для того, чтобы свет проникал глубже в ткани, существуют технологии оптического просветления тканей (optical clearing). Например, для просветления склеры используют 40% раствор глюкозы, для просветления кожи – глицерин. Существуют подходы для оптического просветления целых органов, например, почек, сердца, мозга и даже эмбрионов крыс. Как вы думаете, что можно изучать в этих образцах после оптического просветления? **(1 балл)**
5. У одной лабораторной мышки развилась опухоль – метастазирующая меланома. Участок кожи этой мышки был очищен от шерсти и покрыт глицерином. С помощью особой технологии при освещении кожи зеленым лазером ученые смогли зарегистрировать клетки, хорошо поглощающие зеленый свет, в кровеносных и лимфатических сосудах. Какие клетки они точно смогут зарегистрировать? **(2 балла)**  
а) эритроциты б) Т-лимфоциты в) В-лимфоциты г) циркулирующие метастазы меланомы д) моноциты е) эндотелий  
Какие молекулы в этих клетках хорошо поглощают свет? **(1 балл)**
6. Данной мышке в вену вводили суспензию золотых наночастиц (ЗНЧ), обладающих сильным оптическим поглощением в зеленом диапазоне света. Какие клетки (из того же списка) теперь смогут зарегистрировать ученые, если раствор представляет собой (i) суспензию сферических ЗНЧ; (ii) суспензию ЗНЧ, функционализированных антителами к белку CD4; (iii) суспензию ЗНЧ, функционализированных антителами к CD31. Свой ответ поясните. **(по 2 балла за каждый пункт, максимум 6)**
7. Предложите такие НЧ для тераностики, чтобы они одновременно (а) взаимодействовали с клетками меланомы, циркулирующими по кровотоку (желательно, только с ними); (б) чтобы комплексы из клеток меланомы с НЧ можно было сконцентрировать из кровотока в определенном месте; (в) чтобы комплексы можно было элиминировать (и каким образом?) **(3 балла)**

**Всего – 16 баллов**

## Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Решение задачи 8. Наночастицы в тераностике

1. Инфракрасное излучение (800 нм) проникнет до подкожного жира (а), а ультрафиолет (360 нм) – до эпидермиса (б).
2. Как минимум 2. Например, рентген, МРТ, КТ, УЗИ.
3. Коллаген.
4. Как минимум 2. Например, сосудистую сеть, развитие опухолей, развитие в эмбриогенезе, детальную структуру тканей, в том числе нейронные сети в мозге, диффузионные процессы (и многие другие адекватные ответы).
5. а, г. Потому что гемоглобин и меланин хорошо поглощают свет в видимом диапазоне.
6.
  - (i) Моноциты будут в наибольшем количестве эндоцитировать золотые наночастицы (ЗНЧ), что позволит их контрастировать.
  - (ii) ЗНЧ, функционализированные антителами к белку CD4, будут связываться с клетками, у которых есть CD4, т.е. с Т-лимфоцитами.
  - (iii) ЗНЧ, функционализированные антителами к CD31, будут связываться преимущественно с клетками эндотелия.
7.
  - (а) На НЧ должно быть какое-нибудь антитело к специфичному для меланомы белку, например, к TA90, S100, CD44 (на сегодняшний день они наиболее часто используются во многих клиниках для медицинской диагностики) и др. онкомаркерам.
  - (б) В одном месте НЧ можно концентрировать, например, магнитом, для чего в структуру НЧ можно включить магнетит.
  - (в) Элиминировать клетки меланомы с НЧ можно, например, гипертермией. Для этого либо используют переменное магнитное поле, если в составе НЧ есть магнетит, либо электромагнитное излучение, например, для золотых НЧ (либо и то, и то вместе).

Возможны другие обоснованные ответы.

**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 9. Вирусы**



*Кадр из фильма «BBC: Внутренняя Вселенная: Тайная жизнь клетки»*

Появившиеся в процессе эволюции одно- и многоклеточные системы стали объектами воздействия вирусов – неклеточных частиц нанометрового диапазона, способных размножаться только внутри клеток хозяина. Проверьте свои знания о вирусах. Вопрос состоит из нескольких подвопросов, каждый из которых содержит несколько ответов или утверждений. При ответе на вопрос обязательно укажите, какой из ответов является правильным или с какими утверждениями Вы согласны. Выбор правильных вариантов (их может быть несколько!) дает 1 балл за подвопрос, если хотите получить больше, кратко обоснуйте, почему вы выбрали такой ответ или утверждение (если в подвопросе не указано, что обоснование не требуется).

1. Выберите правильные утверждения: **(2 балла, обоснование не требуется)**
  - а. Вирусные частицы (вирионы) содержат в своем составе ДНК
  - б. Вирионы содержат в своем составе РНК
  - в. Вирионы содержат в своем составе ДНК или РНК
  - г. Вирионы содержат в своем составе ДНК и/или РНК
  - д. Вирионы содержат в своем составе Белковую оболочку
  - е. Вирионы могут содержать в своем составе липидную оболочку
2. Согласны ли Вы с утверждением, что существуют вирусы, не содержащие белковой и липидной оболочки? **(2 балла)**
  - а. Да
  - б. Нет
3. Согласны ли Вы с утверждением, что вирусы являются паразитами? **(2 балла)**
  - а. Да
  - б. Нет
4. Вирусы поражают: **(1 балл, обоснование не требуется)**
  - а. Все типы организмов
  - б. Только эукариотов
  - в. Все, кроме архей и протист
  - г. Все, кроме архей
5. Согласны ли Вы с утверждением, что Прионы относятся к вирусам? **(2 балла)**
  - а. Да
  - б. Нет
6. Могут ли вирусы поражать другие вирусы? **(4 балла)**
  - а. Не могут
  - б. Да, существуют вирофаги (вирусов, размножающихся только за счет вируса-хозяина)
  - в. Только как спутники других вирусов (вирусы-спутники)

**Всего — 13 баллов**

**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)  
Решение задачи 9. Вирусы**

*Правильные ответы помечены +. Ниже курсивом приведено краткое обоснование выбора.*

1. Выберите правильные утверждения:
  - а. Вирусные частицы (вирионы) содержат в своем составе ДНК +**
  - б. Вирионы содержат в своем составе РНК +**
  - в. Вирионы содержат в своем составе ДНК или РНК +**
  - г. Вирионы содержат в своем составе ДНК и/или РНК +**
  - д. Вирионы содержат в своем составе Белковую оболочку +**
  - е. Вирионы могут содержать в своем составе липидную оболочку +**
2. Согласны ли Вы с утверждением, что существуют вирусы, не содержащие белковой и липидной оболочки?
  - а. Да +**
  - б. Нет

*Согласно существующей классификации в домен Вирусы, входит группа инфекционных нуклеиновых кислот – вириодов, таким образом можно считать данное утверждение справедливым*

3. Согласны ли Вы с утверждением, что вирусы являются паразитами?
  - а. Да +**
  - б. Нет

*Вирусы являются паразитами, так как не способны размножаться вне клетки и используют для своего размножения все ресурсы клетки-хозяина.*

4. Вирусы поражают:
  - а. Все типы организмов +**
  - б. Только эукариотов
  - в. Все, кроме архей и протист
  - г. Все, кроме архей
5. Согласны ли Вы с утверждением, что Прионы относятся к вирусам?
  - а. Да
  - б. Нет +**

*Прионы — это инфекционные белковые молекулы, не содержащие нуклеиновых кислот, поэтому их нельзя отнести к вирусам.*

6. Могут ли вирусы поражать другие вирусы?
  - а. Не могут
  - б. Да, существуют вирофаги (вирусов, размножающихся только за счет вируса-хозяина) +**
  - в. Только как спутники других вирусов (вирусы-сателлиты) +**

*В качестве правильного ответа засчитываются б и/или в.*

*В настоящее время доказано существование вирусов-сателлитов, способных размножаться только в присутствии других вирусов. Существование вирофагов пока находится под вопросом, хотя в последнее время в научной литературе описано несколько вирофагов.*

**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 10. «Король вступил под своды Храма Истины»**

Прочитайте рассказ по мотивам произведений Толкина (события вымышленные, но животное, упоминаемое в рассказе, существует на самом деле).

«Король вступил под своды Храма Истины, и Сафтанзир склонился перед ним — почтительно, но ни в коем случае не подобострастно. Он быстрым профессиональным взглядом окинул фигуру Ар-Фаразона и вздохнул. Король был в самом расцвете сил, тяжелая и неумолимая рука старости, зябкое дыхание смерти еще не коснулись его, и мысль о притягательности вечной юности еще не занимала все чаяния короля. О, стоит только задуматься о быстротечности жизни, о непоправимой и жестокой участи смертных! От старости нет лекарства, перед смертью бессильны лучшие лекари. Королю еще предстоит это узнать. Но то, что он увидит сегодня, может дать надежду людям. Чудесный зверь, воистину прекрасное и удивительное создание Эру, который может приоткрыть завесу тайны над даром Единого. Или же над проклятием людей, что бы там ни говорилось в эльфийских свитках. Он снял с пояса ключи, открыл сложный замок и распахнул дверь. Здесь было то, что он желал показать Королю.

– Ваше величество, если прежние наши попытки были не столь успешны, то ныне мы стоим на пороге великого открытия. Вот он, ключ к вечной жизни! Чудесный зверь, подарок Эру людям! Блистающий, невероятный!

Сафтанзир гордо сдернул черное покрывало с клетки. Желтоватое сморщенное существо, размером с крупную мышь, подняло тупую морду и презрительно потянуло носом. Ар-Фаразон вздрогнул, и ученый, видя такую несомненную заинтересованность, продолжил.

– Восхитительный *Cenciryaro helda* живет необычайно долго по меркам своего племени, для человека это равнялось бы тысяче лет жизни. Это почти бессмертие — чудесный *Cenciryaro* в этом похож на эльфов, и нас он уравнивает с ними, если мы сможем узнать, как он этого добился. Возможно, это потому, что свою долгую жизнь он проводит под землей, вдали от солнечных лучей — ведь свет Солнца может укорачивать человеческие годы. Этот великолепнейший образец был привезен из Южного Харада, и если мы получим еще несколько для наших испытаний...

Сафтанзир присел, чтобы почесать зверька через прутья клетки, но восхитительный *Cenciryaro* клацнул длинными желтыми резцами, и ученый муж поспешил убрать руку.

Ар-Фаразон наконец справился с чувствами и заставил себя сделать шаг к клетке.

– Это? – Король указал пальцем. – Эта отвратительная голая слепая крыса?

– Именно, Ваше величество! Несравненный *Cenciryaro* проводит жизнь в норах и потому он обнажен. Он не подвержен болезням и не чувствителен к боли. Именно такими и должны быть Дети Эру — вечные, могучие, неуязвимые. Обладая его секретом, люди наконец сравнялись бы с эльфами, которым незаслуженно достались лучшие дары Единого, и превзошли бы их.



– Вот эта гадкая морщинистая тварь — похожа на эльфов? Вот этому мерзкому животному должны уподобиться мы, если желаем жить так же долго, как они? – взгляд Ар-Фаразона потемнел. – Если так выглядит бессмертие, то воистину Единый жестоко посмеялся над нами. И ты прав, почтенный Сафтанзир, вечную жизнь должны мы добыть своими руками. И мы ее вырвем у надменных эльфов и равнодушных Валар, да хотя бы и у самого Эру!

1. *Cenciryaro helda* это название зверя на эльфийском языке, а как он называется по-русски? А по-латыни? **(1 балл)**
2. Какова средняя продолжительность жизни упомянутого зверя? Почему ученые считают, что это много, и называют его долгожителем? **(3 балла)**
3. Верно ли утверждение, что необычно долгая жизнь этого зверька связана с тем, что он живет под землей, вдали от солнечных лучей? Почему и как это можно было бы проверить? **(3 балла)**
4. Российские ученые взяли кровь зверька, названного в рассказе *Cenciryaro helda*, и кровь *Rattus norvegicus* и сравнили в образцах содержание активных форм кислорода. В каком из образцов содержание АФК было больше? **(1 балл)**
5. Как содержание АФК в крови связано с продолжительностью жизни исследованных животных? **(1 балл)** Какая гипотеза геронтологов была подтверждена (или опровергнута) этими данными? **(2 балла)**
6. Какие биохимические особенности (сигнальные пути) придают *Cenciryaro helda* повышенную стрессоустойчивость и долголетие? **(2 балла)**
7. Каких еще животных вы предложили бы исследовать ученому Сафтанзиру (раз уж ему не позволили ехать в экспедицию для ловли новых экземпляров *Cenciryaro helda*), чтобы продолжить поиск бессмертия? Перечислите животных, являющихся подходящими кандидатами для таких исследований. **(5 баллов)**

**Всего – 18 баллов**

**Биология для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 10. «Король вступил под своды Храма Истины»**

1. Вероятнее всего, речь идет о голом землекопе (*Heterocephalus glaber*).
2. Средняя продолжительность жизни голого землекопа около 25-30 лет, существуют данные, что средняя продолжительность жизни линейно зависит от размеров животного. Так грызуны такого же размера, как голый землекоп, в среднем живут от 2 до 4 лет. Такая же продолжительность жизни должна была быть и у землекопа, но он живет в среднем в 7 раз дольше.
3. С одной стороны, то, что этот зверь живет под землей и вдали от солнечных лучей, дает ему преимущество перед населяющими землю животными, потому что он практически не сталкивается с хищниками и таким образом в этом утверждении есть доля правды. Кроме того, было показано, что фибробласты этого зверя оказались более чувствительны к действию УФ облучения, чем фибробласты мышей. С другой стороны, есть много грызунов ведущих подобный же образ жизни, но их продолжительность жизни не выше, чем у наземных грызунов, так что это вряд ли его впечатляющая продолжительность жизни зависит только от того, что он не видит солнца.
4. В крови землекопа АФК будет больше, чем в крови серой крысы.
5. Согласно свободно-радикальной теории старения – чем ниже интенсивность процессов ведущих к образования АФК, тем выше продолжительность жизни. 1 балл. Однако, голый землекоп, является исключением из правил. В его организме уровень АФК даже выше, чем у его ближайших сородичей, а активность антиоксидантной системы ниже.
6. В настоящее время нет единого мнения, чем гарантирована такая продолжительность жизни. Однако было выяснено, что сигнальный путь KEAP1-NRF2-ARE работает у голого землекопа иначе, чем у других млекопитающих. У него наблюдается постоянная активность сигнального пути Nrf2, пересекающегося с системами p53 и NF-κB, которая регулируется Keap1 и βTrCP, их уровень снижен у голого землекопа. Кроме того, землекоп единственный из млекопитающих является хладнокровным, у него повышена стабильность белков, в бета-актине нет окисляемых аминокислотных остатков.
7. В настоящее время ученым известен целый ряд животных с впечатляющей продолжительностью жизни, это двустворчатый моллюск *Arctica islandica*, морской ёж *Strongylocentrotus franciscanus*, алеутский морской окунь *Sebastes aleutianus*, и многие другие. Но надо учитывать, что многие из этих животных-долгожителей сильно отличаются от человека, так что особенности их биохимии вряд ли помогут геронтологам. Поэтому наиболее интересны млекопитающие, такие как: азиатский слон, *Elephas maximus*, гренландский кит *Balaena mysticetus*, косатка *Orcinus orca*, ночница Брандта *Myotis brandtii*, слепыш *Spalax judaei* и дамарский землекоп *Fukomys damarensis*. Эти животные живут намного дольше, чем их ближайшие родственники.



## 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.

### Задания

#### 1. Беттгеровский люстр

Для получения пурпурной люстровой краски немецкий алхимик Беттгер растворял золото в царской водке, а затем добавлял в полученный раствор поташ до выпадения сероватого осадка X...

#### 2. Наночастицы из воздуха

Наноматериал в виде волокон (нитей) можно получать из воздуха. Для этого один из его компонентов растворяют в расплавленной смеси, состоящей из соли и оксида одного и того же металла...

#### 3. Фуллерен на службе у полимера

В последние годы фуллерены  $C_{60}$  и  $C_{70}$  стали использовать в качестве добавок к различным полимерным материалам...

#### 4. Дендример, молекула-дерево

Дендримеры – это глобулярные наночастицы регулярного строения, похожие на деревья. Отсюда и название! По-гречески δένδρον, дендрон, значит – «дерево», а μέρος, мерос – «часть»...

## 5. Перспективный наноматериал

Этот перспективный углеродный наноматериал по одному из методов получают следующим образом. Фольгу металла А помещают в реактор, через который согласно режиму пропускают газ...

## 6. Наностержни из кристаллов

Белый тугоплавкий порошок А, практически нерастворимый в разбавленных растворах кислот и щелочей, смешали с углем. В полученную смесь добавили густой крахмальный клейстер...

## 7. Уравнения нано-реакций

Даны неполные уравнения реакций (некоторые – в ионной форме), которые используют для синтеза разнообразных наночастиц и наноматериалов. Завершите эти уравнения...

## 8. Иммобилизация на наночастицах

Юный химик давно интересовался нанохимией. Получив множество ранее изученных наночастиц, он решил синтезировать что-нибудь свое – новое и интересное. Для этого он взял две соли...

**Внимание!** Добавлены исправления в тексте задачи от 14.12.2016

## 9. Непростая целлюлоза

Длинные и очень тонкие наноразмерные волокна целлюлозы (далее NC), производимые бактериями и некоторыми животными, отличаются по свойствам от обычной целлюлозы...

## 10. Дизайн наночастиц de novo

Приведена схема получения наночастиц Х. Известно, что D не содержит кислорода, масса наночастицы F составляет 1 кДа, а при образовании G она теряет четверть массы...



**Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 1. Беттгеровский люстр**



*Блюдце из сервиза с полуфигурами, роспись И. Г. Херольда, Мейсен 1723-1724.*

*Поля картушей заполнены беттгеровским люстром.*

*(Музей Виктории и Альберта, фото с сайта <http://media.vam.ac.uk>)*

Для получения пурпурной люстровой краски немецкий алхимик Беттгер растворял золото в царской водке, а затем добавлял в полученный раствор поташ до выпадения сероватого осадка X, содержащего 86.4% металла. На воздухе высушенный осадок легко взрывает при нагревании до 140 градусов, причем 1.00 г осадка образует 98.25 мл газа (н.у.), не поддерживающего горение. Чем лучше взрывает осадок, тем более чистый цвет люстровой краски удастся достигнуть. Чтобы сделать краску, осадок разбавляли флюсом (мелкоистолченным легкоплавким стеклом) и полученный пигмент замешивали на воде или терпентиновом масле. При помощи кисти краску наносили на пористую поверхность фарфора. При муфельном обжиге люстр приобретал характерный розово-пурпурный цвет, который зависит от режима нагрева.

1. Что называют люстром? Определите состав X. **(2 балла)**
2. Водный раствор каких двух веществ представляла собой царская водка, используемая во времена Беттгера? **(2 балла)**
3. Объясните, почему рецепт Беттгера сначала не удавалось воспроизвести в современных условиях. **(2 балла)**
4. Чем обусловлена окраска беттгеровского люстра? **(1 балл)**
5. Назовите примерный диаметр частиц, обуславливающих окраску. **(1 балл)**
6. Какие макро- или микрокомпоненты должны содержаться в силикатном стекле, чтобы оно (а) было легкоплавким, (б) приобретало при нагревании розово-пурпурную окраску. **(2 балла)**

**Всего – 10 баллов**



## Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Решение задачи 1. Беттгеровский люстр

1. Люстром называется тонкая ирризирующая пленка, нанесенная на изделия из стекла и керамики. X – гидразид золота Au–NH–NH<sub>2</sub>. При его разложении на воздухе образуется азот N<sub>2</sub>.
2. Царскую водку во времена Беттгера получали смешением раствора азотной кислоты с хлоридом аммония.
3. Современная царская водка не содержит ионов аммония и поэтому не дает осадка гремучего золота.
- 4 – 5. Окраска люстра обусловлена образованием наночастиц диаметром 70±10 нм.
6. Чтобы стекло было легкоплавким, оно должно содержать оксид свинца, для образования наночастиц золота требуются восстановители (Fe<sup>+2</sup>), хотя их необходимо очень мало.



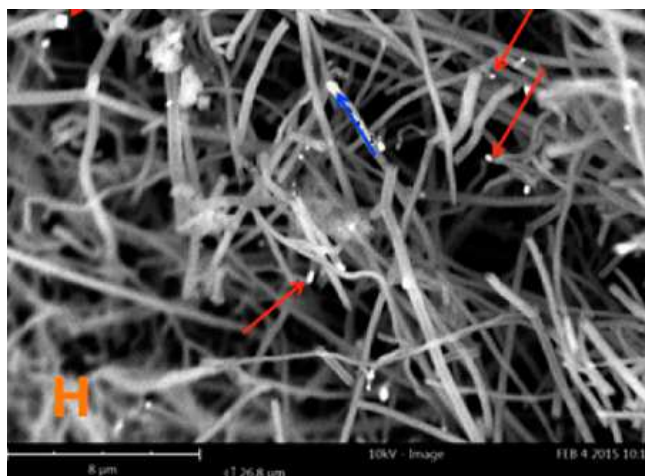
## Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Задача 2. Наночастицы из воздуха

Наноматериал в виде волокон (нитей) можно получать из воздуха. Для этого один из его компонентов растворяют в расплавленной смеси, состоящей из соли и оксида одного и того же металла (соль содержит 18.9% металла по массе, а оксид – 46.7% металла), добавляют следовые количества никеля и подвергают расплав электролизу со стальным катодом и никелевым анодом. Подбирая условия электролиза (концентрацию соли в оксида, плотность тока и количества примесей), можно получить материал, состоящий из прямых нитей, почти одинаковых по ширине.



*Катод после электролиза*



Электронное изображение полученных нанонитей  
(длина горизонтального отрезка – 8 мкм)

1. Установите формулы газа, оксида и соли, используемых в эксперименте. Ответ подтвердите расчетами. **(3 балла)**
2. Напишите уравнения катодного и анодного процесса, а также суммарное уравнение реакции, если известно, что анод в реакции не вступал. **(3 балла)**
3. Оцените средний диаметр нанонитей. **(1 балл)**
4. Предположите, зачем в расплав соли добавляют оксид, и какую роль играют добавки никеля. **(2 балла)**

**Всего – 9 баллов**





## Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Решение задачи 2. Наночастицы из воздуха

1. Единственный компонент воздуха, из которого можно путем разложения получить твердый наноматериал, – углекислый газ,  $\text{CO}_2$ .

Найдем формулу оксида  $\text{M}_2\text{O}_n$ .

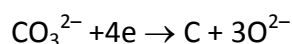
$$\frac{2M(\text{M})}{2M(\text{M}) + 16n} = 0.467$$

откуда:  $M(\text{M}) = 7n$ . При  $n = 1$  получаем  $M(\text{M}) = 7$  г/моль – это Li, формула оксида  $\text{Li}_2\text{O}$ .

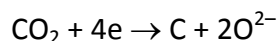
В соли на один моль лития приходится масса кислотного остатка:  $7/0.189 \cdot 8.811 = 30$  г.

Такого кислотного остатка нет. На 2 моля – 60 г, что соответствует карбонату. Формула соли –  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ .

2. На катоде происходит восстановление выделяется углерод:

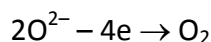


или

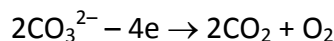


(принимается любая полуреакция с образованием углерода). Образуются углеродные нанонити.

На аноде происходит окисление и выделяется кислород:

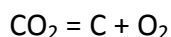


или

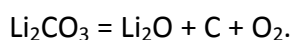


(принимается любая полуреакция с образованием кислорода).

Суммарное уравнение:



или



3. По микрофотографии средний диаметр нанонитей на глаз можно оценить как 200-400 нм.
4. Оксид лития, во-первых, связывает  $\text{CO}_2$  ( $\text{Li}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Li}_2\text{CO}_3$ ) и улучшает его растворимость в расплаве, а, во-вторых, уменьшает температуру плавления карбоната. Добавки никеля играют роль «затравок» для формирования нитей. Без этих добавок углерод образуется в аморфном виде.





**Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 3. Фуллерен на службе у полимера**

В последние годы фуллерены  $C_{60}$  и  $C_{70}$  стали использовать в качестве добавок к различным полимерным материалам. Добавление всего нескольких весовых процентов фуллеренов значительно увеличивает термическую стабильность полимеров.

1. Какое свойство молекул фуллеренов находит применение в этом случае? Напишите несколько различных химических реакций, которые демонстрируют это свойство. **(3 балла)**
2. Какая особенность строения молекул фуллеренов способствует проявлению этого свойства? **(2 балла)**
3. В одном из трех других применений фуллеренов (а, б или в) используется то же самое свойство. Выберите это применение из списка: **(1 балл)**
  - а. Фуллерены используются при производстве солнечных батарей;
  - б. Фуллерены используются при производстве кремов в косметологии;
  - в. Фуллерены предлагается использовать для создания новых контрастных агентов для диагностики рака.
4. Для добавления фуллеренов к полимерным материалам часто готовят водные коллоидные растворы фуллеренов. В таких растворах отдельные молекулы фуллеренов объединяются в крупные (по  $10^4$  и более молекул) ван-дер-ваальсовы кластеры. Образование кластеров усиливает или, наоборот, ослабляет положительное действие фуллеренов на полимерные материалы? Кратко объясните. **(3 балла)**

**Всего – 9 баллов**



## Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 3. Фуллерен на службе у полимера

1. Речь идет об антиоксидантной активности. Разрушение (деградация) полимеров при нагревании обусловлена взаимодействием со свободными радикалами, присутствующими в окружающей среде. В основном это радикалы, содержащие кислород:  $O_2$ ,  $OH$  и т.д. С ростом температуры скорости реакций разрушения возрастают. Молекулы фуллеренов легко вступают в реакции со свободными радикалами, обычно присоединяя радикалы парами и образуя устойчивые молекулы:



Таким образом, концентрация радикалов снижается и предотвращается разрушение полимеров.

2. В молекулах фуллерена  $C_{60}$  есть 30 двойных связи. Присоединение свободных радикалов идет по двойным связям. Менее существенна реакция образования димеров (2), однако ее можно указать в ответе.
3. Речь идет о применении, описанном в пункте (б). Фуллерены добавляют в косметические кремы в качестве антиоксидантов.
4. Кластеризация снижает антиоксидантную активность фуллеренов. Хотя кластеры образуются за счет ван-дер-Ваальсовых сил, т.е. новые химические связи между фуллеренами не возникают, часть поверхности фуллереновых шаров становится недоступной для свободных радикалов, в результате чего антиоксидантная активность снижается.

Задача оказалась трудной. Только 25% участников набрали очки за свои решения. Ни один из участников не смог написать химической формулы оксидантов, т.е. свободных радикалов, встречающихся в окружающей среде. Именно они разрушают полимеры при нагревании, а антиоксидант-фуллерен захватывает их, присоединяет по своим двойным С-С связям. Кремы, содержащие фуллерены, таким же способом защищают нашу кожу.



## Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Задача 4. Дендример, молекула-дерево

Дендримеры – это глобулярные наночастицы регулярного строения, похожие на деревья. Отсюда и название! По-гречески *δενδρον*, *дендрон*, значит – «дерево», а *μεροζ*, *мерос* – «часть».

На рис. 1 изображен дендример, *корнем* которого служит атом кремния, *ветками* – частицы карбосилана,  $\text{Si}(\text{Me})(\text{CH}_2)_3-$ , а *листьями* – органические радикалы R.

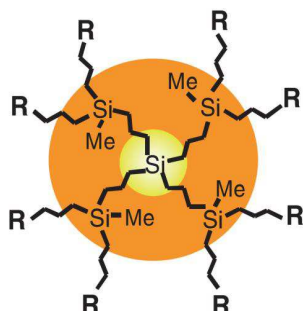


Рис. 1. Карбосиловый дендример первой генерации с концевыми группами R.  
 Me – метил,  $\text{CH}_3-$ .

1. Попробуйте нарисовать карбосиловый дендример *третьей генерации*. **(3 балла)**
2. Сколько «листьев» должно быть у карбосилового дендримера *второй генерации*? **(2 балла)**
3. Придумайте формулу для расчета числа листьев в любой генерации карбосилового дендримера. В формулу должны входить только номер генерации и числа. **(2 балла)**
4. На рис. 2 изображена молекула производного фуллерена  $\text{C}_{60}$ . Является ли эта молекула дендримером? Что здесь корень, ветви, листья? Если это – дендример, то к какой генерации он относится? **(3 балла)**

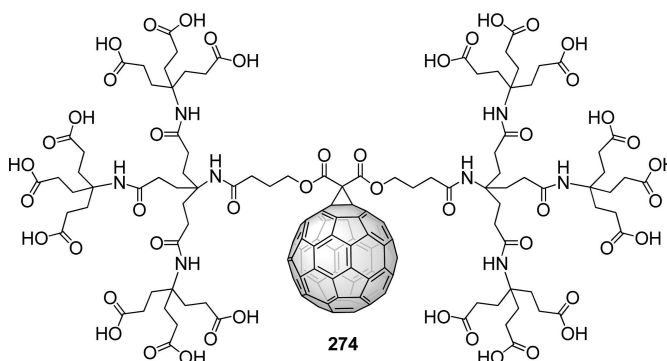


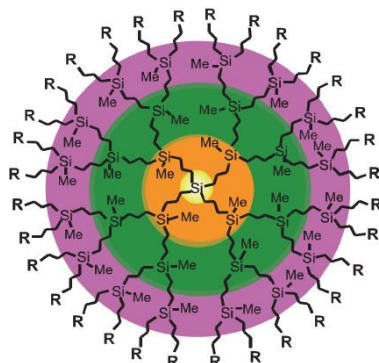
Рис. 2. Производное фуллерена  $\text{C}_{60}$ . Является ли молекула дендримером?

**Всего – 10 баллов**



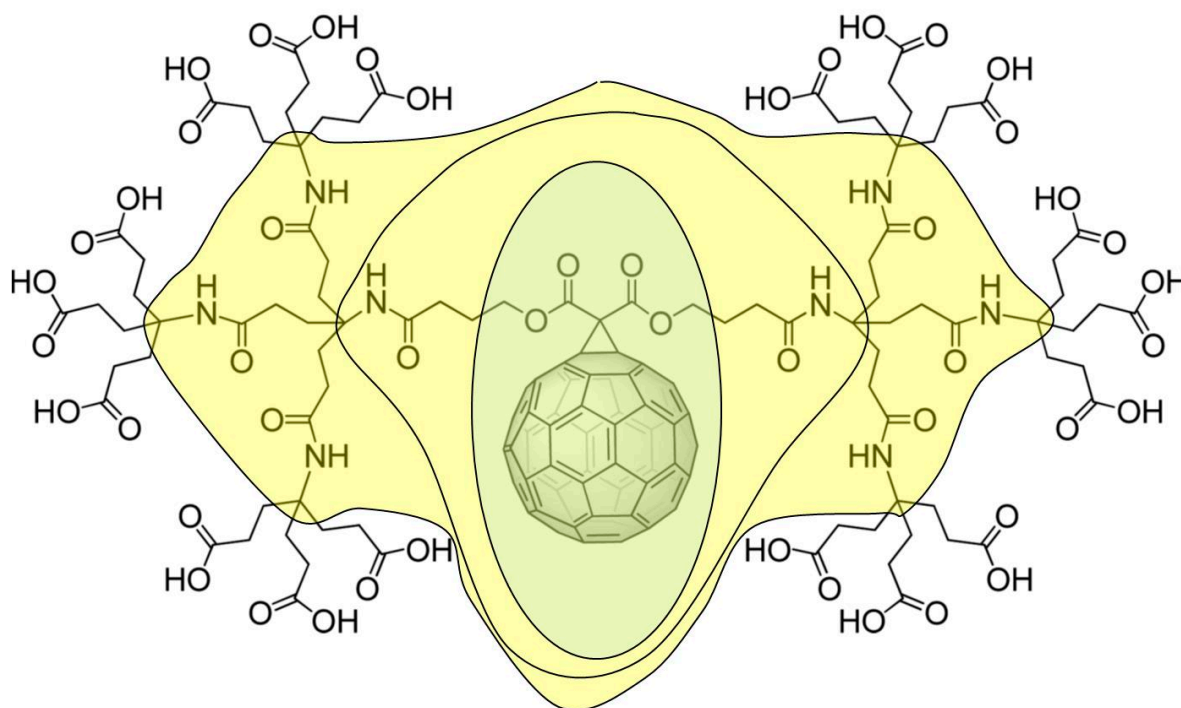
**Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 4. Дендример, молекула-дерево**

1. На рис. 1 изображен карбосилановый дендример третьей генерации. Качество рисунка в решении не оценивалось. Важно было только правильно показать связи атомов кремния.



*Рис. 1. Карбосилановый дендример третьей генерации*

2. 16 листьев.
3. Формула для расчета: число листьев =  $2^{N+2}$ . N – номер генерации.
4. Да, это дендример второй генерации. Корень – частица  $C_{60}$  ( $C(CO_2-CH_2)_2$ ), Ветка –  $(CH_2)_2C(O)NH-C$ , Листок -  $COOH$



*Рис.2. Дендро-фуллерен. Показано ядро и границы двух (1-ой и 2-ой) генераций*

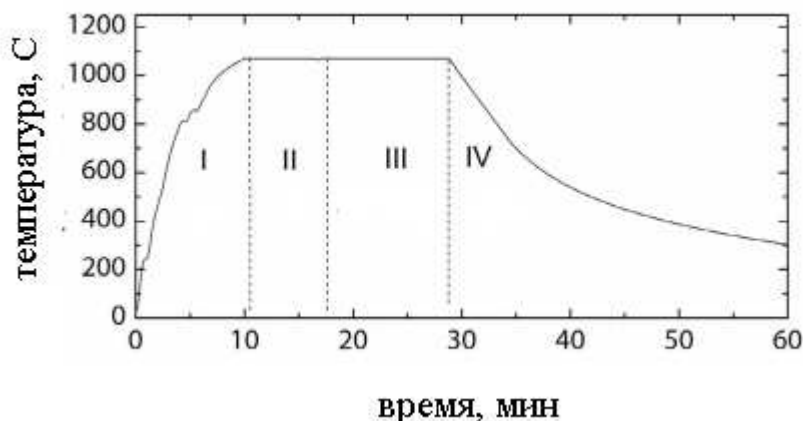
Участники Олимпиады неплохо справились с задачей. 69% решавших получили баллы за свои ответы. Некоторые трудности вызвало задание (3). Если в решении (3) были ошибки в формулах «листьяев», «веток» или «ядра», то оценка снижалась на 1 балл. Если неправильно назывался номер генерации, вычитались 2 балла.

Несколько человек написали, что «дендро-фуллерен» не является дендримером. Что же, такая точка зрения возможна! В литературе соединение, изображенное на рис.2, называют «дендримеро-подобным». В некоторых определениях дендримера говорится, что при переходе от генерации к генерации каждая ветка должна делиться надвое, а здесь видим деление на три ветки... Вы могли встретить такие определения в Интернете. Ответ: «Это не дендример!» - считался правильным, если был аргументирован. Каждый разумный аргумент оценивался баллами.



## Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 5. Перспективный наноматериал

Этот перспективный углеродный наноматериал по одному из методов получают следующим образом. Фольгу металла А помещают в реактор, через который согласно режиму, изображенному на рисунке, пропускают газ.



Газ, подаваемый в реактор на первой и второй стадиях, имеет плотность по водороду 20, на третьей стадии 19.57, а на четвертой 19.54. Используемые газы могут содержать три вида частиц X, Y, Z, в каждой из которых менее 6 атомов. Во время опыта на поверхности металла образуется наноматериал.

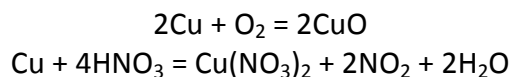
1. Назовите наноматериал и описанный метод его получения. **(2 балла)**
2. Определите частицы X, Y, Z, расположив их в порядке увеличения массы. **(3 балла)**
3. Определите металл А, если известно, что при нагревании на воздухе его поверхность темнеет, а в концентрированной азотной кислоте он растворяется с образованием зеленого раствора, который при разбавлении водой становится синим. Напишите уравнения этих реакций. **(2 балла)**
4. Вместо металла А можно использовать металл Б, который растворяется в азотной кислоте с образованием желто-зеленого раствора, при разбавлении водой становящегося травянисто-зеленым. Как изменится структура наноматериала при замене металла А на металл Б? **(2 балла)**

**Всего – 9 баллов**



## Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 5. Перспективный наноматериал

1. Наноматериал – графен. Метод – химическое осаждение из газовой фазы (CVD).
2. Молекулы X - H<sub>2</sub>, Y - CH<sub>4</sub>, Z - Ar. Газы на стадиях 1 и 2 – Ar, на стадии 3 смесь Ar (900 частей по объему) + CH<sub>4</sub> (1 часть по объему) + H<sub>2</sub> (20 частей по объему), на стадии 4 – смесь водорода (20 ч) и аргона (800 ч).
3. Металл А – медь



4. Металл Б – никель



Никель растворяет углерод, образует карбиды (в отличие от меди), поэтому он способен поглощать углерод, что способствует образованию графена, состоящего из нескольких слоев.



## Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Задача 6. Наностержни из кристаллов

Белый тугоплавкий порошок А, практически нерастворимый в разбавленных растворах кислот и щелочей, смешали с углем. В полученную смесь добавили густой крахмальный клейстер и сформировали шарики размером с горошину. Эти шарики поместили в горизонтальный кварцевый реактор, через который при нагревании до 800°C пропустили желто-зеленый газ Б, образующийся при электролизе раствора поваренной соли. В ходе реакции на холодной части кварцевой трубки образовались бесцветные чешуйчатые кристаллы вещества В, которые мутнеют при контакте с воздухом.

По одной из методик 10 г вещества В растворили в воде, а к полученному раствору по каплям добавили раствор, содержащий гидроксид натрия и аммиак до полноты осаждения белого аморфного осадка. Осадок выдержали в автоклаве при 200°C в течение 12 ч. При этом его масса составила 4.5 г (вещество Г). Прокаливание Г в течение 2 ч при 500°C приводит к образованию нанопроволок и наностержней Д, которые при дальнейшем нагревании превращаются в вещество А.

1. Назовите неизвестные вещества, запишите уравнения реакций. **(7 баллов)**
2. Где могут быть использованы нанопроволоки Д? **(1 балл)**
3. Как можно изменить условия эксперимента, чтобы вещество Г образовало наноструктуры другой формы? **(1 балл)**
4. Как можно различить порошки А и Д? Предложите простой химический способ. **(1 балл)**

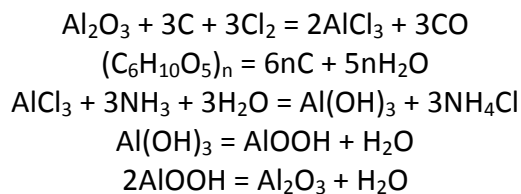
**Всего – 10 баллов**





**Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 6. Наностержни из кристаллов**

1. А – корунд ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), Б – хлор, В –  $\text{AlCl}_3$ , Г – бемит  $\gamma\text{-AlO(OH)}$ , Д – нанопроволоки  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$



2. Нанопроволоки  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  обладают каталитической активностью (гидратация алкенов и др.).
3. При изменении рН осаждения, концентраций и температуры бемит выделяется в виде наноструктур различной формы.
4.  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  в отличие от корунда легко растворяется в кислотах и щелочах.



**Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 7. Уравнения нано-реакций**

Даны неполные уравнения реакций (некоторые – в ионной форме), которые используют для синтеза разнообразных наночастиц и наноматериалов. Завершите эти уравнения, вставив пропущенные вещества и коэффициенты.

1.  $3\text{Ag} + \dots \rightarrow \text{Au} + \dots + 4\text{Cl}^-$
2.  $2\text{CuCl}_2 + \dots = 2\text{Cu} + \text{N}_2 + \dots$
3.  $\text{PtCl}_6^{2-} + \dots + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots + \text{TeO}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 6\text{Cl}^-$
4.  $2\text{PdCl}_2 + \text{Te} + \dots \rightarrow \dots + \text{TeO}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 4\text{Cl}^-$
5.  $\text{Cu} + \dots = 2\text{Ag} + \dots$
6.  $\dots = \text{Li}_2\text{O} + \text{C} + \dots$
7.  $\dots = \dots(\text{простое вещество}) + \text{N}_2 + 2\text{NH}_3$
8.  $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3 + \dots = \text{GaN} + \dots$
9.  $\text{Zr}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4 + \dots = \dots + 4\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
10.  $\dots = \text{BN} + \dots(\text{простое вещество})$

**Всего – 10 баллов (по 1 баллу за уравнение)**



**Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 7. Уравнения nano-реакций**

1.  $3\text{Ag} + \text{AuCl}_4^- \rightarrow \text{Au} + 3\text{Ag}^+ + 4\text{Cl}^-$
2.  $2\text{CuCl}_2 + \text{N}_2\text{H}_4 = 2\text{Cu} + \text{N}_2 + 4\text{HCl}$
3.  $\text{PtCl}_6^{2-} + \text{Te} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Pt} + \text{TeO}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 6\text{Cl}^-$
4.  $2\text{PdCl}_2 + \text{Te} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Pd} + \text{TeO}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 4\text{Cl}^-$
5.  $\text{Cu} + 2\text{Ag}^+ = 2\text{Ag} + \text{Cu}^{2+}$
6.  $\text{Li}_2\text{CO}_3 = \text{Li}_2\text{O} + \text{C} + \text{O}_2$
7.  $2\text{AuNHNH}_2 = 2\text{Au}$ (простое вещество) +  $\text{N}_2 + 2\text{NH}_3$
8.  $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3 + \text{NH}_3 = \text{GaN} + 3\text{CH}_4$
9.  $\text{Zr}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{ZrO}_2 + 4\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
10.  $\text{H}_3\text{BNH}_3 = \text{BN} + 3\text{H}_2$ (простое вещество)



## Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Задача 8. Иммуобилизация на наночастицах

Юный химик давно интересовался нанохимией. Получив множество ранее изученных наночастиц, он решил синтезировать что-нибудь свое – новое и интересное. Для этого он взял две распространенные соли одного и того же металла – **A** (дает с орто-фенантролином ярко-красное окрашивание) и **B** ( $\omega_{\text{металла}} = 34.46\%$ ) и соосадил их раствором аммиака, получив наночастицы **X**. Затем **X** юный химик промыл 2 М раствором хлорной кислоты.

Для модификации поверхности наночастиц **X** с образованием наночастиц **X<sub>1</sub>** было решено использовать металл **M**, применяемый в электронике. **M** может растворяться в концентрированной кислоте **C**, содержащей элемент, органические соединения которого имеют неприятный чесночный запах.

Металл **M** входит в состав кислоты **D**, которая содержит 0.294% водорода по массе. Кислота **D** была получена пропусканием газа **E** через солянокислый раствор, содержащий металл **M**. Для получения **X<sub>1</sub>** наночастицы **X** прокипятили со смесью кислоты **D** и натриевой соли кислоты **F**, на титрование 7.488 г которой требуется 468 мл 0.25М гидроксида натрия. Кислоту **F** юный химик заранее купил в супермаркете.

После очистки **X<sub>1</sub>** юный химик решил модифицировать и эти наночастицы, используя их взаимодействие с химотрипсином. Удалив избыток несвязанного химотрипсина и выдержав модифицированные наночастицы **X<sub>1</sub>** в низкочастотном переменном магнитном поле с последующим проведением ряда экспериментов, химик обнаружил, что ферментативная реакция с участием иммобилизованного фермента под действием магнитного поля замедлялась.

1. Определите вещества **A**, **B** и **X**. Напишите уравнение реакции соосаждения **A** и **B** водным аммиаком. **(3 балла)**
2. Для чего юный химик промывал **X** раствором хлорной кислоты? **(1 балл)**
3. Определите металл **M**, напишите уравнение реакции растворения **M** в **C**. **(2 балла)**
4. Установите формулы **D**, **E** и **F**. Какую роль натриевая соль **F** играет в описанном превращении? Какие ещё вещества, кроме этой соли, можно использовать для данного синтеза? **(3 балла)**
5. Чем может быть вызвано уменьшение активности химотрипсина? **(1 балл)**

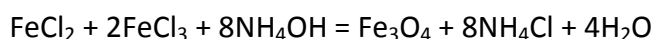
**Всего – 10 баллов**



## Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Решение задачи 8. Иммобилизация на наночастицах

1. Взаимодействие растворимых солей некоторых металлов с водным аммиаком – распространенный способ осаждения гидроксидов металлов, которые не способны растворяться в избытке аммиака. По условию, смесь двух распространенных солей соосадили раствором аммиака. Можно предположить, что металл проявляет две разные степени окисления в своих соединениях, причем в одной из степени окисления металл может образовывать комплекс красного цвета с орто-фенантролином – это главная подсказка на  $Fe^{2+}$ . Следовательно, **A** – соединение  $Fe^{2+}$ , тогда **B** – соединение  $Fe^{3+}$ . По массовой доле металлов можно определить, что две распространенные соли **A** и **B** – хлориды железа II и III соответственно. Непосредственно после соосаждения этих двух солей при комнатной температуре образуются так называемые наночастицы магнетита сферической формы диаметром порядка 9 нм, имеющие состав  $FeO \cdot Fe_2O_3$  или  $Fe_3O_4$  (**X**).



2. Для образования активной поверхности для осуществления дальнейших задумок поверхность наночастиц промывают (доокисляют) раствором хлорной кислоты. Кроме того, промывание наночастиц раствором хлорной кислоты приводит к повышению их устойчивости и препятствию агрегации (за счет дополнительного электростатического взаимодействия) с образованием непонятных субстратов.
- 3 – 4. Для определения металла **M** можно воспользоваться данными о кислоте **D**: небольшое значение массовой доли водорода может нас натолкнуть на мысль, что кислота образована металлом с большой массой, причем, нужно заметить, что этот металл используется в электронике. Также, **M** растворяется в кислоте, в состав которой входит элемент, у которого органические вещества пахнут чесноком. Этим элементом может быть селен. Селен в высшей степени окисления – хороший окислитель. Значит, кислота, проявляющая окислительные свойства –  $H_2SeO_4$  – селеновая кислота. Известный факт, на котором обычно делается акцент при изучении химии селена и **M**, что селеновая кислота может переводить золото в растворимое состояние. Отсюда, **M** – золото, по массовой доле водорода – **D** – золотохлористоводородная кислота –  $HAuCl_4$ . Золотохлористоводородную кислоту можно получить при пропускании хлора через раствор соляной кислоты, в котором находится золотой порошок. По результатам титрования и подсказке о том, что кислота куплена в супермаркете (список небольшой: лимонная, аскорбиновая, уксусная) можно определить, что **F** – лимонная кислота, тогда **D** – цитрат натрия. Получается, что **X<sub>1</sub>** – наночастицы магнетита, покрытые золотом. (Именно для образования золотой оболочки поверхность активировали хлорной кислотой). Покрытие магнетита золотой оболочкой – одна из разновидностей получения наночастиц золота по методу Туркевича, который предложил кипятить золотохлористоводородную кислоту с восстановителем (в данном случае, цитратом натрия). Для восстановления золотохлористоводородной кислоты с образование поверхности наночастиц золота можно использовать любые другие восстановители, например: фосфор, трифенилфосфин, борогидрид натрия и др. Но для этих целей удобно и безопасно использовать именно цитрат натрия.



5. После иммобилизации химотрипсина на поверхности золота химик получил наночастицы магнетита, покрытые золотой оболочкой, на поверхности которой находится химотрипсин. Химотрипсин – фермент, который осуществляет в организме гидролиз пептидных связей. После выдерживания **X**<sub>1</sub> с химотрипсином в магнитном поле, эта ферментативная реакция замедлялась, что можно объяснить наномеханическим воздействием на фермент со стороны наночастиц в магнитном поле. Другими словами, изменилась конформация фермента под действием сил поля – произошло скручивание, сжатие, растяжение молекулы и др. процессы, которые, главным образом влияют на структуру фермента и, следовательно, на ход реакции. Это свойство наночастиц (изменять структуру какого-либо иммобилизованного фермента или другого вещества, находящегося на поверхности и замедлять реакцию или сводить её на нет) может найти применение в онкологии.

**A** – FeCl<sub>2</sub>

**B** – FeCl<sub>3</sub>

**X** – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> – магнетит

**M** – золото

**C** – H<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>

**D** – HAuCl<sub>4</sub>

**E** – хлор

**F** – цитрат натрия



## Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Задача 9. Непростая целлюлоза

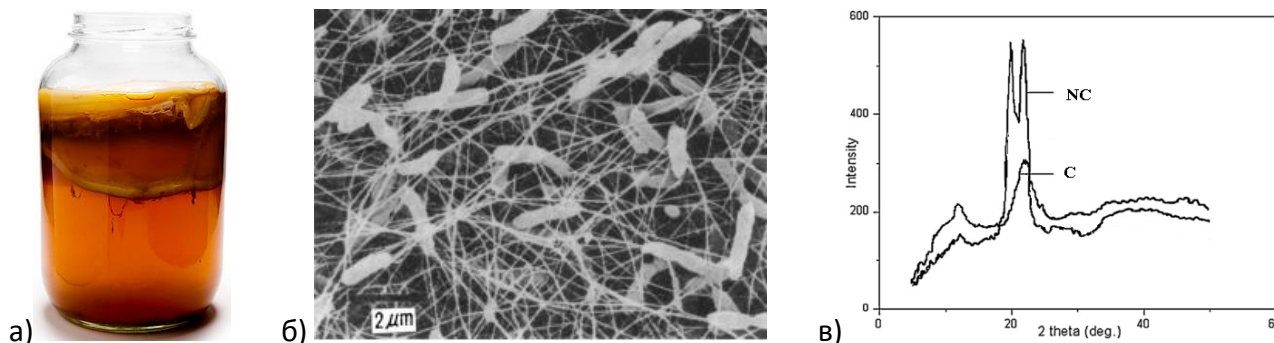


Рис. 1. а) Колония бактерий – чайный гриб. б) СЭМ изображение такого бактериально-целлюлозного геля. в) Дифракция рентгеновских лучей на образцах обычной растительной целлюлозы (С) и целлюлозы бактерий (NC)

Длинные и очень тонкие наноразмерные волокна целлюлозы (далее NC), производимые бактериями и некоторыми животными, отличаются по свойствам от обычной целлюлозы.

1. На основе данных о дифракции рентгеновских лучей схематично изобразите структуры обычной целлюлозы и NC. Поясните, почему NC обладает уникальной прочностью. **(2 балла)**
2. Небольшие волокна NC также могут быть выделены с низким выходом при кислотном гидролизе растительного сырья. Как вы думаете, более тонкие или более толстые волокна NC будут гидролизаться быстрее? Почему гидролизом можно отделить волокна NC от обычных волокон целлюлозы? **(1 балл)**

NC может быть использована как заготовка для получения других материалов:

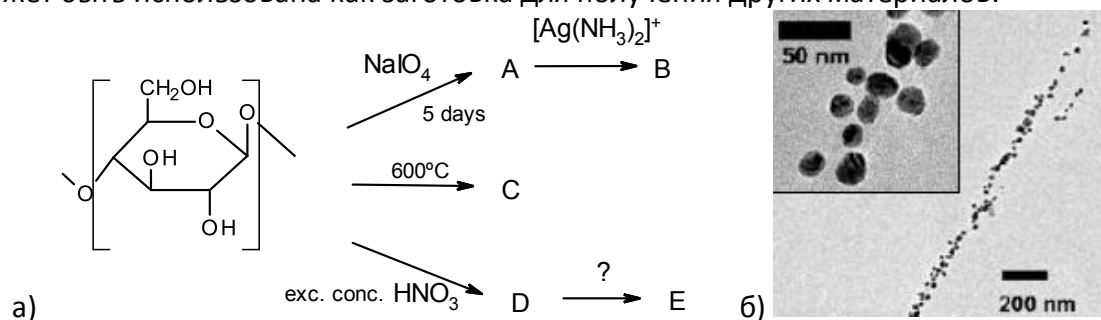


Рис. 2. а) Схема превращений волокон NC. б) ПЭМ изображение нанопродукта В

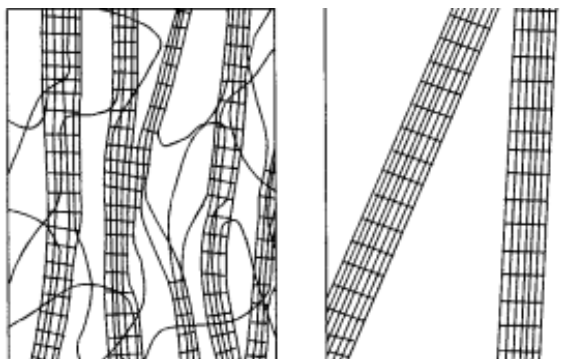
3. Схематически запишите уравнения приведенных превращений NC (рис. 2а), если при синтезе **А** окисляются две соседние группы в мономерном звене NC. **(2 балла)** Могут ли в продуктах реакции разложения **Д** находиться наночастицы **Е**, имеющие одинаковый с **С** элементный состав, но другую кристаллическую структуру? **(1 балл)**
4. Где могут найти применение нанопродукты **В** и **С**? **(1 балла)**
5. Оцените максимальную массовую долю наночастиц в материале **В**. Рассчитайте, сколько наночастиц серебра ( $d = 15 \text{ нм}$ ) будет при этом приходиться на каждые 100 нм волокон **В**, если исходная NC имеет диаметр волокон 25 нм, плотности волокон и серебра составляют  $1.5 \text{ г/см}^3$  и  $10.5 \text{ г/см}^3$ , соответственно. **(3 балла)**

**Всего – 10 баллов**



**Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 9. Непростая целлюлоза**

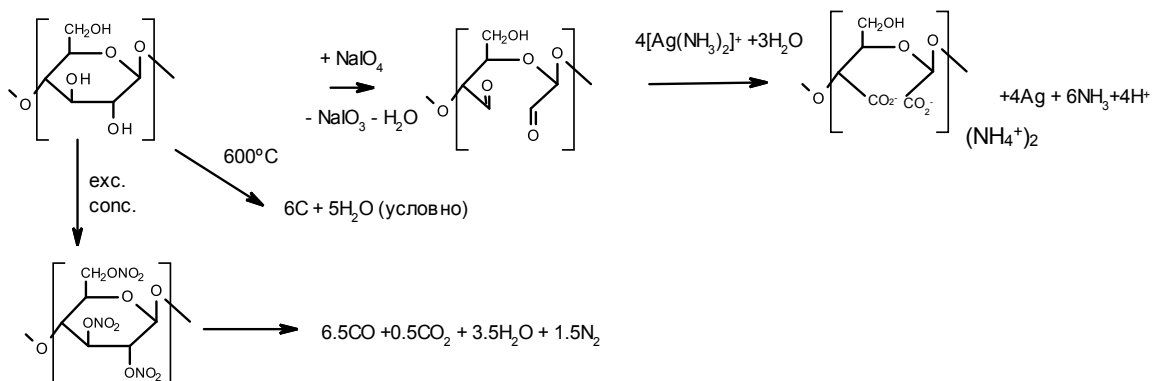
1. Более узкие и четкие пики НС показывают, что полимерные нити в ее волокнах в целом более упорядочены, чем у обычной целлюлозы. Такое упорядоченное расположение отдельных нитей само по себе приводит у большей механической прочности волокна в целом, но при этом также возникает прочная сеть из водородных связей, которая дополнительно скрепляет отдельные нити в единое целое.



Особенности такой целлюлозы обуславливают ее применение для изготовления сверхпрочных тканей и листов (например, из-за большей жесткости, но такой же, как целлюлоза легкости, широко используется в мембранах наушников). Также находит применение в медицине: изготовление хирургических нитей, повязки для ран (производимая бактериями целлюлоза представляет собой хорошо проницаемый гель, который при лечении ран легко пропускает воздух, и может быть использован для контролируемого высвобождения лекарств).

2. Более тонкие волокна НС имеют большую удельную площадь поверхности, следовательно, их гидролиз проходит быстрее, чем более толстых волокон аналогичной НС. Однако чтобы подвергнуть гидролизу даже тонкое волокно НС необходимо разорвать каркас из скрепляющих его водородных связей, поэтому гидролиз даже тонких волокон НС идет существенно медленнее, чем гидролиз толстых волокон обычной целлюлозы, что позволяет их выделить.

3.





Расщепление двух соседних групп в NC и образование наночастиц серебра показывает, что в молекуле A присутствуют альдегидные группы. Единственные две соседних группы в мономерном звене NC, которые можно окислить – это две соседние группы OH (реакция идет очень медленно, поскольку расщепляется транс-диол). Далее происходит реакция серебряного зеркала с получившимся диальдегидом. При этом серебро выделяется прямо на волокне, которое одновременно является реагентом-восстановителем.

При разложении или детонации нановолокон пироксилина ни наноалмазы, ни фуллерены, ни какие-либо другие углеродные наночастицы не образуются – нет источника углерода. Атомов кислорода в молекуле D достаточно, чтобы окислить весь углерод молекулы до CO и CO<sub>2</sub> (пироксилин – основа бездымного пороха, не образующего при взрыве частиц).

4. **B** – в медицине (антибактериальный перевязочный материал). **C** – катализатор, сорбент, а также в составе источников тока, например в составе аккумуляторов (развитая сеть тонких углеродных волокон).
5. а) При выходе 100% на всех стадиях синтеза **B** на одно мономерное звено будет приходиться 4 атома серебра, следовательно:

$$\omega = \frac{4M_{\text{Ag}}}{4M_{\text{Ag}} + M_{\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_7(\text{NH}_2)_2}} \cdot 100\% = \frac{4 \cdot 108}{4 \cdot 108 + 190 + 18 \cdot 2} \cdot 100\% \approx 66\%$$

Максимальное содержание будет в случае 100% выхода на всех стадиях синтеза, и также если все наночастицы останутся на волокнах.

б) Волокно целлюлозы длиной **L** и диаметром **d<sub>c</sub>** имеет объем

$$V_c = L \frac{\pi d_c^2}{4},$$

а, следовательно, массу

$$m_c = V_c \rho_c = L \frac{\pi d_c^2}{4} \rho_c$$

и количество вещества

$$n_c = \frac{m_c}{M_c} = \frac{\pi d_c^2 L \rho_c}{4M_c}.$$

Согласно реакции получения **B**,

$$n_{\text{Ag}} = 4n_c = \frac{\pi d_c^2 L \rho_c}{M_c}.$$

В тоже время, объем одной наночастицы серебра равен

$$V_{1\text{Ag}} = \pi \frac{d_{1\text{Ag}}^3}{6},$$

ее масса –

$$m_{1\text{Ag}} = V_{1\text{Ag}} \rho_{\text{Ag}} = \frac{\pi d_{1\text{Ag}}^3}{6} \rho_{\text{Ag}},$$

количество вещества

$$n_{\text{Ag}} = \frac{m_{\text{Ag}}}{M_{\text{Ag}}} = \frac{\pi d_{\text{Ag}}^3 \rho_{\text{Ag}}}{6M_{\text{Ag}}}$$

Тогда среднее число наночастиц серебра, приходящееся на каждые 100 нм волокна (изменением длины волокна в ходе реакции пренебрегаем), равно:

$$k = \frac{\frac{\pi d_{\text{C}}^2 L \rho_{\text{C}}}{M_{\text{C}}}}{\frac{\pi d_{\text{Ag}}^3 \rho_{\text{Ag}}}{6M_{\text{Ag}}}} = \frac{\pi d_{\text{C}}^2 L \rho_{\text{C}} \cdot 6M_{\text{Ag}}}{\pi d_{\text{Ag}}^3 \rho_{\text{Ag}} \cdot M_{\text{C}}} = \frac{d_{\text{C}}^2 L \rho_{\text{C}} \cdot 6M_{\text{Ag}}}{d_{\text{Ag}}^3 \rho_{\text{Ag}} \cdot M_{\text{C}}} = \frac{25^2 \cdot 100 \cdot 1,5 \cdot 6 \cdot 108}{15^3 \cdot 10,5 \cdot 162} \approx 10,6$$

шт.



## Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Задача 10. Дизайн наночастиц de novo

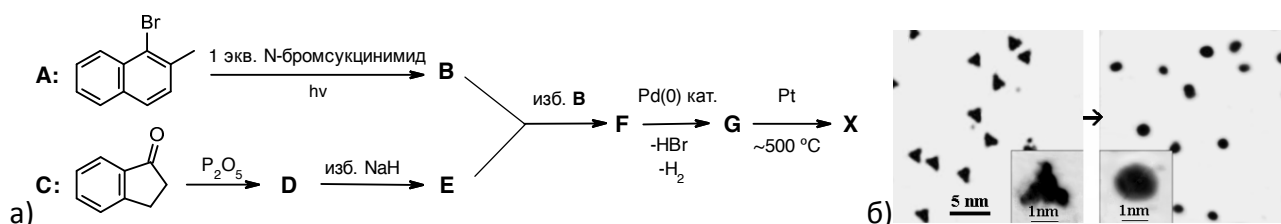


Рис 1. а) Схема получения наночастиц X. Известно, что D не содержит кислорода, масса наночастицы F составляет 1 кДа, а при образовании G она теряет четверть массы.

б) Изображения поверхности платины с наночастицами G и X, полученные сканирующей туннельной микроскопией (СТМ).

1. Приведите химические формулы веществ, упомянутых на схеме, и нарисуйте структуры соединений B, D и G, а также опишите структурные элементы наночастицы X и их взаимное расположение. **(6 баллов)**
2. При получении F образуются две изомерных наночастицы. Чем отличается их структура? **(1 балл)**

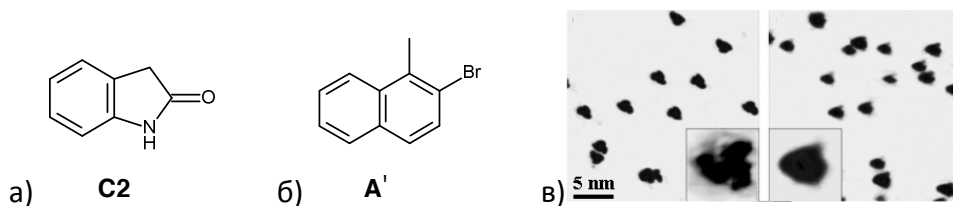


Рис. 2. а) Структура C2. б) Структура A'. в) СТМ изображения G' и X'

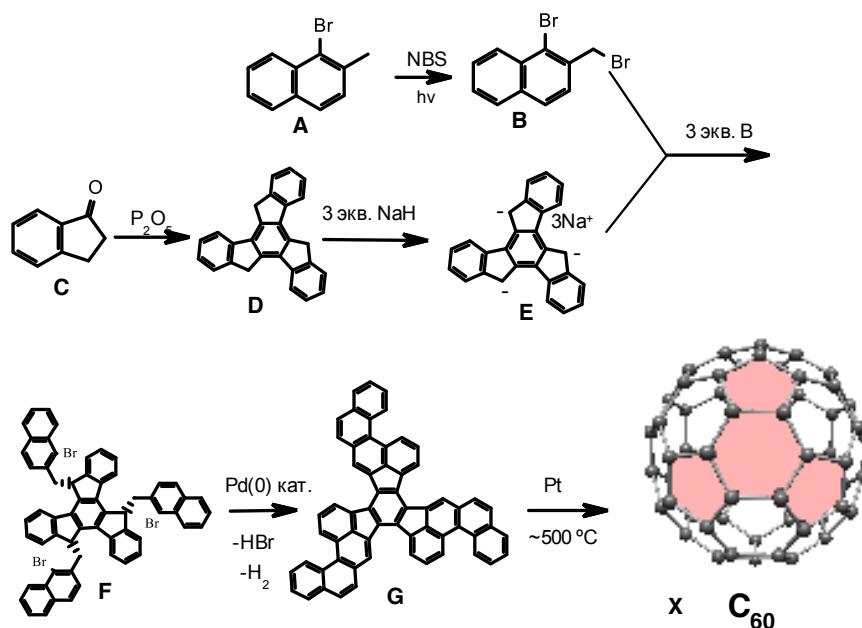
3. Установите химическую формулу и заряд наночастицы X<sub>C2</sub>, изоэлектронной X, если она получается при замене в схеме на рис. 1а соединения C на C2 (рис. 2а) **(1 балл)**.
4. При замене в схеме синтеза на рис. 1а соединения A на его структурный изомер A' (рис. 2б), вместо X образуется другая наночастица – X' (рис. 2б). Установите ее химическую формулу и объясните, почему в этом случае не образуется изомер X. **(2 балла)**
5. Наночастица Y относится к одному классу с X и имеет с ним одинаковый элементный состав, но на 40% тяжелее, и может быть получена по схеме на рис. 1а при замене A на A<sub>γ</sub>. Нарисуйте структуру A<sub>γ</sub>, если это соединение является производным A, замещенным по 3 и 4 положениям. Ответ поясните. **(3 балла)**

**Всего – 13 баллов**



## Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 10. Дизайн наночастиц de novo

1.



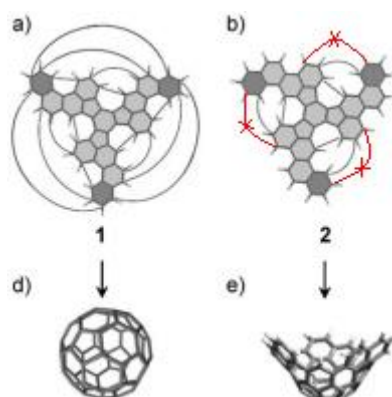
При свободнорадикальном бромировании **A** одним эквивалентом NBS происходит замещение протона в метильной группе с образованием **B**. Под действием  $P_2O_5$  происходит конденсация молекул **C**. Поскольку **D** не содержит кислорода, то можно заключить, что это продукт конденсации 3-х молекул **C** (эту догадку также подтверждают дальнейшие реакции **D** и его продуктов с 3-мя эквивалентами реагентов, а также СТМ изображения **G**). Соединение **D**, подобно циклопентадиену, легко депротонируется, образуя под действием 3-х эквивалентов гидрида натрия соль **E**. Ее алкилирование 3-мя эквивалентами **B** приводит к **F** (в реакции не участвует менее реакционноспособный атом брома, связанный с арильным радикалом). Масса наночастицы **F** при этом составит

$$3 \cdot (m(C_{11}H_9Br) - m(H) + m(C_9H_8O) - m(H) - m(H_2O)) = 999,6 \text{ Да} \approx 1 \text{ кДа.}$$

Формула **F**  $C_{60}H_{39}Br_3$ .

Зная потерю массы наночастицы **F** (25% от 1 кДа, т.е. 250 Да), несложно установить, что при образовании частицы **G** теряется  $3HBr$  и  $3H_2$  (т.к. в условии указано, что **F** теряет  $HBr$  и  $H_2$ ), значит, формула **G** –  $C_{60}H_{30}$ . Образование из  $C_{60}H_{30}$  (записывать формулы потребовалось не случайно!) сферической молекулы уже подсказывает нам, что **X** – бакибол  $C_{60}$ . Действительно, если мы начнем дегидрировать молекулу **G**, отнимая поочередно ближайшие соседние атомы водорода, то увидим, что структура **G** сконструирована так, чтобы каждый раз могли замыкаться пяти- и шестичленные циклы, пока не отнимутся последние атомы водорода и молекула при этом полностью не сомкнется в шар (см. рисунок к п.4). При этом все 12 уже имеющиеся и образующиеся при дегидрировании пятиугольников будут разделены 20-ю шестиугольниками и не будут граничить друг с другом.

2. Молекула **F** не плоская, поэтому возможно различное расположение остатков **A** относительно плоскости молекулы – либо они все направлены в одну сторону (как изображено на схеме), либо один остаток направлен противоположно 2-м другим.
3.  $C_{57}N_3^{3+}$
4. В молекуле **G'** крайние кольца повернуты так, что дальнейшее дегидрирование останавливается на стадии образования невыгодных четырехчленных циклов, поэтому в итоге получается молекула-чаша. При этом в каждом из 3-х фрагментов молекулы остается по 5 атомов водорода, т.е. суммарно в углеродном каркасе остается  $5 \cdot 3 = 15$  атомов водорода, следовательно, формула **X'** –  $C_{60}H_{15}$ .

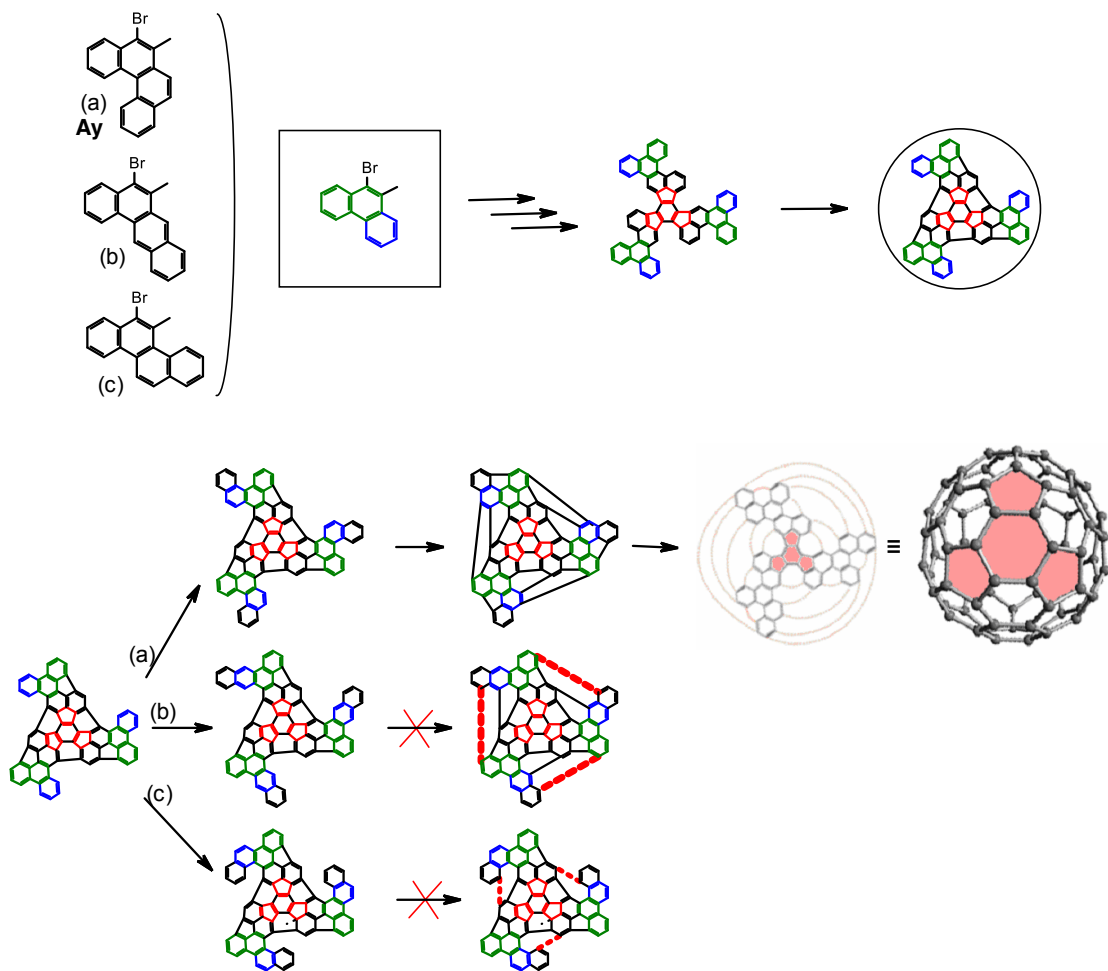


5. Поскольку **Y** принадлежит к этому же классу молекул и целиком состоит из углерода – то это тоже фуллерен, содержащий  $60 \cdot 1,4 = 84$  углеродных атома.

Поскольку он получается аналогично **X**, то в соединении **A<sub>y</sub>** необходимо добавить  $(84-60)/3 = 8$  атомов углерода, которые могут входить в заместитель в составе шестиугольных или пятиугольных циклов. Замещая *орто*- и *мета*- положения относительно метильной группы, мы можем добавить с помощью 8-ми атомов углерода только два шестиугольника, однако при этом возможно 3 варианта заместителя (варианты (a), (b) и (c) на рисунке ниже молекулы **A<sub>y</sub>**).

Решение предыдущего пункта подсказывает нам, что может оказаться, что не все возможные изомеры смогут замкнуться в молекулу фуллерена. Поэтому возьмем общий для всех трех вариантов остов (нарисован внутри квадрата) и схематично проведем с ним все описанные на схеме превращения, включая дегидрирование с образованием максимального числа пяти- и шестиугольников (получившийся результат нарисован на схеме в круге).

Видим, что далее из образовавшегося шаблона лишь для варианта (a) молекулы **A<sub>y</sub>** возможен классический фуллерен (остальные варианты упираются в замыкание 7-ми членных циклов):





## 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.

### Задания

#### 1. Наночастицы серы

Прозрачная кубическая емкость с раствором тиосульфата натрия освещается через стенку коллимированным пучком белого света...

#### 2. Легированная наночастица

В полупроводники искусственно добавляют примеси, для того чтобы изменить их электрические и оптические свойства...

#### 3. Получение фуллеренов

Абляция графита с помощью лазерного облучения в атмосфере буферного газа была пионерской работой в получении фуллеренов...

#### 4. Сепарация наночастиц по размерам

В результате лазерного пиролиза моносилана образуется пучок летящих с различными скоростями наночастиц кремния размером от 3 до 7 нм...

#### 5. Плавучесть наночастиц для биомедицины

Молодой ученый Иван разрабатывает наночастицы для медицинских применений,

которые планирует вводить в организм человека с помощью уколов...

## **6. Нанопленка для солнечных элементов**

Солнечные элементы на основе кристаллического кремния в настоящее время составляют огромную долю всего рынка солнечных батарей...

## **7. Люминесценция квантовых точек**

Квантово-размерный эффект в полупроводниковых наночастицах состоит в том, что увеличивается ширина запрещенной зоны полупроводников...

## **8. Оптоакустические наноконтрасты**

Для диагностики различных заболеваний ученые используют метод оптоакустической томографии. Для того, чтобы усилить сигнал, применяются также контрастные средства...

## **9. Нанопонтон из графена - нанотрубка**

Закрытую углеродную нанотрубку (УНТ) можно рассматривать как лист графена, свернутый в цилиндр и закрытый с торцов «шапочками»...

## **10. Взрыв нанокластера**

Мощное ионизирующее лазерное излучение обладает способностью буквально «взрывать» частицы вещества, поэтому оно может быть использовано для получения наночастиц...



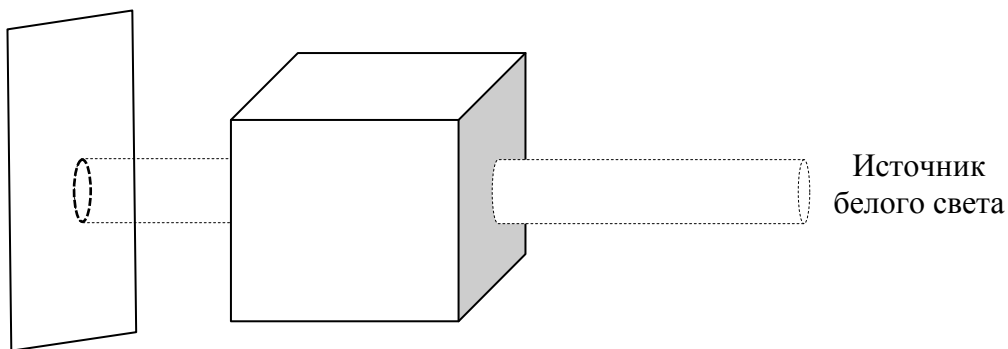


## Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Задача 1. Наночастицы серы

Прозрачная кубическая емкость с раствором тиосульфата натрия освещается через стенку коллимированным пучком белого света. За емкостью на небольшом расстоянии располагается экран. В начальный момент времени ни емкость, ни пятно света на экране не окрашены ни в какой цвет. Затем в раствор добавляется немного серной кислоты, одним из результатов реакции которой с тиосульфатом натрия является формирование наночастиц серы с максимальными размерами порядка 100 нм.

1. В какой цвет окрасится емкость для наблюдателя, смотрящего на нее перпендикулярно направлению распространения пучка? **(4 балла)**
2. Какого цвета окажется пятно на экране в начальный момент после добавления серной кислоты и спустя продолжительное время? **(4 балла)**



**Всего – 8 баллов**



## Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

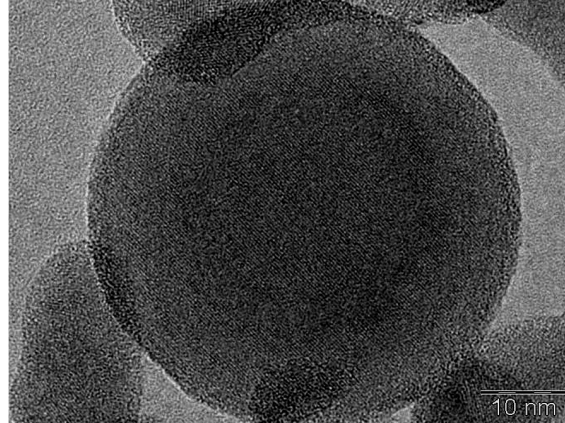
### Решение задачи 1. Наночастицы серы

1. Появление в растворе наночастиц серы обуславливает рассеяние света на них (Рэлеевское рассеяние). Поскольку сечение рассеяния обратно пропорционально четвертой степени длины волны, коротковолновое (сине-фиолетовое) излучение рассеивается сильнее. Следовательно, для наблюдателя со стороны емкость начнет окрашиваться в сине-фиолетовый цвет. С течением времени число наночастиц в растворе будет расти, и цвет раствора будет становиться более насыщенным.
2. В начальный момент времени (сразу после добавления кислоты в раствор) пятно на экране не будет заметно окрашено, пока число рассеивающих центров мало. Но со временем все больше сине-фиолетового света будет рассеиваться на образующихся в растворе наночастицах, следовательно, до экрана будет доходить все меньше коротковолнового излучения, и пятно приобретет красноватый оттенок.



**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 2. Легированная наночастица**

В полупроводники искусственно добавляют примеси, для того чтобы изменить их электрические и оптические свойства. В частности полупроводниковые транзисторы, которые сейчас достигли размеров в десятки нанометров, имеют области с разным типом примесей.



*На рисунке приведено изображение сферической полупроводниковой наночастицы, полученное в просвечивающем электронном микроскопе.  
Эта частица содержит атомы примеси.*

1. Рассчитайте количество примесных атомов в такой частице, если известно, что их концентрация в частице равна  $n = 10^{20} \text{ см}^{-3}$ . **(4 балла)**
2. Какова будет концентрация примеси, если всего 10 атомов содержатся в частице диаметром 10 нм? **(4 балла)**
3. К чему приводит внедрение примесных атомов в полупроводники? Как это сказывается на электрических свойствах полупроводников? **(2 балла)**

**Всего – 10 баллов**



**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 2. Легированная наночастица**

Концентрация  $n$  — это отношение общего числа атомов примеси  $N$  к объему  $V$

$$n = \frac{N}{V}.$$

Для сферической наночастицы

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3.$$

Из приведенного изображения оцениваем  $R$ . Оценка дает  $R = 25 \text{ нм} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ см}$ .

$$1. \quad N = \frac{n \cdot 4\pi R^3}{3} = 10^{20} \frac{1}{\text{см}^3} \frac{4\pi 2,5^3 10^{-18} \text{ см}^3}{3} = 6,5 \cdot 10^3$$

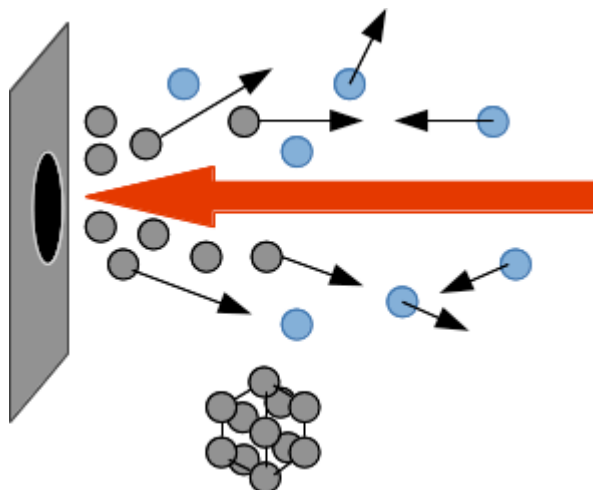
$$2. \quad n = \frac{N}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3 \cdot 10}{4\pi 125 10^{-21} \text{ см}^3} = 2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$$

3. Внедрение примеси приводит к повышению концентрации равновесных носителей заряда. Донорные примеси создают электронную проводимость  $n$ - типа, а акцепторные — дырочную проводимость  $p$ - типа. Создавая по соседству области с различным типом проводимости, можно сформировать  $p$ - $n$  переход. Создав 2 таких перехода, можно получить биполярный транзистор. Транзисторы позволяют усиливать сигнал, а еще они являются составной частью логических элементов. Внедрение примеси изменяет не только электрические, но и оптические свойства полупроводников.



**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 3. Получение фуллеренов**

Абляция графита с помощью лазерного облучения в атмосфере буферного газа была пионерской работой в получении фуллеренов. В качестве источника испарения вещества применяется импульсный неодимовый лазер.



После воздействия лазерного импульса продукты абляции начинают распространяться в так называемую буферную среду, окружающую мишень и находящуюся в жидкой или газовой фазе. В результате взаимодействия продуктов абляции (атомов и брызг графита) с атомами или молекулами буферной среды происходит торможение первых с последующей агломерацией в наночастицы. Подбор состава, температуры, вязкости и иных термодинамических параметров буферной среды, а также длительности, энергии и параметров фокусировки лазерных импульсов позволяет контролировать изготовление наночастиц с требуемыми размерами в диапазоне от единиц до сотен нанометров. Абляция углерода происходит в среде гелия или аргона. Рассмотрите случай упругого соударения атомов углерода и атомов буферных сред гелия и аргона. Скорость вылета атомов углерода примите равной  $v = 3000$  м/с, скорость атомов буферного газа рассчитайте, полагая, что эксперимент проводится при комнатной температуре.

1. Во сколько раз меняется скорость атомов углерода после соударения в среде гелия и в среде аргона, когда атомы летят навстречу друг другу? **(5 баллов)**
2. Во сколько раз меняется скорость атомов углерода после соударения в среде гелия и в среде аргона, когда соударяющиеся атомы летят в одном направлении? **(5 баллов)**

**Всего – 10 баллов**



**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 3. Получение фуллеренов**

Средняя тепловая скорость атомов He и Ar:

$$V_{He} = \sqrt{\frac{3kT}{m_{He}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 300\text{K}}{4 \cdot 1.6 \cdot 10^{-27} \text{ кг}}} \approx 1.4 \text{ км/с}$$

$$V_{Ar} = \sqrt{\frac{3kT}{m_{Ar}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 300\text{K}}{40 \cdot 1.6 \cdot 10^{-27} \text{ кг}}} \approx 0.44 \text{ км/с}$$

При абсолютно упругом соударении выполняются законы сохранения импульса и энергии:

$$m_1 V_{1X} + m_2 V_{2X} = m_1 \tilde{V}_{1X} + m_2 \tilde{V}_{2X}$$

$$\frac{m_1 V_{1X}^2 + m_2 V_{2X}^2}{2} = \frac{m_1 \tilde{V}_{1X}^2 + m_2 \tilde{V}_{2X}^2}{2},$$

где  $V_{1X}$  и  $V_{2X}$  проекции скоростей до соударения,  
 а  $\tilde{V}_{1X}$  и  $\tilde{V}_{2X}$  проекции скоростей после соударения.

Для скоростей атома №1(углерод) в случаях а) и б) после соударения получаем:

$$\text{а) } \tilde{V}_{1X} = \frac{(m_1 - m_2) \cdot V_1 - 2 \cdot m_2 \cdot V_2}{m_1 + m_2} \Rightarrow \frac{\tilde{V}_{1X}}{V_{1X}} = \frac{(m_1 - m_2) - \frac{2 \cdot m_2 \cdot V_2}{V_1}}{m_1 + m_2}$$

$$\text{б) } \tilde{V}_{1X} = \frac{(m_1 - m_2) \cdot V_1 + 2 \cdot m_2 \cdot V_2}{m_1 + m_2} \Rightarrow \frac{\tilde{V}_{1X}}{V_{1X}} = \frac{(m_1 - m_2) + \frac{2 \cdot m_2 \cdot V_2}{V_1}}{m_1 + m_2}$$

$$\text{а) He: } \frac{\tilde{V}_{1X}}{V_{1X}} = \frac{(12-4) - \frac{2 \cdot 4 \cdot 1.4}{3}}{12+4} \approx 0.26$$

$$\text{б) Ar: } \frac{\tilde{V}_{1X}}{V_{1X}} = \frac{(12-40) - \frac{2 \cdot 40 \cdot 0.44}{3}}{12+40} \approx -0.76$$

$$\text{а) He: } \frac{\tilde{V}_{1X}}{V_{1X}} = \frac{(12-4) + \frac{2 \cdot 4 \cdot 1.4}{3}}{12+4} \approx 0.73$$

$$\text{б) Ar: } \frac{\tilde{V}_{1X}}{V_{1X}} = \frac{(12-40) + \frac{2 \cdot 40 \cdot 0.44}{3}}{12+40} \approx -0.31$$

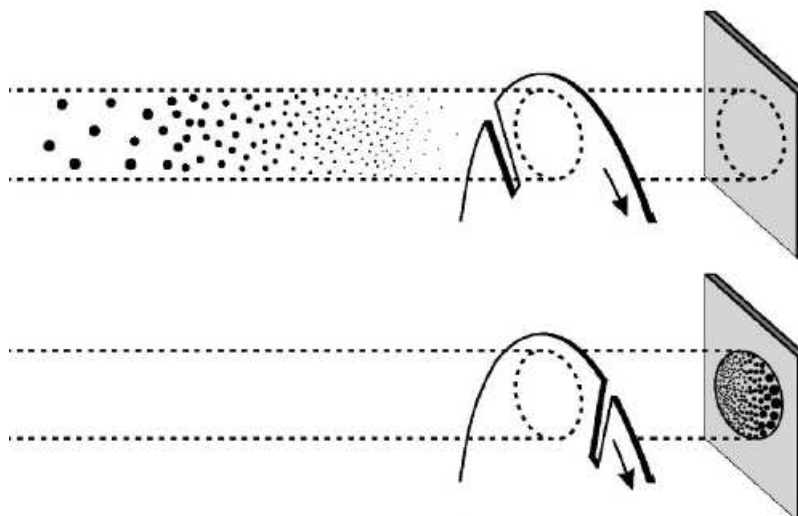
Вывод: в He скорость падает, но направление не меняется, а в Ar скорость падает и направление меняется.



## Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

### Задача 4. Сепарация наночастиц по размерам

В результате лазерного пиролиза моносилана образуется пучок летящих с различными скоростями наночастиц кремния размером от 3 до 7 нм. Для сепарации по размерам на пути пучка установлен вращающийся диск с прорезью (см. рис.). Оценить, с какой угловой скоростью должен вращаться диск, чтобы эффективно разделять наночастицы по размерам на приемной подложке, если известно, что скорость наночастиц падает в  $e$  раз с ростом их размера на 10 нм и составляет 1700 м/с для наиболее мелких из них? Длина пучка в момент подлета первых частиц к диску составляет 13 см, диаметр пучка – 7 мм, диаметр диска – 13,7 см, ширина прорези – 1 мм.



Всего – 10 баллов



**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 4. Сепарация наночастиц по размерам**

Для эффективной сепарации наночастиц по размерам необходимо, чтобы прорезь начинала пересекать пучок в момент пролета первых частиц (мелких), а заканчивала – в момент пролета последних (крупных). Скорость крупных частиц найдем из условия:

$$v = 1700 \cdot e^{0.3} \cdot e^{-0.7} \approx 1140 \text{ м/с.}$$

Время подлета наиболее крупных частиц к диску:

$$\tau = \frac{0.13 \text{ м}}{1140 \text{ м/с}} \approx 114 \text{ мкс}$$

За это время диск должен повернуться на угол примерно равный (учитывая малость диаметра пучка по сравнению с диаметром диска):

$$\alpha \approx \frac{(7 + 1)\text{мм}}{(137/2 - 7/2)\text{мм}} = \omega \cdot \tau$$

Откуда находим оценку для угловой скорости:  $\omega \approx 1080 \text{ с}^{-1}$ .





**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 5. Плавучесть наночастиц для биомедицины**

Молодой ученый Иван разрабатывает наночастицы для медицинских применений, которые планирует вводить в организм человека с помощью уколов.

1. Каким образом можно использовать подобные наночастицы? **(2 балла)**

Иван сделал наночастицы, которые не оседали и не всплывали в воде, т.к. в противном случае они могли закупоривать сосуды. Сначала он взял пористую наночастицу кремния размером  $R = 300$  нм и покрыл ее поверхность монослоем гидрофобных молекул так, чтобы внутрь частицы вода не поступала (воздух – белый цвет на рисунке). Однако, оказалось, что такая частица всплывает на поверхность, поэтому после этого Иван окислил внешнюю поверхность частицы, превратив кремний (коричневый цвет на рисунке) в диоксид кремния (желтый цвет на рисунке), тем самым часть поверхности снова стала гидрофильной и вода частично проникла в поры наночастицы (голубой цвет на рисунке).

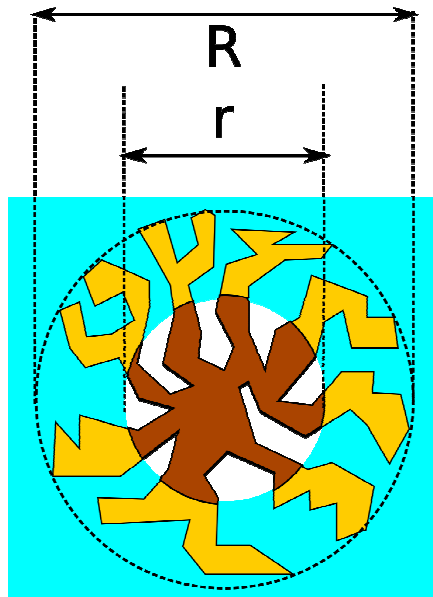


Рис. 1. Схематическое изображение наночастицы.

2. Найдите внутренний “гидрофобный” радиус наночастицы,  $r$ . Пористость частицы (по объему) считать равной 70%. Изменением объема частицы при окислении пренебречь. **(8 баллов)**

**Всего – 10 баллов**



**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 5. Плавучесть наночастиц для биомедицины**

1. Например, такие наночастицы можно использовать для “доставки лекарств”, активное вещество загружается в поры и попадает в нужный орган. Другой пример. Если заполнить поры радиоактивным изотопом, можно будет использовать наночастицы для диагностики, исходя из того, что они, например, попадают в раковую опухоль.
2. Плотность наночастицы равна:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\rho_{Si} \cdot 4/3 \pi r^3 (1 - P) + \rho_{SiO_2} \cdot 4/3 \pi (R^3 - r^3) \cdot (1 - P) + \rho_W \cdot 4/3 \pi (R^3 - r^3) P}{4/3 \pi R^3} \quad (1)$$

Сделаем для удобства замену переменных:

$$\kappa = \frac{r^3}{R^3} \quad (2)$$

Получим выражение, приравняв к плотности воды (условие плавучести)

$$\rho = \rho_{Si} \kappa (1 - P) + \rho_{SiO_2} (1 - \kappa) (1 - P) + \rho_W (1 - \kappa) P = \rho_W \quad (3)$$

$$\rho_{Si} \kappa (1 - P) - \rho_{SiO_2} \kappa (1 - P) - \rho_W \kappa P = \rho_W - \rho_{SiO_2} (1 - P) - \rho_W P \quad (4)$$

$$\kappa = \frac{(\rho_W - \rho_{SiO_2})(1 - P)}{\rho_{Si}(1 - P) - \rho_{SiO_2}(1 - P) - \rho_W P} \quad (5)$$

$$\kappa = \frac{r^3}{R^3} = \frac{(1 - 2.65) \cdot 0.3}{2.32 \cdot 0.3 - 2.65 \cdot 0.3 - 0.7} = \frac{-0.495}{-0.799} = 0.619 \quad (6)$$

$$r = 300 \cdot 0.619^{1/3} = 255 \text{ нм} \quad (7)$$



**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 6. Нанопленка для солнечных элементов**



Солнечные элементы на основе кристаллического кремния в настоящее время составляют огромную долю всего рынка солнечных батарей. Чтобы повысить эффективность существующих технологий и снизить их себестоимость, продолжается поиск в этой области.

В одном эксперименте исследуется пропускание тонких отслоенных плёнок кристаллического кремния разной толщины. Монохроматический пучок света с длиной волны  $\lambda = 900$  нм падает нормально на кремниевые плёнки. Толщина первой  $d_1 = 62.5$  нм, второй  $d_2 = 1000.0$  нм. Показатель преломления света на длине волны  $\lambda = 900$  нм равен  $n = 3.6$ . Коэффициент отражения  $R = 30\%$ . Коэффициент поглощения  $\alpha = 306 \text{ см}^{-1}$ .

1. Оцените долю поглощенного света в каждой плёнке. **(8 баллов)**
2. Найдите отношение интенсивности света, прошедшего через первую плёнку, к интенсивности света, прошедшего через вторую. **(2 балла)**

**Всего – 10 баллов**



**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 6. Нанопленка для солнечных элементов**

1. Толщина плёнки ( $d = 62,5$  нм) такова, что свет на длине волны  $\lambda = 900$  нм практически не поглощается.

$$I_{\text{пр}} = I_{\text{пад}} e^{-\alpha d} = I_{\text{пад}} e^{-306 \cdot 62,5 \cdot 10^{-7}} \approx I_{\text{пад}} e^{-0,002} \approx 0,998 \cdot I_{\text{пад}}$$

Потери на поглощение менее 1%.

Для второго случая толщина пластины ( $d = 1$  мкм).

$$I_{\text{пр}} = I_{\text{пад}} e^{-\alpha d} = I_{\text{пад}} e^{-306 \cdot 1 \cdot 10^{-4}} \approx I_{\text{пад}} e^{-0,03} \approx 0,97 \cdot I_{\text{пад}}$$

Потери на поглощение около 3%.

2. По формуле для интенсивности прошедшего света при многолучевой интерференции:

$$I = \frac{(1-R)^2}{(1-R)^2 + 4R \sin^2\left(\frac{2\pi dn}{\lambda}\right)} I_0 \quad (1)$$

Для плёнки толщиной 62,5 нм выполняется условие:  $2dn = \frac{\lambda}{2}$ .

Для второй плёнки толщиной 1 мкм выполняется условие  $2dn = m\lambda$ , при  $m = 8$ .

В первом случае по формуле (1) получаем:

$$I_1 = \frac{(1-0,3)^2}{(1-0,3)^2 + 4 \cdot 0,3 \sin^2\left(\frac{\pi}{2}\right)} I_0 \approx 0,29 I_0.$$

Во втором

$$I_2 = \frac{(1-0,3)^2}{(1-0,3)^2 + 4 \cdot 0,3 \sin^2(8\pi)} I_0 = I_0$$

Отношение интенсивностей:  $\frac{I_1}{I_2} \approx 0,29$ .

**Вывод:** через более толстую пленку проходит больше света!



**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 7. Люминесценция квантовых точек**

Квантово-размерный эффект в полупроводниковых наночастицах состоит в том, что увеличивается ширина запрещенной зоны полупроводников. Этот эффект проявляется в голубом смещении максимума спектра фото-люминесценции.

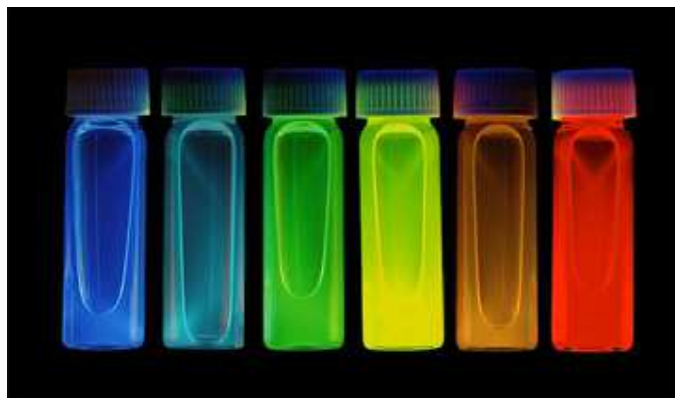


Рис. 1. Фотолюминесценция квантовых точек

Два юных экспериментатора, Сергей и Николай решили самостоятельно пронаблюдать голубое смещение фотолюминесценции полупроводниковых квантовых точек. Для этого они воспользовались двумя одинаковыми спектрофотометрами. Сергей использовал призму в спектрофотометре, а Николай дифракционную решетку. Результаты они регистрировали на фотопластинку. Выполняя юстировку оптической системы без призмы и решетки, оба получили засветку от лампы в левой части фотопластинки.

Каждый из них для исследования взял растворы с квантовыми точками диаметром 5 и 10 нм. Встретившись, они решили обсудить результаты. Сергей и Николай получили засветку своих фотопластинок, как показано на рисунке ниже.

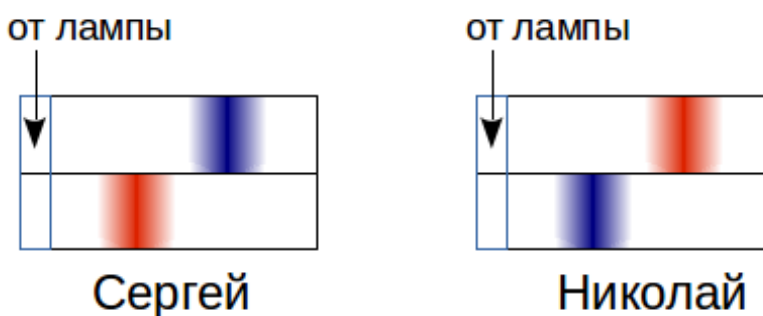


Рис. 2. Результаты экспериментов Сергея и Николая

1. В какой последовательности исследовали квантовые точки экспериментаторы? **(3 балла)**
2. Кому удалось обнаружить квантово-размерный эффект? **(3 балла)**
3. Какова должна быть минимальная разрешающая способность спектрофотометра, чтобы различить линии 630 нм и 480 нм? Чей спектрофотометр предпочтительней? Объясните, чем. **(4 балла)**

**Всего – 10 баллов**



**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 7. Люминесценция квантовых точек**

1. Сергей сперва исследовал квантовые точки со средним размером 5 нм. Он наблюдал синюю линию, которая призмой отклоняется сильнее, чем красный свет. Потом - квантовые точки со средним размером 10 нм.

У Николая была обратная последовательность исследований. Но в решетке при дифракции лучей красный свет имеет максимумы дальше от центра (засветка от лампы без решетки), чем синяя линия.

2. Они оба наблюдали зависимость положения максимума ФЛ от размера наночастиц, но сделали это в разной последовательности.
3. Разрешающая способность:

$$R = \frac{630+480}{2 \cdot (630-480)} = 3,7.$$

Это невысокое значение, и экспериментаторы наверняка смогли различить эти линии. Дифракционные решетки с большим числом штрихов на единицу длины предпочтительнее, т. к. имеют более высокую разрешающую способность.



**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 8. Оптоакустические наноконтрасты**

Для диагностики различных заболеваний ученые используют метод оптоакустической томографии.

1. В чем заключается суть этого метода? **(2 балла)**

Для того, чтобы усилить сигнал, применяются также контрастные средства, как правило, это вещества с сильным поглощением (красители). Недавно корейские ученые обнаружили, что конъюгация красителей с наночастицами приводит к увеличению оптоакустического сигнала. Они поместили молекулы красителя (одинаковое количество) в поры наночастиц кремния и диоксида кремния размером 200 нм. Пористость наночастиц  $P = 30\%$ .

2. В каком случае оптоакустический сигнал будет больше? Во сколько раз? **(8 баллов)**  
 Поры наночастиц заполнены водой.

Справочные данные:

| Вещество                         | Коэффициент теплового расширения $\beta$ , $K^{-1}$ | Удельная теплоемкость $C$ , Дж/(г·К) |
|----------------------------------|---|--------------------------------------|
| Кремний Si                       | $2.6 \cdot 10^{-6}$                                 | 0.7                                  |
| Диоксид кремния SiO <sub>2</sub> | $5.6 \cdot 10^{-7}$                                 | 1.0                                  |

**Всего – 10 баллов**



**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 8. Оптоакустические наноконтрасты**

1. Суть метода заключается в регистрации ультразвукового излучения, которое возникает в результате теплового расширения объектов, нагретых посредством лазерного излучения.
2. Интенсивность сигнала определяется тремя параметрами, а именно коэффициентом теплового расширения,  $\beta$ , удельной теплоемкостью,  $C$ , и удельной мощностью нагрева,  $H$  (в Вт/м<sup>3</sup>).

$$I = \frac{\beta}{C} H. \quad (1)$$

Таким образом, все определяется коэффициентом теплового расширения,  $\beta$ , и теплоемкостью наночастиц,  $C$ , т.к. мощность нагрева одинакова ввиду одинаковости загрузки красителя.

Табличные величины:

- 1) Кремний  $\beta_{Si} = 2.6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ,  $C_{Si} = 0.7 \text{ Дж/г К}$ .
- 2) Оксид кремния  $\beta_{SiO_2} = 5.6 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ ,  $C_{SiO_2} = 1 \text{ Дж/г К}$ .

Однако присутствие воды в порах приведет к изменению эффективной теплоемкости наночастицы, т.к. часть энергии будет уходить на нагрев воды, в том время, как на тепловое расширение наночастицы присутствие воды не влияет, т.к. наночастицы и вода могут расширяться независимо друг от друга.

Оценим эффективные теплоемкости наночастиц:

$$C_{Si} = \frac{C_{Si}(1 - P)\rho_{Si} + C_W P \rho_W}{(1 - P)\rho_{Si} + P\rho_W} = \frac{0.7 \cdot 0.7 \cdot 2.32 + 4.2 \cdot 0.3 \cdot 1}{0.7 \cdot 2.32 + 0.3 \cdot 1} = 1.24 \text{ Дж/гК} \quad (2)$$

$$C_{SiO_2} = \frac{C_{SiO_2}(1 - P)\rho_{SiO_2} + C_W P \rho_W}{(1 - P)\rho_{SiO_2} + P\rho_W} = \frac{1 \cdot 0.7 \cdot 2.65 + 4.2 \cdot 0.3 \cdot 1}{0.7 \cdot 2.65 + 0.3 \cdot 1} = 1.45 \text{ Дж/гК} \quad (3)$$

Отсюда вытекает, что оптоакустический сигнал будет больше для кремниевых наночастиц в

$$\eta = \frac{\beta_{Si} C_{SiO_2}}{\beta_{SiO_2} C_{Si}} = \frac{2.6 \cdot 1.45}{5.6 \cdot 1.24} = 5.4 \text{ раза.} \quad (4)$$





**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 9. Нанопонтон из графена – нанотрубка**

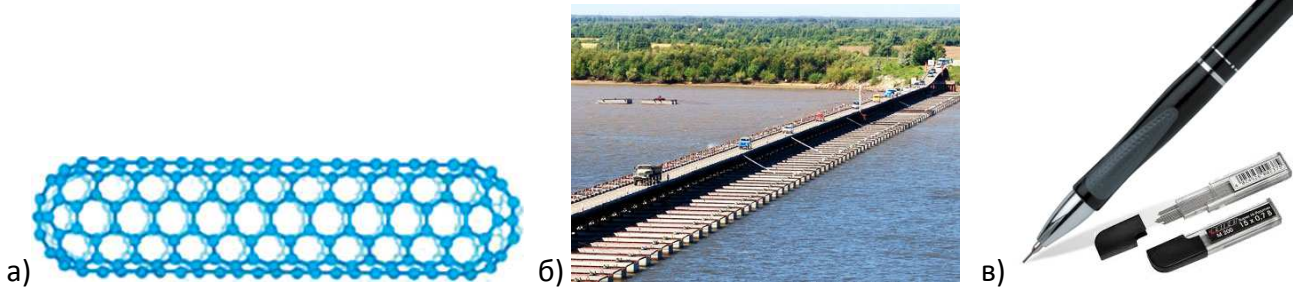


Рис. 1. а) Закрытую углеродную нанотрубку (УНТ) можно рассматривать как лист графена, свернутый в цилиндр и закрытый с торцов «шапочками». Расстояние между соседними атомами углерода в УНТ составляет 0,14 нм.  
б) Понтоном называют пустой баллон, который легче воды. Понтоны часто используют для сооружения мостов через реки. в) Механический карандаш и его грифели

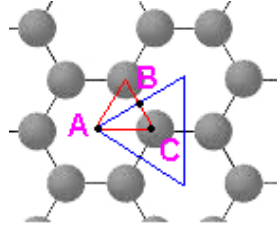
1. Оцените, начиная с какого диаметра **d** (в нанометрах) длинную пустую закрытую УНТ (Рис. 1а) можно считать нанопонтоном (Рис. 1б). **(6 баллов)**
2. Объясните, почему открытая УНТ с диаметром больше **d** тоже может быть нанопонтоном. **(2 балла)**
3. Можно ли построить уменьшенную работающую копию переправы, если вместо понтонов использовать отрезки грифеля для механического карандаша, содержащего графит (плотность  $2260 \text{ кг/м}^3$ ) (рис. 1в)? Ответ подтвердите **экспериментально** и поясните. **(2 балла)**

**Всего – 10 баллов**



**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 9. Нанопонтон из графена – нанотрубка**

1. Оценим плотность графена:



По теореме Пифагора для  $\triangle ABC$ :  $AC^2 = AB^2 + BC^2$ .

Поскольку  $AC = 2BC = a$  (где  $a = 0,14$  нм – расстояние между центрами атомов углерода), то  $AB = \sqrt{a^2 - (a/2)^2} = a\sqrt{3}/2$ .

На один атом углерода приходится площадь синего треугольника, который состоит из 6  $\triangle ABC$ . Из 2-х  $\triangle ABC$  можно сложить прямоугольник со сторонами  $a\sqrt{3}/2$  и  $a/2$ , то есть, площадью  $a^2\sqrt{3}/4$ . Значит, площадь, приходящаяся на один атом углерода равна  $3a^2\sqrt{3}/4$ .

$$\rho_{G,s} = \frac{m_C}{S_C} = \frac{12 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}}{(3\sqrt{3}a^2/4)} = \frac{1,992 \cdot 10^{-26}}{(3\sqrt{3} \cdot (0,142 \cdot 10^{-9})^2/4)} = 7,6 \cdot 10^{-7} \text{ кг/м}^3.$$

Возьмем нанотрубку длиной  $L$  с радиусом  $R$ .

Масса такой УНТ примерно равна  $m_{nt} = S\rho_{G,s} = 2\pi RL\rho_{G,s}$

Объем рассматриваемой нанотрубки составляет  $V_{nt} = \pi R^2 L$ .

Масса вытесненной нанотрубкой воды –  $m_w = V_{nt}\rho_w = \pi R^2 L\rho_w$ .

Тогда для нанопонтона, вес, которого будет равен весу вытесненной воды, получаем:

$$2\pi RL\rho_{G,s}g = \pi R^2 L\rho_w g \text{ или } 2\rho_{G,s} = R\rho_w$$

Тогда

$$R = \frac{2\rho_{G,s}}{\rho_w} = \frac{2 \cdot 7,6 \cdot 10^{-7}}{1000} \approx 1,52 \cdot 10^{-9} \text{ м (1,5 нм)}.$$

Т.е. закрытая УНТ станет легче воды, начиная с диаметра **3 нм**.

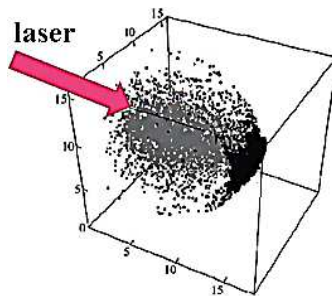
2. По условию понтон – это баллон, который легче воды. При увеличении диаметра закрытой УНТ ее плотность будет уменьшаться (т.е. она останется на плаву), но если мы «откроем» обычный понтон – внутрь попадет вода, и он утонет. Однако для нанопонтона это почему-то не происходит, т.е. можно предположить, что существует сила, препятствующая затеканию воды в открытую нанотрубку. Если жидкость смачивает поверхность капилляра, то столбик жидкости будет подниматься по нему вверх (например, как вода и стекло). Но материалы на основе графена плохо смачиваются водой (это нам косвенно демонстрирует эксперимент из п.3). Поэтому, чтобы «загнать» воду внутрь капилляра из углеродной нанотрубки, необходимо приложить дополнительное давление, тем большее, чем меньше радиус УНТ.

3. Если ничего не знать о смачиваемости материала грифеля водой, то без эксперимента ответить на этот вопрос сложно. Опытным путем можно установить (см. фотографию), что кусочки тонкого грифеля, будучи осторожно помещенными на поверхность воды, не смачиваются и остаются наплаву. Отметим, что, несмотря на то, что из грифелей можно построить переправу, по условию задачи грифель не является нанопонтоном, поскольку он тяжелее воды и тонет после погружения в воду (на фотографии один из грифелей после погружения остается лежать на дне).





**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Задача 10. Взрыв нанокластера**



Мощное ионизирующее лазерное излучение обладает способностью буквально «взрывать» частицы вещества, поэтому оно может быть использовано для получения наночастиц.

1. Поясните, почему ионизация может разрушать частицы. **(2 балла)**
2. Оцените минимальный размер нанокластеров, получающихся после фотоионизации нанокластера серебра диаметром 6 нм, если при действии лазерного импульса этот нанокластер теряет 160 электронов. Считайте, что происходит распад на одинаковые фрагменты, все кластеры находятся в жидкой фазе, поверхностное натяжение серебра составляет 1 Н/м. **(10 баллов)**

**Всего – 12 баллов**



**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 10. Взрыв нанокластера**

1. Чтобы разрушить частицу, необходимо к разным ее частям приложить противоположно направленные силы, которые совершат работу по созданию новой поверхности. При ионизации частицы приобретают электрический заряд, а возникающая при этом сила кулоновского отталкивания между одноименными зарядами и будет той силой, которая при достаточно большом заряде может совершить работу по разделению капли на фрагменты.

2. Если разделить каплю радиуса  $R$  на  $n$  равных частей, то суммарный объем капель не изменится:  $V = nV_2$  и значит  $R_2 = \frac{R}{\sqrt[3]{n}}$

Поверхностная энергия системы при этом увеличивается

$$\text{от } E_s = \sigma S = \sigma 4\pi R^2 \text{ до } E_{s2} = n\sigma 4\pi \left(\frac{R}{\sqrt[3]{n}}\right)^2$$

Энергия электрического поля системы при этом уменьшается

$$\text{от } E = \frac{q^2}{2C} = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 R} \text{ до } E_2 = n \frac{q_2^2}{8\pi\epsilon_0 R_2} = \frac{\sqrt[3]{n}}{n} \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 R}$$

Очевидно, при разделении капли обязан соблюдаться **закон сохранения энергии**, вследствие которого итоговое число фрагментов при заданном заряде капли будет ограничиваться сверху (для упрощения считаем, что капля и ее фрагменты после разделения покоятся):

$$E_s + E > E_{s2} + E_2$$

$$\sigma 4\pi R^2 + \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 R} > n\sigma 4\pi \left(\frac{R}{\sqrt[3]{n}}\right)^2 + \frac{nq^2 \sqrt[3]{n}}{n^2 8\pi\epsilon_0 R}$$

$$\frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 R} (1 - n^{-2/3}) > 4\pi R^2 \sigma (n^{1/3} - 1)$$

$$\frac{q}{e} > \frac{4\pi R^{3/2}}{e} \sqrt{2\sigma\epsilon_0 \frac{n^{1/3} - 1}{1 - n^{-2/3}}}$$

Если рассматривать деление капли, потерявшей  $q/e$  электронов на 2, 3, 4 ..  $n$  частей, то (обозначим правую часть неравенства как  $f(n)$ ) возможны 3 варианта:

- 1)  $160 < f(2)$  – заряд 160+ недостаточен даже для деления капли на 2;
- 2)  $f(n') < 160 < f(n'+1)$  – заряда хватает, чтобы разделить каплю на  $n'$  частей, но не хватит для деления на  $n'+1$  часть (где  $n'$  меньше заданного  $q/e$ );
- 3)  $160 > f(q/e)$  – заряда хватает, чтобы полностью разделить каплю на 160 частей.

Подставляя указанные в условии величины параметров и справочные константы:

$$160 > \frac{4 \cdot 3,14 \cdot (3 \cdot 10^{-9})^{3/2}}{1,60 \cdot 10^{-19}} \sqrt{2 \cdot 1,8,85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{n^{1/3} - 1}{1 - n^{-2/3}}}$$

$$160 > 54,2 \cdot \sqrt{\frac{n^{1/3} - 1}{1 - n^{-2/3}}}$$

Решать такое неравенство удобно графически либо методом перебора (можно еще догадаться искать число **n** среди делителей 160).

|            |      |      |      |      |     |              |
|------------|------|------|------|------|-----|--------------|
| <b>n</b>   | 2    | 3    | 4    | 5    | ... | 160          |
| <b>q/e</b> | 45,5 | 50,8 | 53,6 | 56,4 | ... | 116,2 (<160) |

Таким образом, мы видим, что реализуется вариант (3) – полное разделение заряда капли на 160 частей. Диаметр итоговых нанокластеров-капель составит  $D_2 = 6 / \sqrt[3]{160} \approx \underline{\underline{1,1}}$  нм.

Изначально в задаче предполагалась наночастица не диаметром, а радиусом 6 нм, которая, согласно такой же логике решения, должна делиться на 5 частей радиусом 3,5 нм.



**Биология для школьников 7 – 11 класса (очный тур)**  
**Простые задачи (вариант 1)**

**Задача 1.**

Профессор Цобель в своей лаборатории сконструировал лекарство в виде наноконструкции для адресной доставки в клетки. Одним из элементов этой конструкции был транскрипционный фактор XYZ.

А) Как вы думаете, чтобы этот фактор заработал, в какую органеллу клетки он должен попасть?

- 1) ядро
- 2) рибосому
- 3) митохондрию
- 4) аппарат Гольджи
- 5) лизосому

Объясните свой выбор. **(3 балла)**

Б) На какой стадии клеточного цикла поступление наноконструкции с транскрипционным фактором эффективно?

- 1) G1-фаза
- 2) S-фаза
- 3) G2-фаза
- 4) Препрофаза
- 5) Профаза
- 6) Прометафаза
- 7) Метафаза
- 8) Анафаза
- 9) Телофаза

Объясните свой выбор. **(2 балла)**

В) Для того, чтобы наноконструкция попала в поражённую клетку организма, необходимо, чтобы присутствующий в ее составе белок соединился с рецепторным белком на поверхности

- 1) клеточной стенки
- 2) плазмалеммы
- 3) жгутика
- 4) пили

**(1 балл)**

Г) При пероральном приеме транскрипционный фактор XYZ должен быть защищен от действия:

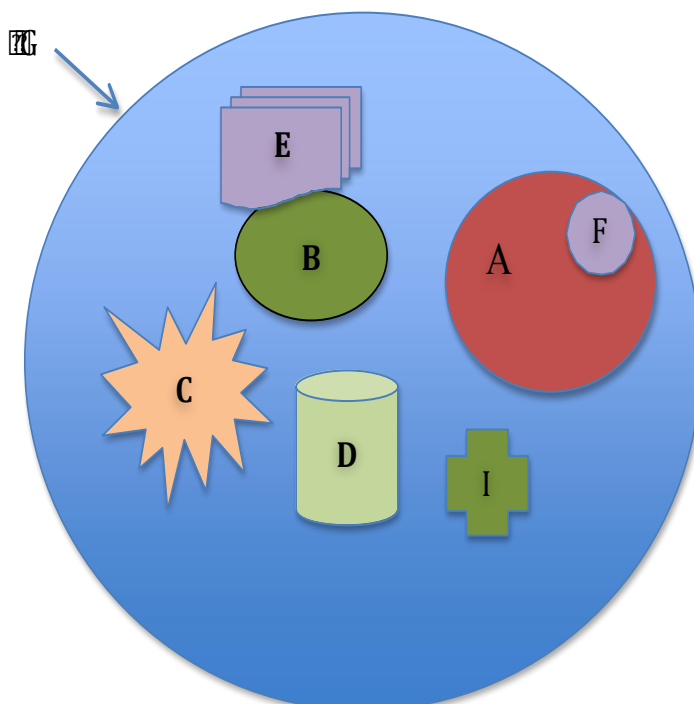
- 1) трипсина
- 2) липазы
- 3) амилазы
- 4) нуклеазы
- 5) пепсина

**(2 балла)**

**Всего – 8 баллов**

### **Задача 2.**

Молодой студент Франкенштейн изобрел наноробота, прообразом которого служила соматическая клетка. На рисунке схематично изображен этот робот. Как вы думаете, какие органеллы клетки соответствуют структурным компонентам этого робота?



- A – процессор
- B – конвейер по производству белка
- C – энергостанция
- D – конвейер по переработке отходов
- E – транспортер
- F – микропроцессор
- G – оболочка
- I – аптечка

**Всего – 8 баллов**



### Задача 3.

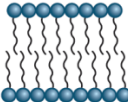
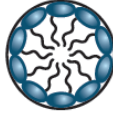
Благодаря методу Crispr-Cas9 появилась возможность отредактировать аномальные гены. Так была отредактирована мутация и появилась возможность синтеза в клетке нормального белка. Ген, отвечающий за синтез этого белка, был длиной в 861.9 нм. Длина одного нуклеотида 0.34 нм. Средняя молекулярная масса нуклеотида 345 Да. Средняя молекулярная масса аминокислотного остатка 120 Да. ДНК содержит 27% аденина.

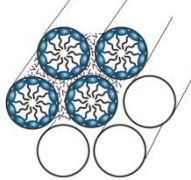
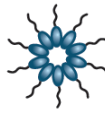
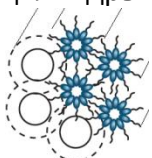
1. Какова масса этого гена? **(2 балла)**
2. Каков нуклеотидный состав этой ДНК? **(3 балла)**
3. Сколько весит белок, кодируемый этим геном? **(3 балла)**

**Всего – 8 баллов**

### Задача 4.

В состав биологических мембран входят молекулы разных типов липидов, образуя липидный бислой. Однако не каждый липид в виде чистого вещества способен образовать

бислой , иногда, при смешивании с водой, они формируют мицеллы ,

цилиндры  или вывернутые мицеллы  и вывернутые цилиндры .

1. Какие параметры липидной молекулы позволят сказать, какую фазу образует тот или иной липид при смешивании с водой? (возможно больше одного варианта ответа, ответ поясните) **(3 балла)**
  - а) молекулярная масса
  - б) площадь полярной головки
  - в) длина жирнокислотных хвостов
  - г) наличие заряда у полярной головки
  - д) наличие двойных связей в жирнокислотных хвостах
2. Какую фазу при смешивании с водой образует фосфатидилэтаноламин, если его полярная головка слабо гидратирована и имеет относительно малую площадь? Ответ поясните. **(3 балла)**
  - а) бислой
  - б) мицеллы
  - в) вывернутые цилиндры

3. В ходе каких биологических процессов клеточные мембраны способны образовывать небислойные структуры? (возможно больше одного варианта ответа, ответ поясните)  
**(2 балла)**

- а) транскрипция
- б) фагоцитоз
- в) транспорт ионов через мембрану
- г) деление клетки
- д) трансляция

**Всего – 8 баллов**

### **Задача 5.**

Известно, что существуют аллели ряда генов, ассоциированные с сахарным диабетом 1 типа, причем наличие некоторых предрасполагает вероятность заболевания диабетом I типа (т.н. предрасполагающие гены), а другие, наоборот, связаны с низким риском развития сахарного диабета 1 типа (т.н. протекторные гены).\*

Рассмотрим упрощенную задачу. В достаточно большой «идеальной» популяции присутствует аллель А предрасполагающего аутосомного гена А (имеющего две разных аллели А и а). Также в этой популяции присутствует аллель р протекторного аутосомного гена Р (имеющего две разных аллели Р и р). Данные гены не сцеплены между собой. Наличие в генотипе протекторного гена отменяет действие предрасполагающего, а вероятность заболеть при этом снижается.

Частота аллели А в популяции составляет 0.6, а частота аллели р – 0.2.

1. Рассчитайте процент индивидов в популяции, имеющих повышенную и пониженную вероятность заболеть диабетом первого типа. **(7 баллов)**
2. Какой процент индивидов в этой популяции через два поколения не будет нести А и р аллелей. **(1 балл)** Ответ дайте в процентах, округлив до десятых.

*\* Наличие в генотипе предрасполагающих генов не означает, что их носитель непременно заболеет, но вероятность этого события несколько повышена.*

**Всего – 8 баллов**



**Биология для школьников 7 – 11 класса (очный тур)**  
**Простые задачи (вариант 2)**

**Задача 1.**

Профессор Цобель в своей лаборатории сконструировал лекарство в виде наноконструкции для адресной доставки в клетки. Одним из элементов этой конструкции был транскрипционный фактор XYZ.

(А) Как вы думаете, чтобы этот фактор заработал, в какую органеллу клетки он должен попасть?

- 1) рибосому
- 2) митохондрию
- 3) лизосому
- 4) аппарат Гольджи
- 5) ядро

Объясните свой выбор. **(3 балла)**

(Б) На какой стадии интерфазы поступление наноконструкции с транскрипционным фактором эффективно?

- 1) G1-фаза
- 2) S-фаза
- 3) G2-фаза

Объясните свой выбор. **(2 балла)**

(В) Для того, чтобы наноконструкция попала в поражённую клетку организма, необходимо, чтобы присутствующий в ее составе белок соединился с рецепторным белком на поверхности

- 1) плазмалеммы
- 2) жгутика
- 3) клеточной стенки
- 4) пили
- 5) кристы

**(1 балл)**

(Г) При пероральном приеме транскрипционный фактор XYZ должен быть защищен от действия:

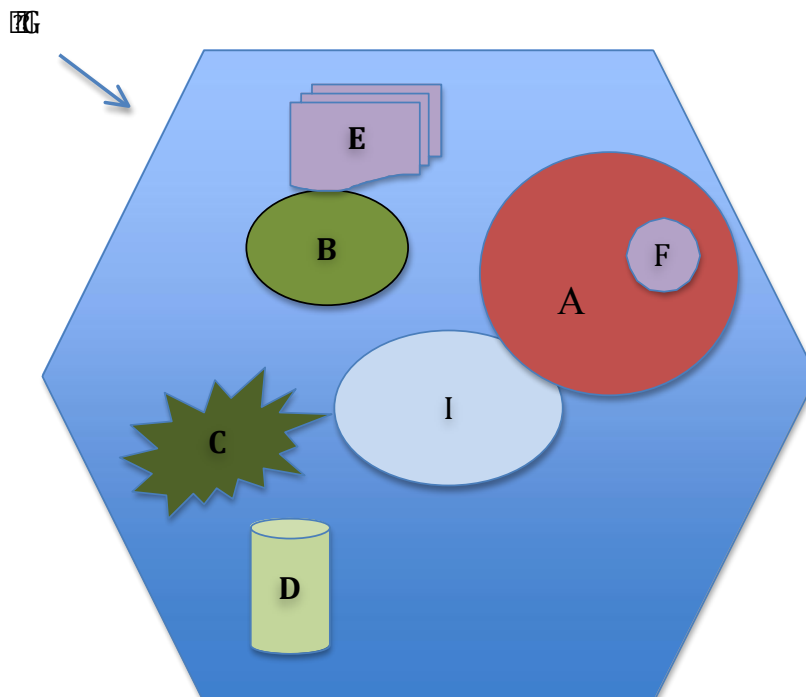
- 1) трипсина
- 2) липазы
- 3) амилазы
- 4) нуклеазы

**(2 балла)**

**Всего – 8 баллов**

### **Задача 2.**

Студент Франкенштейн сконструировал наноробота, прообразом которого послужила растительная клетка. На рисунке схематично изображен этот робот. Как вы думаете, какие органеллы клетки соответствуют структурным компонентам этого робота?



- A – процессор
- B – конвейер по производству белка
- C – солнечная батарея
- D – конвейер по переработке отходов
- E – транспортер
- F – микропроцессор
- G – оболочка
- I – водохранилище

**Всего – 8 баллов**

### Задача 3.

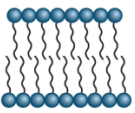

Благодаря методу Crispr-Cas9 появилась возможность отредактировать аномальные гены. Так была отредактирована мутация и появилась возможность синтеза в клетке нормального белка. Ген, отвечающий за синтез этого белка, был длиной в 572.22 нм. Длина одного нуклеотида 0.34 нм. Средняя молекулярная масса нуклеотида 345 Да. Средняя молекулярная масса аминокислотного остатка 120 Да. ДНК содержит 16% аденина.

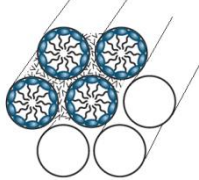
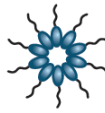
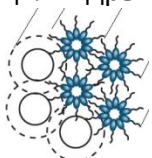
1. Какова масса этого гена? **(2 балла)**
2. Каков нуклеотидный состав этой ДНК? **(3 балла)**
3. Сколько весит белок, кодируемый этим геном? **(3 балла)**

**Всего – 8 баллов**

### Задача 4.

В состав биологических мембран входят молекулы разных типов липидов, образуя липидный бислой. Однако не каждый липид в виде чистого вещества способен образовать

бислой , иногда, при смешивании с водой, они формируют мицеллы ,

цилиндры  или вывернутые мицеллы  и вывернутые цилиндры .

1. Какие параметры липидной молекулы позволят сказать, какую фазу образует тот или иной липид при смешивании с водой? (возможно больше одного варианта ответа, ответ поясните) **(3 балла)**
  - а) наличие двойных связей в жирнокислотных хвостах
  - б) площадь полярной головки
  - в) наличие заряда у полярной головки
  - г) длина жирнокислотных хвостов
  - д) молекулярная масса
2. Какую фазу при смешивании с водой образует лизофосфатидилхолин, если у него вместо двух жирнокислотных хвостов, как в большинстве молекул фосфолипидов, имеется только один, и гидрофобная часть молекулы имеет, соответственно, меньший объем? Ответ поясните. **(3 балла)**
  - г) бислой
  - д) мицеллы
  - е) вывернутые цилиндры

3. В ходе каких биологических процессов клеточные мембраны способны образовывать небислойные структуры? (возможно больше одного варианта ответа, ответ поясните)  
**(2 балла)**

- а) гликолиз
- б) клеточное дыхание
- в) апоптоз
- г) фотосинтез
- д) экзоцитоз

**Всего – 8 баллов**

### **Задача 5.**

Известно, что существуют аллели ряда генов, ассоциированные с сахарным диабетом 1 типа, причем наличие некоторых предрасполагает вероятность заболевания диабетом I типа (т.н. предрасполагающие гены), а другие, наоборот, связаны с низким риском развития сахарного диабета 1 типа (т.н. протекторные гены).\*

Рассмотрим упрощенную задачу. В достаточно большой «идеальной» популяции присутствует аллель А предрасполагающего аутосомного гена А (имеющего две разных аллели А и а). Также в этой популяции присутствует аллель р протекторного аутосомного гена Р (имеющего две разных аллели Р и р). Данные гены не сцеплены между собой. Наличие в генотипе протекторного гена отменяет действие предрасполагающего, а вероятность заболеть при этом снижается.

Частота аллели А в популяции составляет 0.3, а частота аллели р – 0.3.

1. Рассчитайте процент индивидов в популяции, имеющих повышенную и пониженную вероятность заболеть диабетом первого типа. **(7 баллов)**
2. Какой процент индивидов в этой популяции через два поколения не будет нести А и р аллелей? **(1 балл)** Ответ дайте в процентах, округлив до десятых.

*\* Наличие в генотипе предрасполагающих генов не означает, что их носитель непременно заболеет, но вероятность этого события несколько повышена.*

**Всего – 8 баллов**



## Биология для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Более сложные задачи

### Задача 6.

В степи была обнаружена популяция грызунов, устойчивых к действию радиации. Когда их перевезли в институт, то выяснилось, что генетически они не отличаются от своих городских сородичей. Через три дня после того, как их привезли в город, в опытах с облучением было обнаружено, что их резистентность к радиации исчезла.

1. Как вы думаете, что могло быть причиной исчезновения радиорезистентности? Как это можно проверить? **(5 баллов)**

В радиобиологии был открыт так называемый кислородный эффект – свойство молекулярного кислорода, присутствующего в клетках и тканях, усиливать биологическое действие ионизирующих излучений. Таким образом, снижая в тканях содержание кислорода, можно повысить радиорезистентность. Студент Деев решил повторить эксперименты по увеличению радиорезистентности, для чего содержал грызунов в гипоксических условиях. Затем животных забирали из камеры и облучали на разных рентгеновских установках. В одной установке мощность дозы облучения составляла 6 Гр/мин, животных облучали в течение 1 минуты. На другой установке мощность дозы облучения была 0.2 Гр/мин, животных облучали 30 минут.

2. В обоих случаях поглощенная доза облучения составляла 6 Гр. Однако защитный эффект гипоксии наблюдался только у животных облученных на одной из установок. Как вы думаете, на какой и с чем это может быть связано? **(5 баллов)**

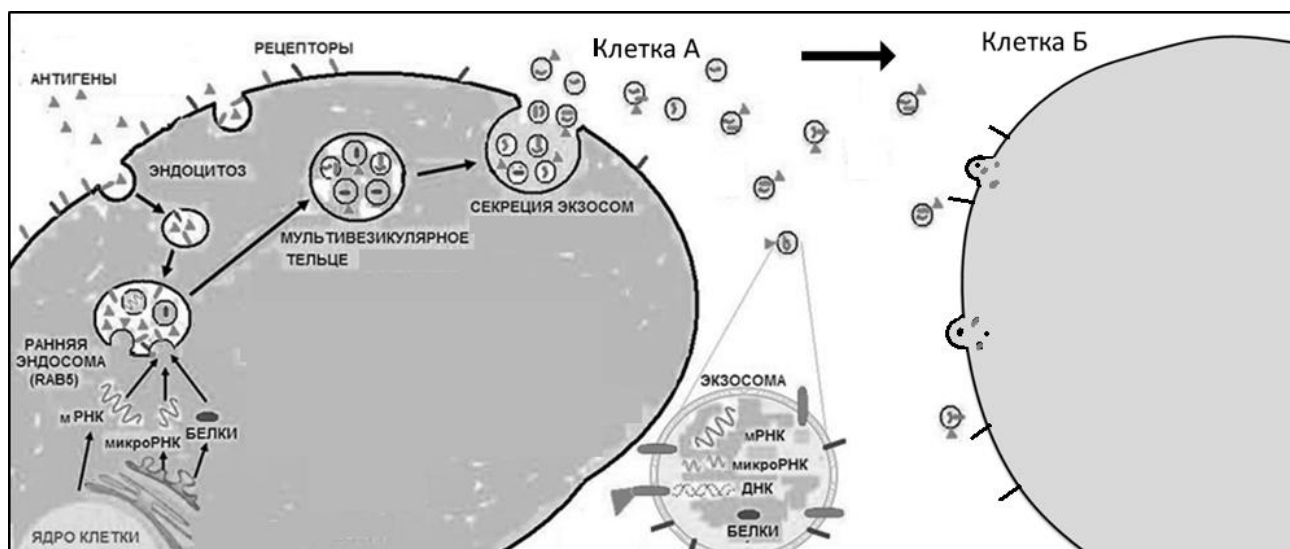
Радиобиологи обнаружили, что в группе грызунов, которым предварительно перед облучением ввели наночастицы диоксида церия  $\text{CeO}_2$ , и облучили в дозе 7 Гр, выжило 60%, тогда как в контрольной группе после облучения погибли все животные.

3. Как вы считаете, что лежит в основе радиопротекторных свойств наночастиц диоксида церия, если известно, что при уменьшении размеров диоксида церия эффективная степень окисления его снижается и в при поверхностном слое появляется  $\text{Ce}^{3+}$ ? **(10 баллов)**

**Всего – 20 баллов**

### Задача 7.

В многоклеточном организме очень важно межклеточное взаимодействие, обеспечивающее правильное функционирование тканей и органов. Сигналы могут передаваться с помощью гормонов, цитокинов, факторов роста, метаболитов, ионов и т.д. Недавно выяснилось, что существует способ передачи информации между клетками с помощью маленьких внеклеточных пузырьков, выделяемых клетками в окружающую среду. Эти пузырьки могут разноситься с током крови в разные участки организма или путешествовать в межклеточном пространстве. Один из видов таких пузырьков – экзосомы. Экзосомы имеют размеры от 40 до 100 нм.



Образуются они внутри клетки – отпочковываются от плазматической мембраны или мембраны комплекса Гольджи и попадают в полость, называемую эндосомой. В экзосомы могут попадать и внутриклеточные молекулы: ДНК, РНК, белки (точный механизм этого процесса пока изучен слабо). Когда в эндосоме накапливается достаточно много экзосом, то она становится мультивезикулярным тельцем и сливается с плазматической мембраной клетки, при этом множество экзосом выталкивается наружу, во внеклеточную среду. Таким образом, из клетки выводятся сигнальные молекулы, упакованные в мембранные пузырьки.

1. Чтобы эндосома превратилась в мультивезикулярное тельце и секретировала экзосомы, на ней должны быть специфические рецепторы. Как Вы думаете, что с ней произойдет, если этих рецепторов не будет? **(2 балла)**
2. Какие два типа регуляции обычно выделяют в организме животных? **(1 балл)** К какому из них относятся экзосомы? **(2 балла)**
3. Приведите примеры двух любых гормонов. Каковы их функции? **(3 балла)**

Допустим, у нас есть клеточная культура А и клеточная культура Б. При культивировании по отдельности ничего не происходит. Однако при сокультивировании клеток вместе (причем клетки не соприкасаются физически) клетки А оказывают на клетки Б некоторый биологический эффект. Перед Вами стоит задача разобраться в механизме влияния клетки А на клетку Б – исследовать межклеточное взаимодействие. У Вас в наличии:

- 1) все для работы с клетками в стерильных условиях;
- 2) флуоресцентный микроскоп высокого разрешения;
- 3) ингибитор транскрипции;
- 4) ингибитор трансляции;
- 5) ингибитор формирования и секреции экзосом;
- 6) фильтр с порами 40 нм, с помощью которого можно ограничить клетки А от клеток Б;
- 7) два флуоресцентных красителя разного цвета, которыми можно прижизненно окрашивать все липиды в одной клетке.

Вам необходимо:



Доказать как минимум двумя способами, что межклеточное взаимодействие между клеткой А и Б осуществляется с помощью экзосом, а не низкомолекулярных соединений; **(по 4 балла за способ, максимум 8)**

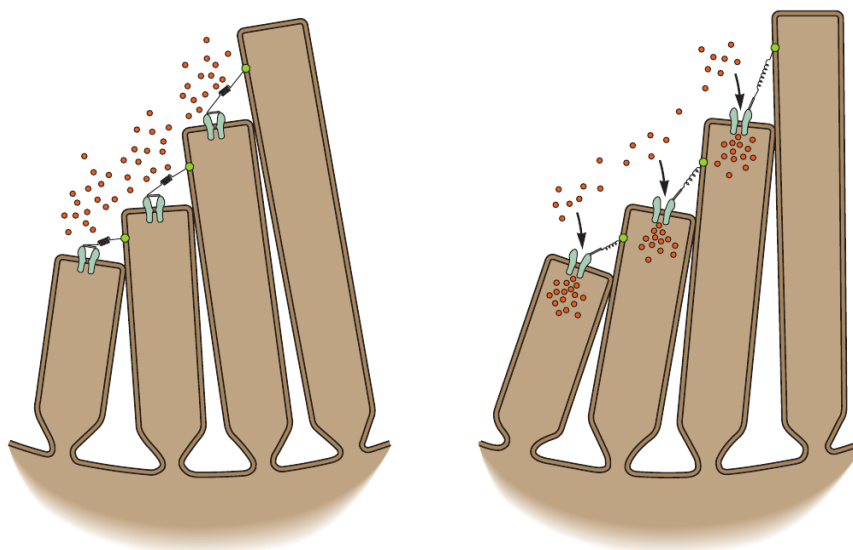
4.1. Выявить, какие молекулы клетки А внутри экзосомы будут (или не будут) являться действующим веществом, определяющим физиологический ответ клетки Б. **(4 балла)**

В ответе напишите, какие вещества и материалы из имеющихся в наличии Вы будете использовать на каждом этапе исследования, как поставите эксперимент. Опишите все возможные способы доказать то или иное положение. Если Вы считаете, что у Вас недостаточно материалов для доказательства какого-либо из положений, опишите, почему. При желании можете предложить свои методы.

**Всего – 20 баллов**

### **Задача 8.**

Мы воспринимаем звук благодаря движению жидкости в улитке уха, которое заставляет смещаться волоски (стереоцилии) на специализированных волосковых клетках внутреннего уха. Каждая стереоцилия имеет диаметр около 0.4 мкм, причем на поверхности волосковой клетки они расположены ориентированными группами, в которых каждая следующая стереоцилия выше предыдущей. Соседние стереоцилии соединены между собой “воротными пружинками” — белковыми нитями около 3 нм в толщину, одним концом они прикреплены к механочувствительным каналам на вершине стереоцилий, другим концом — к верхней части соседней стереоцилии. (см. рисунок)



Превращение механического движения стереоцилий в электрические сигналы волосковой клетки происходит следующим образом. Вероятность открывания механочувствительных каналов на вершине стереоцилий определяется натяжением “пружинки”. Смещение стереоцилий на схеме вправо (стрелка) приведет к натяжению “пружинок” и увеличению вероятности открывания механочувствительных каналов. Эти каналы проницаемы для катионов, и при их открывании внутрь стереоцилии входят, прежде всего, ионы  $K^+$  и  $Ca^{2+}$ .

1. Как изменится мембранный потенциал волосковой клетки при смещении стереоцилий на схеме вправо? **(1 балл)** При смещении влево? **(1 балл)**

Длительное смещение пучка волосков в одном и том же направлении приводит к адаптации: вероятность открывания механочувствительных каналов возвращается к базовому уровню, в то время как чувствительность к небольшим *отклонениям* в положении стереоцилий от нового положения сохраняется. Один из общепринятых механизмов адаптации заключается в следующем: место закоривания верхнего конца “пружинки” связано с миозином С, который, скользя по актиновым филаментам внутри стереоцилии может перемещать место закрепления вверх или вниз. Способность этой формы миозина к взаимодействию с актином регулируется белком кальмодулином.

2. Зачем вообще нужна адаптация для нормальной работы волосковых клеток? **(3 балла)**
3. Опишите последовательность событий из приведенного ниже списка, если волоски надолго сместили вправо. [Натяжение “пружинки”, изменение вероятности открывания/закрывания каналов, вход ионов  $Ca^{2+}$ , связывание  $Ca^{2+}$  с кальмодулином, взаимодействие кальмодулина с миозином, движение миозина вверх/вниз относительно стереоцилии.] **(5 баллов)**
4. Опишите последовательность событий из приведенного выше списка, если волоски надолго сместили влево. **(5 баллов)**
5. Предложите эксперименты, которые бы помогли Вам проверить данный гипотетический механизм адаптации. **(5 баллов)**

**Всего – 20 баллов**



**Биология для школьников 7 – 11 класса (очный тур)  
Решения. Простые задачи (вариант 1)**

**Решение задачи 1.**

А) 1) ядро и 3) митохондрия, так как транскрипционный фактор – это белок, регулирующий синтез мРНК на ДНК.

Б) 1) фаза G1 – именно в этой фазе происходит синтез белка.

В) Рецепторные белки являются трансмембранными белками и располагаются в 2) плазмолемме.

Г) Так как транскрипционный фактор это белок – то он расщепляется под воздействием 1) трипсина и 5) пепсина, именно от них он должен быть защищен.

**Решение задачи 2.**

А – ядро

В – шероховатый эндоплазматический ретикулум с рибосомами

С – митохондрия

Д – лизосома

Е – аппарат Гольджи

F – микроядрышко

G – плазмалемма

I – пероксисома

*(по 1 баллу за каждый правильный ответ)*

**Решение задачи 3.**

1. Масса гена = N нуклеотидов в одной нити X 2 (количество цепей) X массу нуклеотида =  $861,9/0,34 \times 2 \times 345 = 1749150$ .

2. Состав: 27% аденина, 27% тимина, 23% цитозина и 23% гуанина.

3. Масса белка: N нуклеотидов/ 3 x 120 =  $(861,9/0,34)/3 \times 120 = 101400$ .

**Решение задачи 4.**

1. б) и в) Образование пустого пространства внутри мицеллы или бислоя энергетически не выгодно, если полярная головка занимает большую площадь по сравнению с гидрофобной частью молекулы, то молекулы собираются в структуры, где отношение площади поверхности к внутреннему объему максимально. Наличие заряда у полярной головки (г) – засчитывается, если объяснено, что это может влиять на ее площадь.

2. в)

3. б) и г)

### Решение задачи 5.

Данная задача относится к разделу популяционной генетики. У нас присутствуют два несцепленных признака с известной частотой встречаемости аллелей. Известно, что гены имеют только по две аллели, поэтому можно рассчитать частоту аллелей  $a$  и  $P$  в популяциях как  $a=1-A$ , а  $P=1-p$ , соответственно. Далее составляем решетку Пеннета для двух признаков:

|       |     |    |      |      |      |      |     |       |       |        |      |
|-------|-----|----|------|------|------|------|-----|-------|-------|--------|------|
|       |     |    | AP   | Ap   | aP   | ap   |     | 0,48  | 0,12  | 0,32   | 0,08 |
| A=    | 0,6 | AP | AAPP | AAPp | AaPP | AaPp | 0,5 | 0,23  | 0,058 | 0,1536 | 0,04 |
| p=    | 0,2 | Ap | AAPp | AApp | AaPp | Aapp | 0,1 | 0,058 | 0,014 | 0,0384 | 0,01 |
| a=1-A | 0,4 | aP | AaPP | AaPp | aaPP | aaPp | 0,3 | 0,154 | 0,038 | 0,1024 | 0,03 |
| P=1-p | 0,8 | ap | AaPp | Aapp | aaPp | aapp | 0,1 | 0,038 | 0,01  | 0,0256 | 0,01 |

Ответ                      53,8                      36                      10,2

Частота встречаемости этих генотипов будет равна произведению соответствующих частот аллелей. Так для генотипа частота встречаемости в популяции генотипа AaPp будет равна произведению: (частота аллели A)х(частота аллели a)х(частота аллели P)х(частота аллели p). Те генотипы у которых присутствует аллель A и отсутствует аллель p будут иметь повышенную вероятность заболевания диабетом первого типа, а имеющие в своем генотипе аллель p – пониженную. Для оценки доли индивидов, имеющих повышенную (пониженную) вероятность заболевания необходимо сложить генотипы обладающие повышенной вероятностью заболевания (выделены темно серым цветом в Таблице) или, соответственно, пониженную (окрашены в таблице в светло-серый цвет). Белым цветом в Таблице представлены генотипы, у которых нет A и p аллелей. Поскольку это идеальная популяция, то согласно закону Харди-Вайнберга частоты генотипов не должны меняться.

1. Таким образом, в популяции:  
 вероятность заболевания повышена у 53,8 %  
 вероятность заболевания понижена у 36,0%
2. Через два поколения процент популяции не несущий A и p аллелей будет составлять 10,2%.

*Если правильно посчитаны частоты аллелей a и P +2 балла, правильно написана решетка Пеннета (или предусмотрена альтернативный правильный алгоритм решения) +3 балла. Правильно посчитаны проценты +1 балл. Правильно дан ответ на вопрос о процентном составе через два поколения +1 балл.*



**Биология для школьников 7 – 11 класса (очный тур)**  
**Решения. Простые задачи (вариант 2)**

**Решение задачи 1.**

А) 5) ядро и 2) митохондрия, так как транскрипционный фактор – это белок, регулирующий синтез мРНК на ДНК.

Б) 1) фаза G1 – именно в этой фазе происходит синтез белка.

В) Рецепторные белки являются трансмембранными белками и располагаются в 1) плазмолемме.

Г) Так как транскрипционный фактор это белок – то он расщепляется под воздействием 1) трипсина и 5) пепсина, именно от них он должен быть защищен.

**Решение задачи 2.**

А – ядро

В – шероховатый эндоплазматический ретикулум с рибосомами

С – хлоропласт

Д – лизосома

Е – аппарат Гольджи

Ф – микроядрышко

Г – клеточная стенка

І – вакуоль

*(по 1 баллу за каждый правильный ответ)*

**Решение задачи 3.**

1. Масса гена = N нуклеотидов в одной нити X 2 X массу нуклеотида =  
 $572,22/0,34 \times 2 \times 345 = 1161270$ .

2. Состав: 16% аденина, 16% тимина, 34% цитозина и 34% гуанина.

3. Масса белка: N нуклеотидов/ 3 x 120 =  $(572,22/0,34)/3 \times 120 = 67320$ .

**Решение задачи 4.**

1. б) и г) Образование пустого пространства внутри мицеллы или бислоя энергетически не выгодно, если полярная головка занимает большую площадь по сравнению с гидрофобной частью молекулы, то молекулы собираются в структуры, где отношение площади поверхности к внутреннему объему максимально. Наличие заряда у полярной головки (в) – засчитывается, если объяснено, что это может влиять на ее площадь.

2. б)

3. в) и д) (если объяснено, что апоптоз сопровождается везикуляцией)

### Решение задачи 5.

Данная задача относится к разделу популяционной генетики. У нас присутствуют два несцепленных признака с известной частотой встречаемости аллелей. Известно, что гены имеют только по две аллели, поэтому можно рассчитать частоту аллелей  $a$  и  $P$  в популяциях как  $a=1-A$ , а  $P=1-p$ , соответственно. Далее составляем решетку Пеннета для двух признаков:

|       |     |       |      |      |      |      |     |       |       |        |      |
|-------|-----|-------|------|------|------|------|-----|-------|-------|--------|------|
|       |     |       | AP   | Ap   | aP   | ap   |     | 0,21  | 0,09  | 0,49   | 0,21 |
| A=    | 0,3 | AP    | AAPP | AAPp | AaPP | AaPp | 0,2 | 0,044 | 0,019 | 0,1029 | 0,04 |
| p=    | 0,3 | Ap    | AAPp | AApp | AaPp | Aapp | 0,1 | 0,019 | 0,008 | 0,0441 | 0,02 |
| a=1-A | 0,7 | aP    | AaPP | AaPp | aaPP | aaPp | 0,5 | 0,103 | 0,044 | 0,2401 | 0,1  |
| P=1-p | 0,7 | ap    | AaPp | Aapp | aaPp | aapp | 0,2 | 0,044 | 0,019 | 0,1029 | 0,04 |
|       |     | Ответ |      |      |      |      |     | 25    | 51    |        | 24   |

Частота встречаемости этих генотипов будет равна произведению соответствующих частот аллелей. Так для генотипа частота встречаемости в популяции генотипа AaPp будет равна произведению: (частота аллели A)x(частота аллели a)x(частота аллели P)x(частота аллели p). Те генотипы у которых присутствует аллель A и отсутствует аллель p будут иметь повышенную вероятность заболевания диабетом первого типа, а имеющие в своем генотипе аллель p – пониженную. Для оценки доли индивидов, имеющих повышенную (пониженную) вероятность заболевания необходимо сложить генотипы обладающие повышенной вероятностью заболевания (выделены темно серым цветом в Таблице) или, соответственно, пониженную (окрашены в таблице в светло-серый цвет). Белым цветом в Таблице представлены генотипы, у которых нет A и p аллелей. Поскольку это идеальная популяция, то согласно закону Харди-Вайнберга частоты генотипов не должны меняться.

1. Таким образом, в популяции:  
 вероятность заболевания повышена у 25,0 %  
 вероятность заболевания понижена у 51,0%
2. Через два поколения процент популяции не несущий A и p аллелей будет составлять 24,0%.

*Если правильно посчитаны частоты аллелей a и P +2 балла, правильно написана решетка Пеннета (или предусмотрена альтернативный правильный алгоритм решения) +3 балла. Правильно посчитаны проценты +1 балл. Правильно дан ответ на вопрос о процентном составе через два поколения +1 балл.*

### **Решение задачи 6.**

1. Причиной изменения радиорезистентности может быть изменения рациона этих грызунов. По-видимому, в степи они с пищей или с питьем получали вещества увеличивающие их устойчивость к облучению. Для изучения какие именно продукты могли приводить к увеличению резистентности ученым следует изучить рацион грызунов в степи. Последовательно вводя в рацион эти продукты можно определить, какие из них приводят к увеличению резистентности.
2. В группе которая была облучена на установке с мощностью дозы 0,2 Гр/мин эффект гипоксии переставал действовать, так как ткани животных за время облучения уже полностью оксигенировались.
3. Известно, что при облучении образуются различные активные формы кислорода, которые токсичны для организма. Диоксид церия  $\text{CeO}_2$  — неорганический материал, который широко применяют в сенсорах, электрохромных и противокоррозионных покрытиях. Наночастицы  $\text{CeO}_2$  обладают особыми свойствами, обусловленными кислородной нестехиометрией поверхностного слоя. Эффективная степень окисления церия снижается, можно говорить о появлении в приповерхностном слое  $\text{Ce}^{3+}$ . Благодаря одновременному присутствию  $\text{Ce}^{3+}$  и  $\text{Ce}^{4+}$  наночастицы легко вступают в циклические окислительно-восстановительные реакции. Они могут обратимо связывать кислород и снижать активность свободных радикалов. Было показано, что наночастицы  $\text{CeO}_2$  в определенных условиях действуют как природные ферменты супероксиддисмутаза и каталаза.

### **Решение задачи 7.**

1. Экзосома не высвободится / эндосома сольется с лизосомой, и содержимое переварится.
  2. Гуморальная и нервная. Экзосомы можно отнести к гуморальной регуляции.
  3. Например, инсулин (снижает уровень глюкозы в крови) и глюкагон (повышает его).
- 4.1. 3 способа:
- а) Использовать фильтр. Отделить клетки фильтром – через него не пройдут экзосомы, но пройдут низкомолекулярные вещества. Если эффекты, оказываемые на клетку Б, исчезнут, то межклеточное взаимодействие осуществляется с помощью экзосом.
  - б) Использовать ингибитор формирования и секреции экзосом и проверить, сохранился ли эффект на клетку Б.
  - в) Использовать мембранный краситель. Одну клетку окрасить в один цвет, другую – в другой. При слиянии экзосом клетки А с плазматической мембраной клетки Б на мембране клетки Б будут видны участки другого цвета.



#### 4.2. Для ответа на этот вопрос надо знать, что такое транскрипция и трансляция.

Для начала можно попробовать заблокировать трансляцию (синтез белка). Если при этом не нарушится формирование экзосом, но воздействие на клетку Б пропадет, то действующее вещество – белок. Если эффект все равно будет наблюдаться, то действующее вещество – не белок. Если при ингибировании транскрипции (синтеза РНК) эффект пропадет, то действующее вещество – РНК. Однако при ингибировании транскрипции трансляция тоже частично остановится, поэтому здесь могут понадобиться дополнительные методы исследования.

### Решение задачи 8.

1. В состоянии покоя внутренняя поверхность мембраны заряжена отрицательно относительно наружной, и каналы на кончике стереоцилий находятся, в основном, в закрытом состоянии. Однако вероятность их нахождения в открытом состоянии ненулевая, и наблюдается небольшой постоянный приток положительных ионов внутрь клетки (деполяризующий ток), который скомпенсирован другими, гиперполяризующими, токами. Смещение стереоцилий вправо приведет к увеличению вероятности открывания каналов, что увеличит входящий (деполяризующий) ток, и мембрана клетки деполяризуется. Смещение стереоцилий влево приведет к еще большему уменьшению вероятности нахождения каналов в открытом состоянии, и выходящий (гиперполяризующий) ток станет больше входящего. Мембрана будет гиперполяризована. (Деполяризация мембраны – уменьшение разности потенциалов между внутренней и внешней сторонами мембраны, а гиперполяризация – увеличение разности потенциалов).
2. В ходе развития, волосковые клетки не могут сформировать стереоцилии идеально, т. е. Таким образом, чтобы в обеспечить постоянный мембранный потенциал и высокую чувствительность к переменным стимулам. Т. о., необходим механизм, позволяющий скомпенсировать нерегулярности развития и медленно меняющиеся условия окружающей среды.
3. Если стереоцилии надолго сместить вправо, то увеличится натяжение пружинок, что приведет к увеличению вероятности открывания каналов, возрастанию внутриклеточной концентрации кальция, связыванию кальция с кальмодулином, освобождению миозина 1с от одной молекулы кальмодулина и ослаблению связи миозина с нитями актина; последнее приведет к «проскальзыванию» миозина по нитям и смещению комплекса прикрепления пружинки вниз относительно стереоцилии, ослабляя натяжение пружинки, уменьшая вероятность открывания каналов и уменьшая вход кальция в клетку.
4. Длительное смещение стереоцилий влево приведет к ослаблению пружинки, уменьшению вероятности нахождения каналов в открытом состоянии, понижению внутриклеточной концентрации кальция, уменьшению связывания кальция с кальмодулином, соединению кальмодулина с миозином, улучшая его взаимодействие с актином и движение места прикрепления пружинки вверх, увеличивая ее натяжение и, как следствие, открывание кальциевых каналов и увеличение входа кальция в клетку.



В предыдущих двух пунктах в первую очередь учитывалось понимание причинно-следственных связей, а также, в какую сторону нужно сдвинуть место прикрепления пружинки в каждом из двух случаев и понимание, что для ослабления натяжения пружинки нужно, чтобы миозин хуже взаимодействовал с актином, а для донатяжения (наклон влево), чтобы взаимодействие миозина с актином улучшалось.

5. Принимались любые (обоснованные) ответы, которые были направлены на проверку не факта наличия адаптации, а на проверку предложенного механизма. В частности, можно проверить:
- действительно ли зависит адаптация мембранного потенциала от входа  $\text{Ca}^{2+}$ , проверив, останется ли она при удалении экстраклеточного кальция.
  - можно ли вызвать сдвиг места прикрепления пружинки либо экспериментально высвободив свободный  $\text{Ca}^{2+}$  в цитоплазму клетки, либо наоборот, связав внутриклеточный  $\text{Ca}^{2+}$  хелаторами?
  - действительно ли при адаптации увеличивается концентрация ионов  $\text{Ca}^{2+}$  с той же скоростью, что и развитие адаптации? Например, используя  $\text{Ca}^{2+}$ -чувствительные флуоресцентные зонды.
  - сравнить характерные времена развития адаптации и взаимодействия кальмодулина с миозином и конформационных превращений миозина
  - заменить нормальный миозин 1с мутантной формой или как-то иначе его инактивировав, проверить, останется ли адаптация. То же и с кальмодулином
  - проверить, действительно ли при адаптации происходит ассоциация или диссоциация миозина с кальмодулином и меняется ли степень связанности миозина с актином. Для этого можно использовать методы, основанные на безызлучательном переносе энергии между двумя флуорофорами (FRET).

### Задача 1. Растворы белка

1. Массовая доля некоторого белка в растворе составляет 18 %. Рассчитайте минимальное расстояние  $L$  (в нм) между центрами молекул белка, если масса  $6 \cdot 10^{23}$  молекул белка составляет 78732 г. **(6 баллов)**
2. Во сколько раз необходимо разбавить такой раствор, чтобы  $L$  увеличилось в 4 раза? **(2 балла)**

Считайте, что молекулы белка распределены в растворе равномерно так, что каждая из них имеет 6 равноудаленных ближайших соседей; плотность растворов составляет  $1 \text{ г/см}^3$ .

**Всего – 8 баллов**

### Задача 2. Дополнительная пара

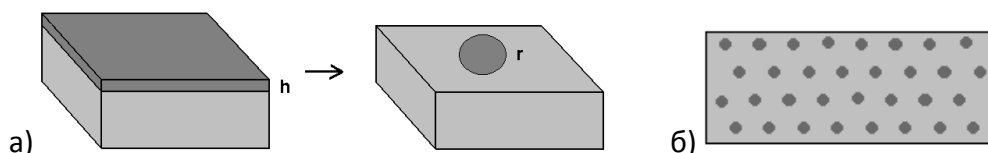
Наследственную информацию в двойной спирали молекул ДНК можно рассматривать как строчку текста, записанную всего четырьмя буквами – **A, G, T, C**. Недавно ученым удалось создать полусинтетический организм – кишечную палочку, в ДНК которой помимо четырех стандартных присутствует еще пара нестандартных нуклеотидных «букв» – **X** и **Y**. Такие организмы могут хранить и передавать потомству дополнительное количество информации, которая в будущем может быть использована для создания внутри клеток уникальных нанофабрик и управления ими.

1. Найдите, сколько однобитных ячеек памяти в компьютере потребуется, чтобы закодировать в цифровом виде последовательность из 6 нуклеотидов для а) обычного и б) полусинтетического организмов. **(4 балла)**
2. Сколько разных последовательностей нуклеотидов можно получить, меняя любые два нуклеотида в последовательности из 26 стандартных нуклеотидов на **X** и **Y** в произвольном сочетании? **(4 балла)**

**Всего – 8 баллов**

### Задача 3. Нанокластеры из пленки

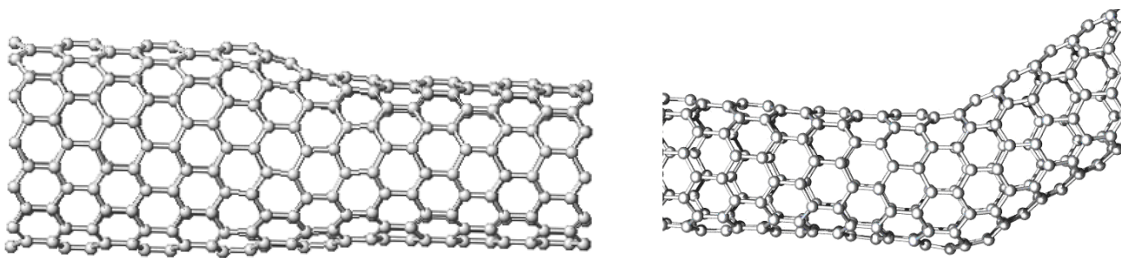
Напыленная на подложку тонкая нанопленка золота при нагревании плавится и распадается на капли, которые при последующем охлаждении застывают в виде сферических нанокластеров.



1. Сколько капель образуется на квадратной подложке размером 100 мкм, если на  $1 \text{ нм}^2$  приходится  $2.5 \cdot 10^{-4}$  капель? **(2 балла)**
2. Каково расстояние между центрами кластеров **L**, если они расположены друг относительно друга как на рис 1б. **(3 балла)**
3. Найдите радиус полученных кластеров **r** (нм), если толщина исходной пленки равна 27 нм. **(3 балла)**

**Всего – 8 баллов**

#### **Задача 4. Нанопереходник**



Нанопереходник между двумя углеродными нанотрубками содержит дефекты, число и расположение которых определяет его геометрию (см. примеры на рисунке).

1. Докажите, что в нанопереходнике не могут находиться дефекты только одного типа. **(4 балла)**
2. Какое минимальное число пяти- и семиугольных дефектов содержится в некотором нанопереходнике, если известно, что он содержит не менее 5 пятиугольников и 8 семиугольников? **(4 балла)**

*Подсказка.* Углеродные нанотрубки (УНТ) представляют собой свернутые в трубку сетки шестиугольников. В любой вершине как УНТ, так и нанопереходников сходятся по 3 ребра. Для простоты можно считать, что торцы УНТ закрыты шапочками, состоящими из пяти- и шестиугольников, а из дефектов нанопереходник может содержать только пяти- и/или семиугольники.

**Всего – 8 баллов**

## Задача 5. Половинки от фуллерена

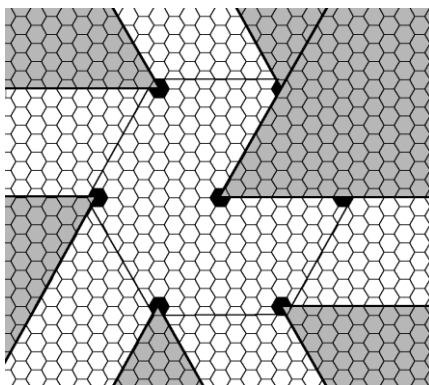


Рис. 1. Выкройка. а) На листе графена удаляются  $60^\circ$  сектора – получается закрытая с одного торца нанотрубка. б) Затем по тонкой линии отрезается шапочка, из двух таких шапочек склеиванием по линии разреза получается фуллерен  $C_x$ .

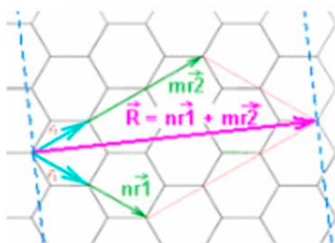


Рис. 2. Для получения нанотрубки с индексами хиральности  $(n, m)$  графеновую плоскость надо разрезать по пунктирным линиям и свернуть вдоль направления вектора  $R$ .

В этом примере  $n = 2$ ,  $m = 3$ .

Различают следующие типы нанотрубок:

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

1. Найдите индексы  $(n, m)$  хиральности полученной в 1а) нанотрубки. К какому типу она относится? (4 балла)
2. Чему равно  $x$  для полученного в 1б) фуллерена  $C_x$ ? (4 балла)

Всего – 8 баллов



**Математика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)**  
**Простые задачи (вариант 4)**

**Задача 1. Растворы белка**

1. Массовая доля некоторого белка в растворе составляет 17 %. Рассчитайте минимальное расстояние  $L$  (в нм) между центрами молекул белка, если масса  $6 \cdot 10^{23}$  молекул белка составляет 52224 г. **(6 баллов)**
2. Во сколько раз необходимо разбавить такой раствор, чтобы  $L$  увеличилось в 5 раз? **(2 балла)**

Считайте, что молекулы белка распределены в растворе равномерно так, что каждая из них имеет 6 равноудаленных ближайших соседей; плотность растворов составляет  $1 \text{ г/см}^3$ .

**Всего – 8 баллов**

**Задача 2. Дополнительная пара**

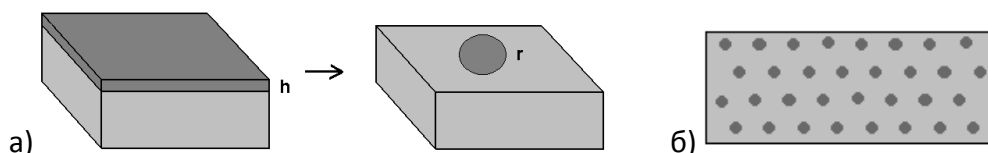
Наследственную информацию в двойной спирали молекул ДНК можно рассматривать как строчку текста, записанную всего четырьмя буквами – **A, G, T, C**. Недавно ученым удалось создать полусинтетический организм – кишечную палочку, в ДНК которой помимо четырех стандартных присутствует еще пара нестандартных нуклеотидных «букв» – **X** и **Y**. Такие организмы могут хранить и передавать потомству дополнительное количество информации, которая в будущем может быть использована для создания внутри клеток уникальных нанофабрик и управления ими.

1. Найдите, сколько однобитных ячеек памяти в компьютере потребуется, чтобы закодировать в цифровом виде последовательность из 7 нуклеотидов для а) обычного и б) полусинтетического организмов. **(4 балла)**
2. Сколько разных последовательностей нуклеотидов можно получить, меняя любые два нуклеотида в последовательности из 24 стандартных нуклеотидов на **X** и **Y** в произвольном сочетании? **(4 балла)**

**Всего – 8 баллов**

**Задача 3. Нанокластеры из пленки**

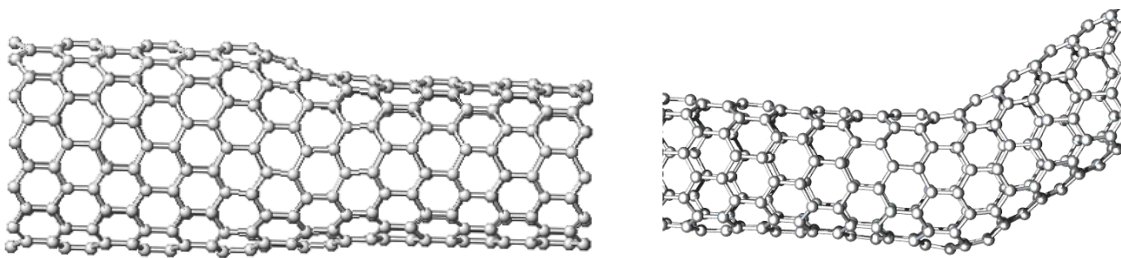
Напыленная на подложку тонкая нанопленка золота при нагревании плавится и распадается на капли, которые при последующем охлаждении застывают в виде сферических нанокластеров.



1. Сколько капель образуется на квадратной подложке размером 100 мкм, если на  $1 \text{ нм}^2$  приходится  $1.25 \cdot 10^{-4}$  капель? **(2 балла)**
2. Каково расстояние между центрами кластеров **L**, если они расположены друг относительно друга как на рис 1б. **(3 балла)**
3. Найдите радиус полученных кластеров **r** (нм), если толщина исходной пленки равна 32 нм. **(3 балла)**

**Всего – 8 баллов**

#### **Задача 4. Нанопереходник**



Нанопереходник между двумя углеродными нанотрубками содержит дефекты, число и расположение которых определяет его геометрию (см. примеры на рисунке).

1. Докажите, что в нанопереходнике не могут находиться дефекты только одного типа. **(4 балла)**
2. Какое минимальное число пяти- и семиугольных дефектов содержится в некотором нанопереходнике, если известно, что он содержит не менее 6 пятиугольников и 9 семиугольников? **(4 балла)**

*Подсказка.* Углеродные нанотрубки (УНТ) представляют собой свернутые в трубку сетки шестиугольников. В любой вершине как УНТ, так и нанопереходников сходятся по 3 ребра. Для простоты можно считать, что торцы УНТ закрыты шапочками, состоящими из пяти- и шестиугольников, а из дефектов нанопереходник может содержать только пяти- и/или семиугольники.

**Всего – 8 баллов**

### Задача 5. Половинки от фуллерена

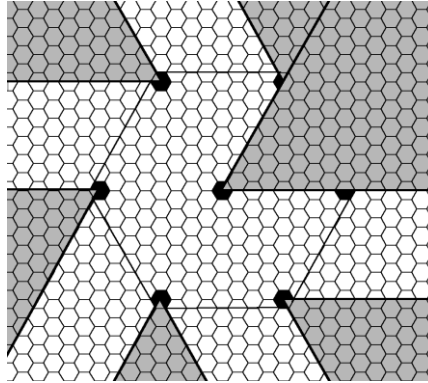


Рис. 1. Выкройка. а) На листе графена удаляются  $60^\circ$  сектора – получается закрытая с одного торца нанотрубка. б) Затем по тонкой линии отрезается шапочка, из двух таких шапочек склеиванием по линии разреза получается фуллерен  $C_x$ .

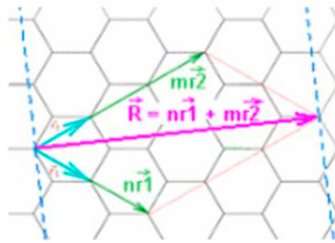


Рис. 2. Для получения нанотрубки с индексами хиральности  $(n, m)$  графеновую плоскость надо разрезать по пунктирным линиям и свернуть вдоль направления вектора  $R$ .

В этом примере  $n = 2, m = 3$ .

Различают следующие типы нанотрубок:

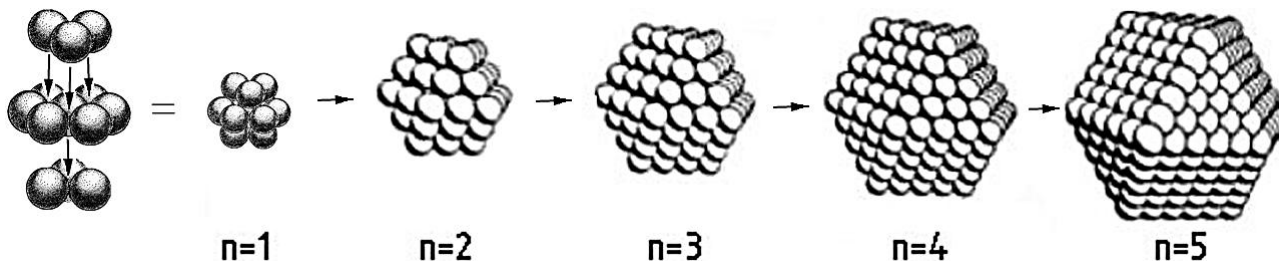
- зубчатые,  $n = m$ ; - зигзагообразные,  $m=0$  или  $n=0$ ;
- хиральные нанотрубки (все остальные значения  $n$  и  $m$ ).

1. Найдите индексы  $(n, m)$  хиральности полученной в 1а) нанотрубки. К какому типу она относится? (4 балла)
2. Чему равно  $x$  для полученного в 1б) фуллерена  $C_x$ ? (4 балла)

Всего – 8 баллов



**Задача 6. Кубооктаэдр**



Первым шагом роста нанокластера является образование оболочки из 12 атомов вокруг центрального. Среди таких оболочек выделяется высокосимметричное расположение атомов в виде кубооктаэдра (см. рисунок,  $n = 1$ ), при котором все соседние атомы касаются как друг друга, так и центрального атома. Это позволяет послойно увеличивать нанокластер (как показано на рисунке) так, что при этом все соседние атомы новых оболочек также касаются друг друга и атомов из предыдущей оболочки, а полученные нанокластеры являются фрагментами плотнейшей упаковки шаров.

1. Сколько вершин, ребер, треугольных и квадратных граней у кубооктаэдра? **(1 балл)**
2. Опираясь на полученный ранее ответ, найдите общую формулу числа атомов **M** в оболочке с номером **n**. **(5 баллов)**
3. Сколько всего атомов **N** содержит нанокластер, состоящий из **n** оболочек? **(4 балла)**
4. а) Найдите размер\* нанокластера платины с  $n = 4$ , если радиус атома платины  $r = 0,14$  нм. **(3.5 балла)**  
б) Какова доля поверхностных атомов в этом кластере? **(1.5 балла)**
5. Сколько отличающихся координационным числом (КЧ)\*\* типов атомов\*\*\* имеется в кубооктаэдрическом нанокластере? Расположите их в порядке убывания КЧ (укажите его) и поясните, где в нанокластере расположен каждый из них. **(5 баллов)**

\*Как диаметр сферы, описанной вокруг нанокластера.

\*\*Число ближайших соседей, касающихся данного атома.

\*\*\*Подсказка: рассмотрите для них касания как внутри одного слоя, так и с атомами соседних слоев.

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

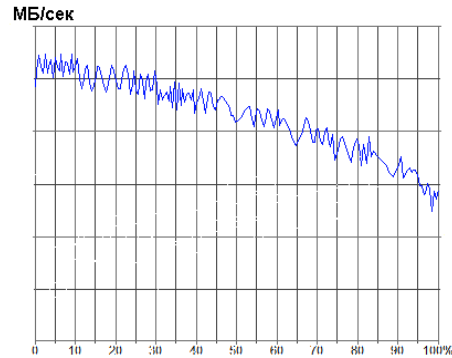
**Всего – 20 баллов**



## Задача 7. Нанотехнологии и математика: характеристики жесткого диска



а)



б)

Рис. а) Устройство магнитного жесткого диска: видна пластина и головка, производящая чтение и запись информации. б) Пример зависимости графика скорости последовательного чтения от доли пройденной поверхности для реального жесткого диска.

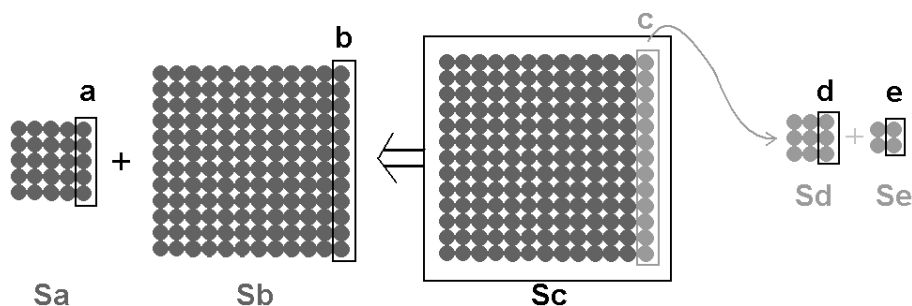
Благодаря успехам в области нанотехнологий на сегодняшний день массово производятся магнитные жесткие диски, пластины которых содержат примерно 1 терабайт информации.

1. Оцените размер домена (в нм) на поверхности такого диска (Считайте, что диск состоит из доменов практически квадратной формы, плотно прилегающих друг к другу). **(6 баллов)**
2. Какое количество информации (в терабайтах) можно будет разместить на одной пластине диска, если с помощью нанотехнологий удастся уменьшить размер домена до 10 нм? **(2 балла)**
3. Рассчитайте время (в минутах), за которое при последовательном чтении прочитается вся информация с жесткого диска. **(6 баллов)**
4. Рассчитайте максимальную скорость последовательного чтения для такого диска (в мегабайтах за секунду). Во сколько раз максимальная скорость последовательного чтения будет больше минимальной? **(6 баллов)**

Считать, что диск состоит из одной пластины, внешний диаметр области данных составляет 9.1 см, внутренний – 3.7 см, при работе диска пластина вращается с частотой 7200 оборотов в минуту, информация хранится на двух сторонах пластины, последовательное чтение может происходить с двух сторон пластины одновременно. В каждый домен может быть записан один бит информации. При решении считать 1 терабайт равным  $10^{12}$  байт.

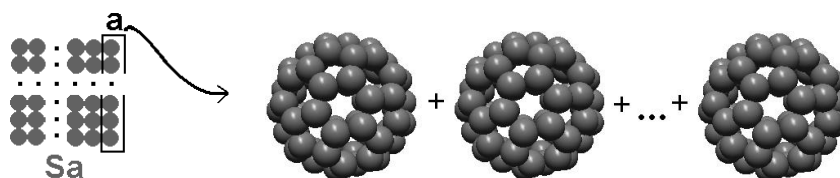
**Всего – 20 баллов**

### Задача 8. Свойства квадратных нанокластеров



Рассмотрим **Sa - Se** – квадратные кластеры некоторого химического элемента X, ребра которых содержат, соответственно, **a - e** атомов. Известно, что **c** атомов ребра кластера **Sc** можно разложить на 2 кластера – **Sd** и **Se** (см. пример на рисунке).

1. Докажите в общем виде, что все атомы **Sc**, в свою очередь, можно разложить на кластеры **Sa** и **Sb**. **(5 баллов)**
2. Найдите два возможных решения для **a**, **b** и **c**, если известно, что  $d = 11 \cdot (e \text{ div } 2)$  и  $e < 10$ , а **c** – простое число. **(5 баллов)**
3. Докажите, что, если **c** и **b** – простые числа, а  $d > 4$ , то из **a** атомов ребра **Sa** можно сложить не менее одного кластера в форме бакибола  $X_{60}$ . **(10 баллов)**



Подсказка: рассмотрите делители числа 60.

Все упомянутые в задаче разложения группы атомов на кластеры проходят без остатка;  $\text{div}$  - вычисление неполного частного от деления (пример:  $20 \text{ div } 7 = 2$ ).

*Вспомогательная информация:*

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

Фуллерен, содержащий  $F_6$  шестиугольников, имеет  $x = 20 + 2F_6$  атомов углерода в молекуле.

$$\sqrt{2} = 1,41, \quad \sqrt{3} = 1,73, \quad \sqrt{5} = 2,24, \quad \sqrt{7} = 2,65, \quad \sqrt{11} = 3,32$$

При расчетах  $\pi$  считать равным 3.

**Всего – 20 баллов**



**Математика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)**  
**Решения. Простые задачи (варианты 3 и 4)**

**Решение задачи 1. Растворы белка**

1. На один куб со стороной  $L$  объемом  $V_{1s} = L^3$  приходится одна молекула белка (поскольку у куба 8 вершин, а каждая вершина принадлежит одновременно 8 кубам, или же можно представить себе одну молекулу в центре кубической ячейки у которой вершины находятся в центрах образованных молекулами кубов). По определению,

$$\omega = \frac{m_p}{m_s} \cdot 100\% = \frac{V_p \rho_p}{V_s \rho_s} \cdot 100\% = \frac{V_{1p} N_a \rho_p}{V_{1s} N_a \rho_s} \cdot 100\% = \frac{V_{1p} \rho_p}{V_{1s} \rho_s} \cdot 100\% = \frac{M_p / N_a \rho_p}{\rho_p V_{1s} \rho_s} \cdot 100\% = \frac{M_p / N_a}{V_{1s} \rho_s} \cdot 100\%$$

где индекс **p** относится к белку, а индекс **s** – к раствору, а **N<sub>a</sub>** количество молекул ( $6 \cdot 10^{23}$ ) масса которых равна **M<sub>p</sub>**. Тогда

$$V_1 = \frac{M_p 100\%}{\omega \rho N_a}$$

$$L = \sqrt[3]{\frac{M_p 100\%}{\omega \rho N_a}}$$

Для расчета переведем плотность в удобные единицы:  $\rho = 1 \text{ г/см}^3 = 10^{-21} \text{ г/нм}^3$

2. Обозначим искомую величину как  $y = \frac{\omega}{\omega'} = \frac{V_{1s}'}{V_{1s}}$ . То есть,  $V_{1s}' = yV_{1s}$ .

По условию,  $L' = xL$

$$\begin{aligned} \sqrt[3]{V_{1s}'} &= x \sqrt[3]{V_{1s}} \\ \sqrt[3]{y V_{1s}} &= x \sqrt[3]{V_{1s}} \\ y &= x^3 \end{aligned}$$

| Вариант | $\omega$ % | M, г  | x | L, нм | y   |
|---------|------------|-------|---|-------|-----|
| 3       | 18         | 78732 | 4 | 9     | 64  |
| 4       | 17         | 52224 | 5 | 8     | 125 |

**Решение задачи 2. Дополнительная пара**

1. Произвольная последовательность длиной **n** из *четырёх* «стандартных» нуклеотидов – имеет  $4^n = 2^{2n}$  возможных вариантов. Чтобы закодировать ее последовательностью из **x** однобитных ячеек (каждая из которых имеет два возможных значения), необходимо, чтобы число возможных вариантов такой последовательности  $2^x$  было не меньше числа вариантов последовательности нуклеотидов. Т.е.  $2^x \geq 2^{2n}$ .

Следовательно,  $x \geq 2n$ , и для кодирования потребуется минимум  $2n$  однобитных ячеек.

При записи последовательности такой же длины с использованием расширенного «алфавита» из *шести* нуклеотидов мы получаем один из  $6^n = 2^n 3^n$  вариантов, аналогично,

$$2^y \geq 2^n 3^n$$

Найдем минимальное значение  $y$  без вычисления логарифмов:

| Вариант | n | x  |  | y  |
|---------|---|----|--|----|
| 3       | 6 | 12 | $6^6 = 2^6 3^6 = 2^6 \cdot 729 < 2^6 \cdot 1024 = 2^{16}$  | 16 |
| 4       | 7 | 14 | $6^7 = 2^7 3^7 = 2^7 \cdot 2187 < 2^4 \cdot 4096 = 2^{19}$ | 19 |

2. Две заменяемые позиции могут заполнить дополнительные «буквы» X и Y в произвольном сочетании, всего  $2^2 = 4$  варианта (XX, XY, YX, YY).

Две произвольные позиции в цепочке из  $m$  позиций можно выбрать  $C_m^2$  способами.

Тогда всего вариантов полусинтетических последовательностей:

$$N = 4C_m^2 = 4 \frac{m!}{2!(m-2)!} = 2m(m-1)$$

| Вариант | M  | N                            |
|---------|----|------------------------------|
| 3       | 26 | $2 \cdot 26 \cdot 25 = 1300$ |
| 4       | 24 | $2 \cdot 24 \cdot 23 = 1104$ |

### Решение задачи 3. Нанокластеры из пленки

- Площадь подложки  $S = 100^2 = 10^4$  мкм<sup>2</sup> или  $10^{10}$  нм<sup>2</sup>.  $N = S \cdot c$
- На правильный треугольник со стороной  $L$  и площадью  $S_{\Delta} = 0,5L^2 \sin 60^\circ = L^2 \sqrt{3}/4$  приходится  $3 \cdot (1/6) = 0,5$  нанокластера золота (у каждого треугольника 3 вершины, каждая из которых общая для 6 треугольников). Тогда на один кластер приходится площадь  $S_0 = L^2 \sqrt{3}/2$ . В тоже время, на один кластер приходится площадь  $S_0 = 1/c$ .

Тогда  $L = \sqrt{\frac{2}{c\sqrt{3}}}$ .

- Объем кластера составляет  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ , он получается из фрагмента нанопленки золота площадью  $S_0$  и толщиной  $h$  объемом  $V = S_0 h$ . Находим  $r = \sqrt[3]{\frac{3h}{4\pi c}}$

| Вариант | h, нм | c, шт/нм <sup>2</sup> | N                 | L, нм | r, нм |
|---------|-------|-----------------------|-------------------|-------|-------|
| 3       | 27    | $2,5 \cdot 10^{-4}$   | $2,5 \cdot 10^6$  | 68    | 30    |
| 4       | 32    | $1,25 \cdot 10^{-4}$  | $1,25 \cdot 10^6$ | 96    | 40    |

## Решение задачи 4. Нанопереходник

1. Рассмотрим закрытый с двух сторон шапочками нанопереходник. Несмотря на то, что он может не являться выпуклым многогранником, мы можем его непрерывно деформировать (например, «надуть» или спроецировать вторую трубку на входящий в нанопереходник торец первой) чтобы получился выпуклый многогранник и мы могли применить теорему Эйлера.

$$V - E + F = 2$$

$$1/3(5F_5 + 6F_6 + 7F_7) - 1/2(5F_5 + 6F_6 + 7F_7) + F_5 + F_6 + F_7 = 2$$

(поскольку каждая вершина принадлежит одновременно трем многоугольникам, а каждый n-угольник имеет n вершин; каждое ребро принадлежит двум многоугольникам, а каждый n-угольник содержит n ребер).

Решая уравнение, получаем  $F_5 - 12 = F_7$ .

При отсутствии семиугольников  $F_5 = 12$  (фуллерен).

Пятиугольники могут содержаться как в шапочках, так и в нанопереходнике:

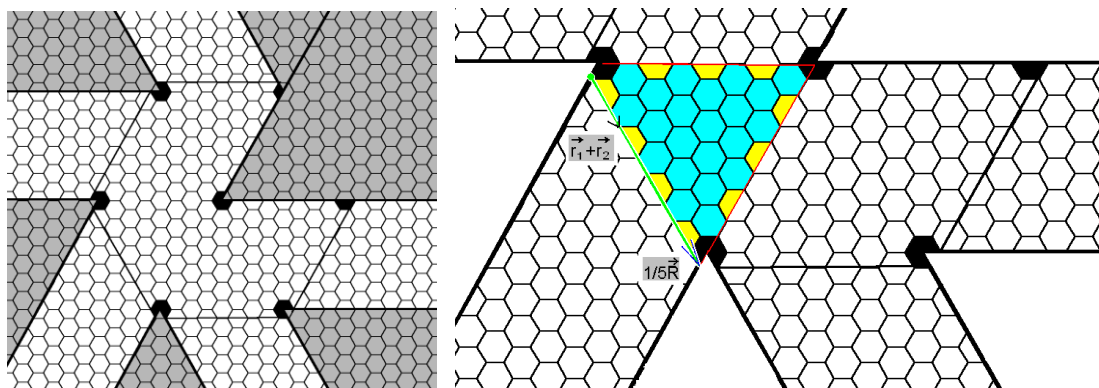
$$F_5 = F_5(\text{шап}) + F_5(\text{пер})$$

Следовательно, поскольку шапочки исходных нанотрубок, по условию, не содержат семиугольников, то  $F_5(\text{шап}) = 12 \Rightarrow F_5(\text{пер}) = F_7$

2. Из предыдущего пункта следует, что наш нанопереходник должен содержать **равное** число пятиугольников и семиугольников, значит минимальное число как пятиугольников, так и семиугольников составляет  $\max(F_5(\text{усл}), F_7(\text{усл}))$

| Вариант | $F_5(\text{усл})$ | $F_7(\text{усл})$ | $F_5$ | $F_7$ |
|---------|-------------------|-------------------|-------|-------|
| 3       | 5                 | 8                 | 8     | 8     |
| 4       | 6                 | 9                 | 9     | 9     |

## Решение задачи 5. Половинки от фуллерена



1. Важно увидеть, что линия, очерчивающая шапочку после вырезания секторов – это и есть радиус вектор R (минимальный путь по поверхности трубки, получающейся при склеивании образующихся 5 графеновых лент, которые скручиваются в спирали и склеиваются).

Радиус вектор при этом проходит по большим диагоналям и ребрам шестиугольников, что возможно только при равенстве индексов хиральности  $n = m$  (**зубчатая трубка**) (см. пример для варианта 3 на рисунке). Чтобы определить индексы хиральности нанотрубки, необходимо найти, сколько отрезков «большая диагональ + сторона» (равных по длине сумме единичных векторов) содержит радиус вектор R в каждой «полоске» нанотрубки и умножить на 5 (общее число таких полосок).

2. Сосчитаем число шестиугольников  $n'_6$  по рисунку (в одном из 5-ти секторов шапочки. Фуллерен  $C_x$  состоит из двух половинок, поэтому  $x = 20 + 2F_6 = 20 + 2 \cdot 2 \cdot 5 \cdot n'_6$

| Вариант | (n, m)  | $n'_6$ | $C_x$     |
|---------|---------|--------|-----------|
| 3       | (20,20) | 27     | $C_{560}$ |
| 4       | (15,15) | 15,5   | $C_{330}$ |



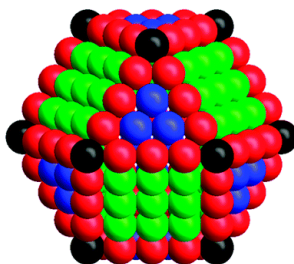
**Математика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)**  
**Решения. Более сложные задачи**

**Решение задачи 6. Кубоктаэдр**

1.  $V = 12, E = 24, F_3 = 8, F_4 = 6$   
 $12 - 24 + 8 + 6 = 2$  – верно

2.

1)  $n = 1 M = 12$  (вершины)



$n = 2$

$M = 12$  (вершины) +  $24 \cdot 1$  (ребра без вершин) +  $6 \cdot 1$  (квадраты без ребер) +  $8 \cdot 0$  (треугольники без ребер) = 42

$n = 3 M = 12 + 24 \cdot 2 + 6 \cdot 2^2 + 8 = 92$

$n = 4 M = 12 + 24 \cdot 3 + 6 \cdot 3^2 + 8 \cdot 3 = 162$

$n = 5 M = 12 + 24 \cdot 4 + 6 \cdot 4^2 + 8 \cdot 6 = 252$

2)

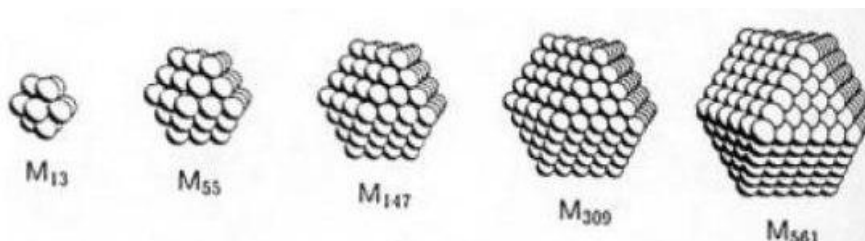
- 12 атомов в вершинах;
- на ребрах (с вычетом двух атомов, ранее посчитанных в вершинах)  $24 \cdot (n + 1 - 2) = 24 \cdot (n - 1)$  атома (исходное число атомов на ребре на 1 больше, чем номер оболочки);
- на треугольных гранях (с вычетом атомов, ранее посчитанных на ребрах)  $8 \cdot 0,5 \cdot (n + 1 - 3) \cdot (n + 1 - 3 + 1) = 4 \cdot (n^2 - 3n + 2) = 4n^2 - 12n + 8$  атомов;
- на квадратных гранях (с вычетом атомов, ранее посчитанных на ребрах)  $6 \cdot (n + 1 - 2)^2 = 6(n - 1)^2 = 6n^2 - 12n + 6$  атомов.

Тогда в  $n$ -й оболочке всего

$M(n) = 12 + 24(n - 1) + 4n^2 - 12n + 8 + 6n^2 - 12n + 6 = 10n^2 + 2$  атома

3.  $N(n) = 1 + \sum_{m=1}^n (10m^2 + 2) = 1 + 10 \sum_{m=1}^n m^2 + \sum_{m=1}^n 2 = 1 + 10 \sum_{m=1}^n m^2 + 2n$

$N(n) = 1 + 10 \sum_{m=1}^n m^2 + 2n = 1 + 2n + 10 \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} = 1 + 2n + 5 \frac{2n^3 + 3n^2 + n}{3} = \frac{1}{3} (10n^3 + 15n^2 + 11n + 3)$



4. а)  $N(4) = 309$

Рассмотрим кубооктаэдр, вершины которого лежат в центрах атомов вершин кластера. Описанная вокруг такого многогранника сфера будет касаться всех его вершин, причем его 24 ребра образуют 4 правильных шестиугольника, каждый из которых вписан в экваториальную плоскость сферы. Таким образом, радиус данной сферы равен длине стороны шестиугольника, то есть, длине его ребра –  $2nr$ . В свою очередь, радиус сферы, описанной вокруг кластера, будет больше на радиус атома. Следовательно:

$$D = 2(2nr + r) = 2 \cdot 9 \cdot 0,14 = 2,52 \text{ нм}$$

$$\text{б) } \omega = \frac{M(4)}{N(4)} = \frac{162}{309} = 0,52$$

5.

- атомы внутренних оболочек ( $KЧ = 12$ , как и у центрального атома);
- атомы на треугольных гранях вне ребер (касаются 6 атомов слоя + 3 атомов предыдущего слоя = 9);
- атомы на квадратных гранях вне ребер (4 атома слоя + 4 атома предыдущего слоя = 8);
- атомы на ребрах (2 атома на ребре + 2 атома треугольной грани + 1 атом квадратной грани + 2 атома ребра предыдущего слоя = 7);
- атомы в вершинах (4 атома ребер + 1 атом-вершина предыдущего слоя = 5).

## Решение задачи 7. Нанотехнологии и математика: характеристики жесткого диска

1. Площадь двухсторонней пластины, занятая информацией, может быть записана как удвоенная площадь кольца:

$$S = 2 \cdot (S_{\max} - S_{\min}) = 0,5\pi(D_{\max}^2 - D_{\min}^2) = 0,5 \cdot 3(9,1^2 - 3,7^2) = 103,68 \text{ см}^2.$$

С другой стороны, если один бит имеет форму квадрата со стороной  $a$  нм (и занимает площадь  $10^{-14} \cdot a^2 \text{ см}^2$ ), то  $S$  равна произведению количества информации на площадь, занимаемую одним битом (одним магнитным доменом):

$$S = 8 \cdot 10^{12} \cdot a^2 \cdot 10^{-14} = 0,08a^2 \text{ см}^2$$

Найдем  $a$ :

$$a = \sqrt{S / 0,08} = \sqrt{103,68 / 0,08} = \sqrt{1296} = \underline{\underline{36 \text{ нм}}}$$

2. Площадь сектора при уменьшении его размера от 36 до 10 нм уменьшится в  $(36/10)^2 = 12,96$  раз, во столько же раз увеличится объем информации, который составит **12,96 терабайт**.

3. Информацию на диске можно разбить на последовательные витки, каждый из которых считывается за один оборот (пренебрегаем временем позиционирования на витке по сравнению со временем его чтения). Общее число витков составит



$$n = (R_{\max} - R_{\min})/a = \frac{(D_{\max} - D_{\min})}{2}/a = (9,1 - 3,7)/2/(36 \cdot 10^{-7}) = 7,5 \cdot 10^5$$

При частоте вращения 7200 оборотов за минуту они будут прочитаны за

$$t = 7,5 \cdot 10^5 / 7200 \approx \underline{\underline{104 \text{ минуты}}}$$

4. Найдем скорость чтения по витку с диаметром  $D$ . Он считывается за время  $60/7200 = 1/120$  секунды.

Длина витка составит  $\pi D$ , число доменов на нем  $\pi D/a$ , в которых записано  $\pi D/a/8$  байт информации. Поскольку одновременно читаются обе стороны пластины, то скорость чтения дополнительно умножим на 2. Итоговая скорость составит (в мегабайтах за секунду)

$$v = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot D/a}{1/120} / (1 \cdot 10^6) = 9 \cdot 10^{-5} \frac{D}{a}$$

$$v_{\max} = 9 \cdot 10^{-5} \cdot D_{\max}/a = 9 \cdot 10^{-5} \cdot 9,1/(36 \cdot 10^{-7}) \approx \underline{\underline{228 \text{ мегабайт/сек}}}$$

Соотношение минимальной и максимальной скоростей составит

$$D_{\max}/D_{\min} = 9,1/3,7 \approx \underline{\underline{2,5 \text{ раза}}}$$

## Решение задачи 8. Свойства квадратных нанокластеров

1. По условию,  $c = e^2 + d^2$

$$c^2 = (e^2 + d^2)^2 = e^4 + 2e^2d^2 + d^4 = e^4 - 2e^2d^2 + d^4 + 4e^2d^2 = (d^2 - e^2)^2 + (2ed)^2 = b^2 + a^2$$

Таким образом, квадрат  $Sc$  можно разбить на квадраты со сторонами  $b = d^2 - e^2$  и  $a = 2ed$  (поскольку  $b > a$  и  $d > e$ ).

Тройка чисел  $a$ ,  $b$  и  $c$  носит название Пифагоровой тройки.

2. Переберем возможные по условию значения  $e$  (от 2 до 9):

$$e = 2, d = 11: c = 2^2 + 11^2 = 125 - \text{не является простым}$$

$$e = 3, d = 11: c = 3^2 + 11^2 = 130 - \text{не является простым}$$

$$e = 4, d = 22: c = 4^2 + 22^2 = 500 - \text{не является простым}$$

$$e = 5, d = 22: c = 5^2 + 22^2 = 509, a = 2 \cdot 5 \cdot 22 = 220, b = 22^2 - 5^2 = 459$$

$$e = 6, d = 33: c = 6^2 + 33^2 = 1125 - \text{не является простым}$$

$$e = 7, d = 33: c = 7^2 + 33^2 = 1138 - \text{не является простым}$$

$$e = 8, d = 44: c = 8^2 + 44^2 = 2000 - \text{не является простым}$$

$$e = 9, d = 44: c = 9^2 + 44^2 = 2017, a = 2 \cdot 9 \cdot 44 = 792, b = 44^2 - 9^2 = 1855$$

В итоге, все случаи, кроме двух, приводят к очевидно не простым ( $\div 2$  либо  $\div 5$ ) значениям  $c$ . Оставшиеся два решения нет необходимости проверять на простоту  $c$ , поскольку, по условию, имеется ровно два решения.

3. По условию,  $c$  и  $b$  – простые числа.

В то же время, согласно свойствам квадратных кластеров,  $b$  можно разложить на множители как разность квадратов:  $b = d^2 - e^2 = (d - e)(d + e)$ . Чтобы  $b$  при этом оставалось простым необходимо, чтобы  $d - e = 1$ , то есть,  $d = e + 1$ . Тогда  $c = 2e^2 + 2e + 1$ ,  $b = 2e + 1$  и  $a = 2e(e + 1) = 2e^2 + 2e$ . Кроме того, интересным следствием является вывод о том, что  $c = a + 1$ .

Таким образом, поскольку  $a$  кратно 2 ( $a = 2ed$ , см. п.1), вопрос сводится к тому, чтобы доказать, что  $e(e + 1) \div 30$ .

- 1) Поскольку выражение  $e(e + 1)$  представляет собой произведение двух последовательных целых чисел, то  $e(e + 1) \div 2$ .
- 2) Рассмотрим два случая. а) Если  $e \div 3$ , то  $a = 2e(e + 1) \div 3$ .  
 б) Допустим, что  $e$  не делится на 3:  $e = 3k \pm 1$ .  
 $e = 3k + 1$ :  $a = 2(3k + 1)(3k + 2) = 18k^2 + 18k + 4$  ( $a$  не делится на 3),  
 но при этом  $b = (3k + 2)^2 - (3k + 1)^2 = 6k + 3$  – что противоречит условию ( $b$  – простое число);  
 либо  $e = 3k - 1$ :  $a = 6k(3k - 1) \div 3$ .

Следовательно, мы доказали, что при всех  $e$ , удовлетворяющих условию,  $e(e + 1) \div 3$ .

- 3) Рассмотрим два случая. а) Если  $e \div 5$ , то  $a = 2e(e + 1) \div 5$ .  
 б) Допустим, что  $e$  не делится на 5:  $e = 5k \pm 1$  или  $e = 5k \pm 2$ .  
 $e = 5k + 1$ :  $a = 2(5k + 1)(5k + 2) = 50k^2 + 30k + 4$ ,  
 но при этом  $c = (5k + 1)^2 + (5k + 2)^2 = 50k^2 + 30k + 5$  – что противоречит условию ( $c$  – простое число);  
 либо  $e = 5k - 1$ :  $a = 10k(5k - 1) \div 5$ .  
 $e = 5k + 2$ :  $a = 2(5k + 2)(5k + 3) = 50k^2 + 50k + 12$ ,  
 но при этом  $b = (5k + 3)^2 - (5k + 2)^2 = 10k + 5$  – что противоречит условию ( $b$  – простое число);  
 $e = 5k - 2$ :  $a = 2(5k - 2)(5k - 1) = 50k^2 - 30k + 4$ , но при этом  $c = (5k - 2)^2 + (5k - 1)^2 = 50k^2 - 30k + 5$  – что противоречит условию ( $c$  – простое число).  
 Следовательно, мы доказали, что при всех  $e$ , удовлетворяющих условию,  $e(e + 1) \div 5$ .
- 4) Поскольку, в общем случае,  $e(e + 1) \div 2$ ,  $e(e + 1) \div 3$  и  $e(e + 1) \div 5$ , то  $e(e + 1) \div 30$ , то есть, при условии  $d = e + 1$  ( $c = 2e^2 + 2e + 1$ ,  $b = 2e + 1$  и  $a = 2e(e + 1)$ ) выполняется условие  $a \div 60$ .

5) Найдем минимальное значение **d**:

$$\begin{aligned}2d^2 - 2d &\geq 60 \\d^2 - d - 30 &\geq 0, d = \frac{1 \pm \sqrt{1+120}}{2} = \frac{1 \pm 11}{2} \\(d + 5)(d - 6) &\geq 0\end{aligned}$$

Поскольку **d** > 0, то условие **d** ≤ -5 не имеет смысла. Следовательно, **d** ≥ 6, что соответствует условию **d** > 4.

Действительно, при **d** = 4 **a** = 2·4·(4 - 1) = 24, не делится на 60.



**Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)**  
**Простые задачи (вариант 2)**

### Задача 1. Микрофон

Технология МЭМС (Микро- Электро- Механическая Система) позволяет миниатюризировать многие датчики. По этой технологии производят конденсаторные микрофоны. Они представляют собой конденсатор, на обкладках которого поддерживается постоянный заряд. Между обкладками – диэлектрическая пластина. Под действием избыточного давления конденсатор деформируется (обкладки сближаются, а пластина сжимается). Диэлектрическая проницаемость пластины  $\epsilon = 10$ . Площадь мембраны  $S = 10^4$  мкм<sup>2</sup>, заряд на обкладках  $q = 0.01$  нКл,  $\epsilon_0 = 8.8 \cdot 10^{-12}$  Ф/м. Коэффициент жесткости пластины  $k = 10^3$  Н/м.

1. На сколько должно возрасти давление воздуха, чтобы мембрана сместилась на  $\Delta x = 10$  нм? **(4 балла)**
2. На сколько при этом изменится напряжение на конденсаторе? **(4 балла)**

**Всего – 8 баллов**

### Задача 2. Оптоакустические нанокompозиты

Российские исследователи, развивая идеи корейских ученых, предложили композитные наночастицы для усиления оптоакустического сигнала. Они заполнили гидрофильные поры пористых наночастиц германия (пористость  $P = 50\%$ ) полимером с увеличенным коэффициентом теплового расширения  $\beta_p = 1.2 \cdot 10^{-4}$  К<sup>-1</sup> против  $\beta_{Ge} = 6 \cdot 10^{-6}$  К<sup>-1</sup> для германия, при этом мощность нагрева частицы не изменилась.

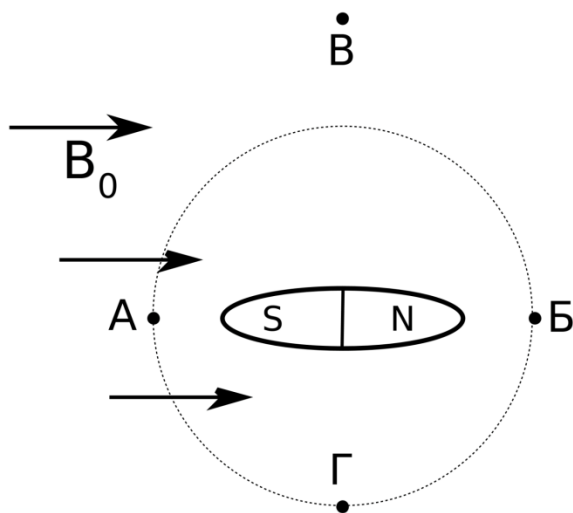
Во сколько раз изменится оптоакустический сигнал наночастицы,  $I$ , если известно, что  $I \sim \frac{\beta}{C} H$ , где  $\beta$  – коэффициент теплового расширения,  $C$  – теплоемкость, а  $H$  – мощность нагрева? Теплоемкости германия, полимера и воды считать равными 0.32 кДж/(кг К), 1.5 кДж/(кг К), 4.2 кДж/(кг К). Плотности германия и полимера считать равными 5.3 г/см<sup>3</sup> и 1 г/см<sup>3</sup>. Относительное расширение наночастицы можно считать малым.

**Всего – 8 баллов**

### Задача 3. Магнитные наночастицы для диагностики

В методе магнитно-резонансной томографии (МРТ) зачастую используют специальные контрастные магнитные наночастицы, которые создают вокруг себя магнитное поле, добавочное к внешнему однородному полю  $B_0$ .

1. Расположите точки А, Б, В, Г на рисунке в порядке убывания индукции суммарного магнитного поля в них, ответ аргументируйте. **(3 балла)**

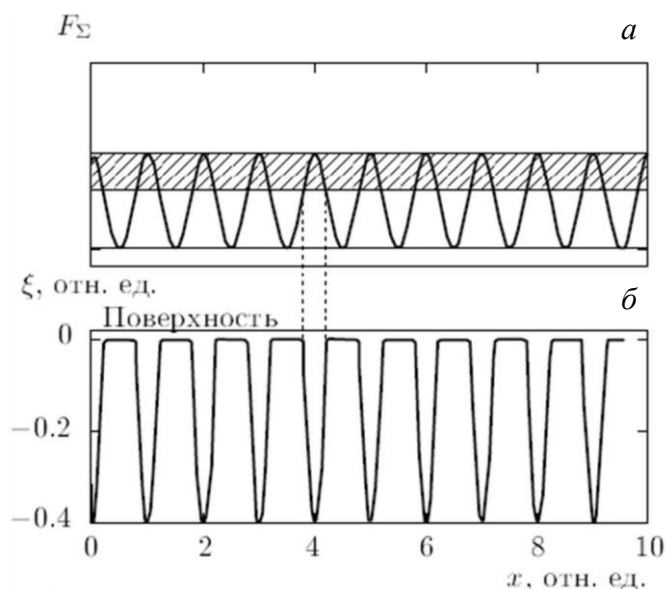


Упрощенно можно считать, что индукция добавочного поля убывает с расстоянием  $r$  по следующему закону:  $B_{NP} = \frac{\mu_0 \cdot P}{4\pi r^3}$ , где  $\mu_0$  – магнитная постоянная, равная  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м, а  $P$  – магнитный момент наночастицы. Это поле приводит к нарушению резонансных условий (резонансная частота пропорциональна индукции локального поля) для окружающих частицу молекул воды, что вызывает изменение сигнала (контрастирование).

- Найдите  $B_0$ , если известно, что результирующее поле отличается на  $10^{-6}$  от внешнего на расстоянии 40 нм (будем считать это условием нарушения резонанса), а магнитный момент наночастицы  $P = 1.6 \cdot 10^{-22}$  Дж/Тл. **(5 баллов)** Наночастицу можно считать материальной точкой.

Всего – 8 баллов

#### Задача 4. Лазерное наноструктурирование поверхности



Для получения упорядоченной периодической структуры на поверхности различных материалов может быть использован метод лазерного наноструктурирования.

Метод основан на эффекте абляции – удалении вещества с поверхности при воздействии лазерных импульсов, происходящего в результате ее нагрева при превышении определенного порогового значения интенсивности лазерных импульсов.

На рисунке *a* представлен график распределения интенсивности лазерного излучения на поверхности образца, возникающий в результате интерференции двух одинаковых по интенсивности лазерных импульсов, описываемый следующей формулой:

$$I(x) = 4I_0 \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L} x\right),$$

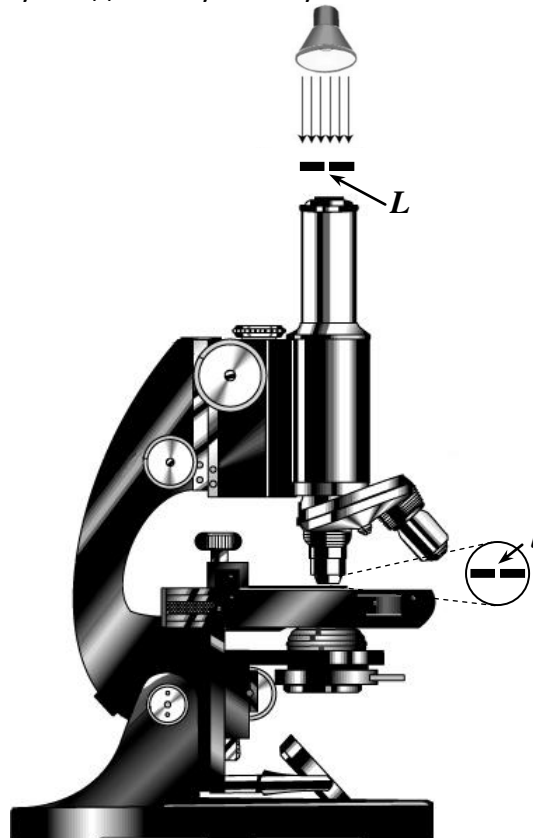
где  $I_0$  – интенсивность лазерных импульсов,  $d$  – расстояние между двумя лазерами, равноудаленными от поверхности на расстояние  $L$ . На рисунке *б* показан профиль поверхности материала после удаления части вещества вследствие абляции.

1. Поясните смысл заштрихованной области на рисунке *a*. (2 балла)
2. Найдите период результирующего профиля поверхности  $\Delta x$  (2 балла) и ширину  $\delta$  образовавшихся на облучаемой поверхности впадин, если известно, что для облучения использовались лазеры с длиной волны  $\lambda = 800$  нм, расстояния  $d$  и  $L$  равны  $d = 60$  см и  $L = 30$  см, а порог абляции составлял  $I_0$ . (4 балла)

Всего – 8 баллов

### Задача 5. Микроскоп наоборот

Как известно, микроскоп служит для получения увеличенного изображения малых объектов.



Но в силу принципа обратимости хода лучей в оптике верно и обратное: разместив объект перед окуляром и освещая его светом можно получить его уменьшенное изображение вблизи фокальной плоскости объектива.

1. Каким будет зазор  $l$  на изображении между двумя темными полосками при их проецировании описанным выше методом на предметный стол микроскопа, если эти полоски расположить на расстоянии  $L = 0.15$  мм друг от друга и удалить на  $d = 4F$  от окуляра ( $F$  – фокусное расстояние окуляра)? **(3 балла)** Кратность увеличения объектива считать равной 100.
2. Оцените, при каком минимальном расстоянии между полосками  $L_{\min}$  они еще не будут сливаться на полученном изображении? Ответ поясните. **(5 баллов)**

**Всего – 8 баллов**



## Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Простые задачи (вариант 4)

### Задача 1. Микрофон

Технология МЭМС (Микро- Электро- Механическая Система) позволяет миниатюризировать многие датчики. По этой технологии производят конденсаторные микрофоны. Они представляют собой конденсатор, на обкладках которого поддерживается постоянный заряд. Между обкладками – диэлектрическая пластина. Атмосферное давление возрастает на 1 мм рт. ст., и конденсатор деформируется (обкладки сближаются, а пластина сжимается). Диэлектрическая проницаемость пластины  $\epsilon = 10$ . Площадь мембраны  $S = 10^4$  мкм<sup>2</sup>, заряд на обкладках  $q = 0.01$  нКл,  $\epsilon_0 = 8,8 \cdot 10^{-12}$  Ф/м. Коэффициент жесткости пластины  $k = 10^3$  Н/м. Плотность ртути  $\rho = 13.5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

1. На какое расстояние  $\Delta x$  сместится мембрана? (4 балла)
2. На сколько при этом изменится напряжение на конденсаторе? (4 балла)

Всего – 8 баллов

### Задача 2. Оптоакустические нанокompозиты

Одним из перспективных методов диагностики заболеваний мозга является оптоакустическая томография. Для того, чтобы “окрасить” сосудистую систему мозга, ученые разрабатывают специальные наночастицы. Поры этих наночастиц, которые состоят из кремния (пористость  $P = 50\%$ ), заполнены полимером с увеличенным коэффициентом теплового расширения  $\beta_p = 1.2 \cdot 10^{-4}$  К<sup>-1</sup> против  $\beta_{Si} = 2.6 \cdot 10^{-6}$  К<sup>-1</sup> для кремния, при этом мощность нагрева частицы такая же как и без полимера. Известно, что оптоакустический сигнал наночастицы  $I \sim \frac{\beta}{C} H$ , где  $\beta$  – коэффициент теплового расширения,  $C$  – теплоемкость, а  $H$  – мощность нагрева.

Во сколько раз сигнал наночастицы с полимером больше сигнала частицы без полимера? Относительное расширение наночастицы считать малым. Теплоемкости кремния, полимера и воды считать равными 0.7 кДж/(кг К), 1.5 кДж/(кг К), 4.2 кДж/(кг К). Плотности кремния и полимера считать равными 2.3 г/см<sup>3</sup> и 1 г/см<sup>3</sup>.

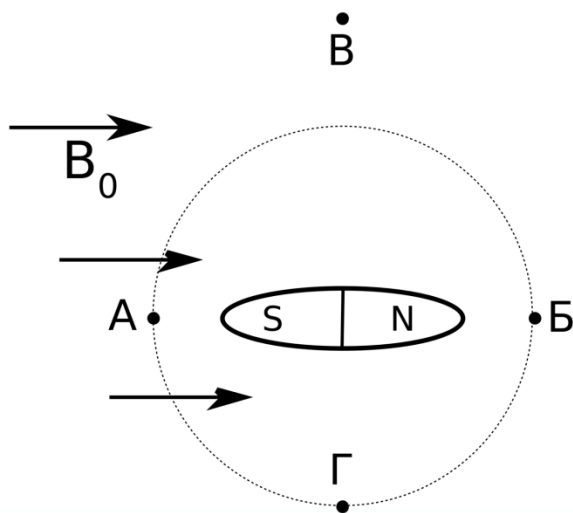
Всего – 8 баллов

### Задача 3. Магнитные наночастицы для диагностики

Ученые используют магнитные наночастицы для контрастирования определенных тканей в методе магнитно-резонансной томографии (МРТ). Наночастицы создают вокруг себя магнитное поле, добавочное к внешнему однородному полю  $B_0 = 2$  Тл.

1. Расположите точки А, Б, В, Г на рисунке в порядке возрастания индукции суммарного магнитного поля в них и объясните (3 балла).



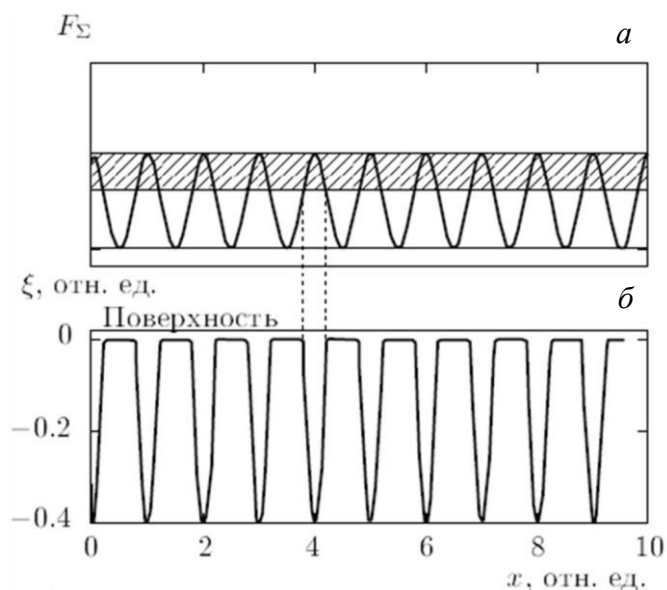


Будем считать, что индукция добавочного поля убывает с расстоянием,  $r$ , по следующему закону:  $B_{NP} = \frac{\mu_0 \cdot P}{4\pi r^3}$ , где  $\mu_0$  – магнитная постоянная, равная  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м, а  $P$  – магнитный момент наночастицы, которую можно считать точечной. Наличие добавочного поля ведет к нарушению резонанса (резонансная частота пропорциональна индукции локального поля) для молекул вокруг наночастицы, что вызывает изменение сигнала МРТ (контрастирование).

- Найдите расстояние  $R$ , на котором результирующее поле отличается на  $10^{-6}$  от внешнего (будем считать это условием нарушения резонанса), если магнитный момент наночастицы  $P = 1.6 \cdot 10^{-22}$  Дж/Тл. **(5 баллов)**

Всего – 8 баллов

#### Задача 4. Лазерное наноструктурирование поверхности



Для получения упорядоченной периодической структуры на поверхности различных материалов может быть использован метод лазерного наноструктурирования.

Метод основан на эффекте абляции – удалении вещества с поверхности при воздействии лазерных импульсов, происходящего в результате ее нагрева при превышении определенного порогового значения интенсивности лазерных импульсов.

На рисунке *а* представлен график распределения интенсивности лазерного излучения на поверхности образца, возникающий в результате интерференции двух одинаковых по интенсивности лазерных импульсов, описываемый следующей формулой:

$$I(x) = 4I_0 \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L} x\right),$$

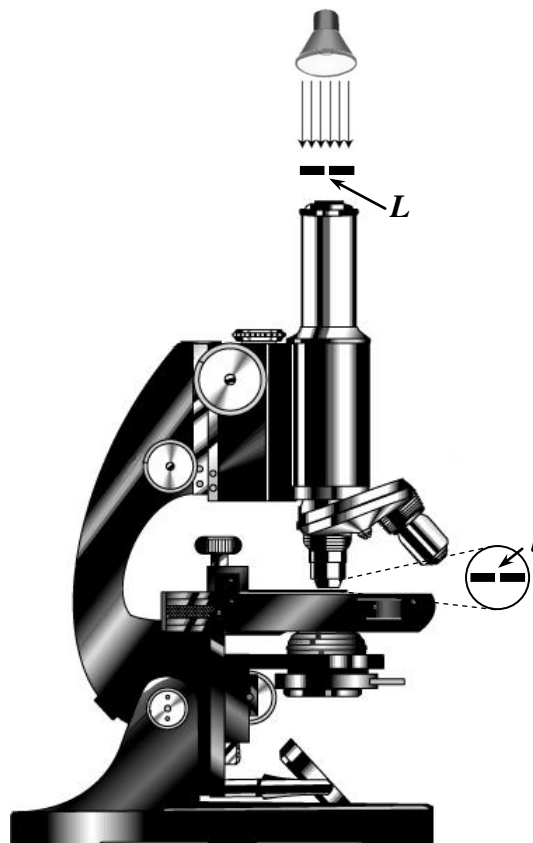
где  $I_0$  – интенсивность лазерных импульсов,  $d$  – расстояние между двумя лазерами, равноудаленными от поверхности на расстояние  $L$ . На рисунке *б* показан профиль поверхности материала после удаления части вещества вследствие абляции.

1. Поясните смысл заштрихованной области на рисунке *а*. **(2 балла)**
2. Найдите период результирующего профиля поверхности  $\Delta x$  **(2 балла)** и ширину  $\delta$  образовавшихся на облучаемой поверхности впадин, если известно, что для облучения использовались лазеры с длиной волны  $\lambda = 630$  нм, расстояния  $d$  и  $L$  равны  $d = 50$  см и  $L = 40$  см, а порог абляции составлял  $3I_0$ . **(4 балла)**

**Всего – 8 баллов**

### **Задача 5. Микроскоп наоборот**

Как известно, микроскоп служит для получения увеличенного изображения малых объектов.



Но в силу принципа обратимости хода лучей в оптике верно и обратное: разместив объект перед окуляром и освещая его светом можно получить его уменьшенное изображение вблизи фокальной плоскости объектива.

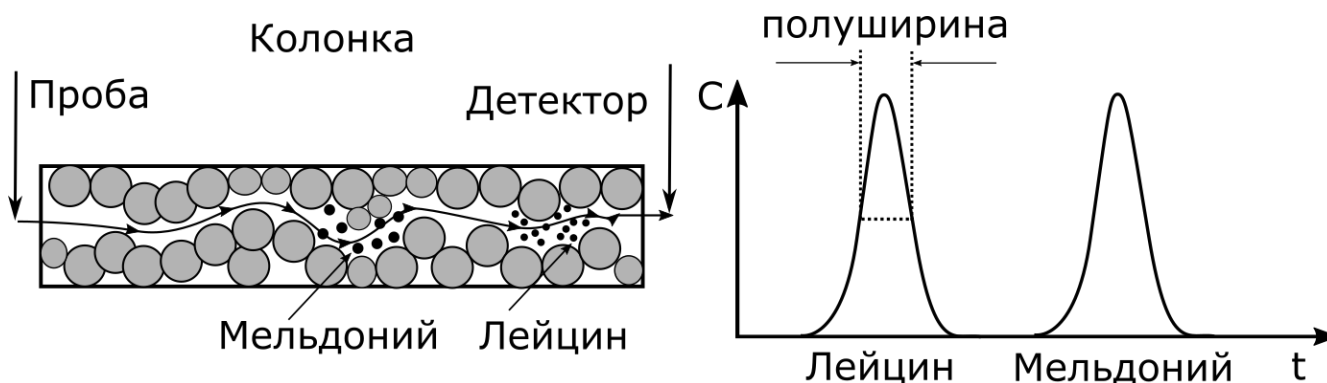
1. Каким будет зазор  $l$  на изображении между двумя темными полосками при их проецировании описанным выше методом на предметный стол микроскопа, если эти полоски расположить на расстоянии  $L = 0.2$  мм друг от друга и удалить на  $d = 5F$  от окуляра ( $F$  – фокусное расстояние окуляра)? **(3 балла)** Кратность увеличения объектива считать равной 80.
2. Оцените, при каком минимальном расстоянии между полосками  $L_{\min}$  они еще не будут сливаться на полученном изображении? Ответ поясните. **(5 баллов)**

**Всего – 8 баллов**



**Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)**  
**Более сложные задачи**

**Задача 6. Нанотехнологии в антидопинговой лаборатории**



В новой антидопинговой лаборатории под патронажем МГУ ученые планируют детектировать в пробах мельдоний с концентрацией не ниже 20 нг/мл. Для этого они будут использовать метод жидкостной хроматографии высокого давления. Суть метода заключается в просачивании пробы под давлением через колонку – стержень, наполненный нанопористым материалом. Это позволяет разделить молекулы разной молекулярной массы, т.к. их скорость можно считать обратно пропорциональной массе. На выходе из колонки с помощью детектора анализируется концентрация органических веществ в жидкости, зависимость от времени которой имеет вид набора пиков, соответствующих веществам с различной молекулярной массой. Если значения масс двух веществ близки, то пики перекрываются и определить состав пробы невозможно.

В исследуемой пробе помимо мельдония с молекулярной массой  $M_M = 181$  Да присутствует аминокислота лейцин с молекулярной массой  $M_L = 131$  Да. Полуширина пика определяется диффузией молекул в процессе инфильтрации через колонку, причем будем считать, что молекулы диффундируют на расстояние  $2\sqrt{Dt}$  (коэффициент диффузии  $D = 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с) относительно точки с максимальной концентрацией. Пики будем считать перекрывающимися, если расстояние между ними меньше среднего арифметического от полуширин.

Найдите скорости движения мельдония и лейцина в колонке длиной  $L = 15$  см, при которой перекрывания пиков не происходит.

**Всего – 20 баллов**

**Задача 7. И частица, и волна**

Корпускулярно-волновой дуализм присущ не только фотонам, но также и всем элементарным частицам. Убедиться в этом можно на примере эффекта дифракции, наблюдаемого как для света при его прохождении через набор щелей (дифракционную решетку), так и для электронов, которые можно представить таким образом и в виде волн. Причем оказывается, что количественные соотношения между волновыми и корпускулярными свойствами элементарных частиц – такие же, как и для фотонов света.

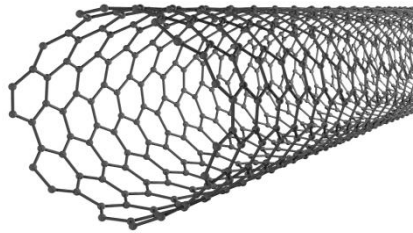
В роли пространственной дифракционной решетки для пучка электронов выступают кристаллы. Точно так же, на кристаллах наблюдается эффект дифракции рентгеновских лучей – электромагнитного излучения с длиной волны от сотых долей до единиц нанометров.

При каком ускоряющем напряжении необходимо разгонять первоначально покоившиеся электроны (заряд  $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$  Кл, масса  $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}$  кг), чтобы при их попадании на некий кристалл наблюдалась бы такая же дифракционная картина, как и в случае облучения этого же кристалла рентгеновскими лучами с длиной волны 0.1 нм? Постоянная Планка равна  $h = 6.6 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.

**Всего – 20 баллов**

### **Задача 8. «Дышащие» нанотрубки**

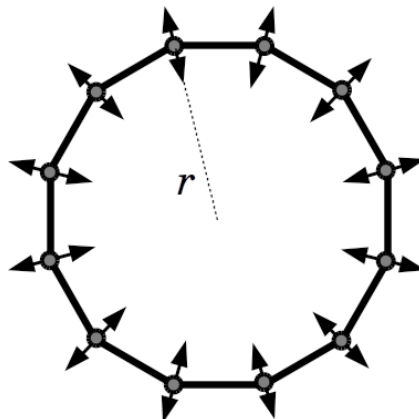
Углеродные нанотрубки (см. рис. 1) — материал, являющийся одной из модификаций углерода.



*Рисунок 1. Характерный вид углеродной нанотрубки.*

Атомы в нанотрубке участвуют в радиальных колебаниях, что приводит к поочередному расширению и сжатию трубки. Эти колебания проявляются в спектрах комбинационного рассеяния света (КРС) в виде пиков, положение которых зависит от радиуса трубки  $r$ . Такие колебания называют «дышащими модами» по аналогии с расширением и сжатием грудной клетки.

Оказывается, для того, чтобы объяснить экспериментально наблюдаемую зависимость частоты радиальных колебаний от радиуса трубки  $r$ , достаточно рассмотреть равносторонний многоугольник (рис. 2).



*Рисунок 2. Модельное представление сечения углеродной нанотрубки.*

Считайте, что силы, возникающие при расширении, подчиняются закону Гука с коэффициентом жесткости  $k$ . Масса атома углерода  $m$ , длина связи (сторона многоугольника)  $l_0$ .

1. Какие еще модификации углерода Вы знаете? Назовите не менее 4-х. **(4 балла)**
2. Найдите, используя предложенную модель, зависимость частоты радиальных колебаний от диаметра трубки  $r$ . Считайте, что  $r \gg l_0$ . **(16 баллов)**

**Всего – 20 баллов**



**Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)**  
**Решения. Простые задачи (вариант 2)**

**Решение задачи 1. Микрофон**

1. Из условия равенства сил, действующих на обкладку:

$$k\Delta x = \Delta p S$$

$$\Delta p = \frac{k\Delta x}{S} = \frac{10^3 \text{ Н/м} \cdot 10 \text{ нм}}{10^4 \text{ мкм}^2} = 10^3 \text{ Па}$$

2. По определению напряжения на конденсаторе:

$$\Delta U = \frac{q}{C_2} - \frac{q}{C_1} = q \left( \frac{d_2}{\varepsilon \varepsilon_0 S} - \frac{d_1}{\varepsilon \varepsilon_0 S} \right) = \frac{q\Delta x}{\varepsilon \varepsilon_0 S} = \frac{10^{-11} \text{ Кл} \cdot 10^{-8} \text{ м}}{10 \cdot 8,8 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot 10^{-8} \text{ м}^2} = 113 \text{ мВ}$$

**Решение задачи 2. Оптоакустические наноконпозиты**

Интенсивность оптоакустического сигнала пропорциональна:

$$I \sim \frac{\beta}{c} H, \tag{1}$$

где  $H$  – мощность нагрева, которая в свою очередь пропорциональна коэффициенту поглощения. Поэтому, чтобы узнать во сколько раз возрастет оптоакустический сигнал, необходимо разделить выражение (1) само на себя для случаев обычной наночастицы германия и наноконпозита. При этом, теплоемкость наночастицы будет усредненной (эффективной), а коэффициент теплового расширения будет равен  $\beta_p$ , т.к. полимер и наночастица будут расширяться независимо друг от друга. Получим:

$$\eta = I_{comp}/I_G = \left( \frac{\beta_p}{\beta_G} \right) \left( \frac{(1-P)\rho_G C_G + P\rho_p C_p}{(1-P)\rho_G + P\rho_p} \right) / \left( \frac{(1-P)\rho_G C_G + P\rho_W C_W}{(1-P)\rho_G + P\rho_W} \right)$$

$$\frac{120 \cdot (5.3 \cdot 0.32 + 1.5)}{6(5.3 \cdot 0.32 + 4.2)} = 10.8 \tag{2}$$

**Решение задачи 3. Магнитные наночастицы для диагностики**

- В порядке убывания АБВГ или БАВГ. В точках А и Б индукция равна и максимальна, т.к. внешнее поле складывается с вкладом диполя. В точках В и Г поле диполя вычитается из внешнего, но в точке Г вычитаемое больше и результирующее поле минимально.
- Рассчитаем поле от наночастицы на расстоянии R и приравняем его  $10^{-6}$  от  $B_0$ .

$$\frac{\mu_0 \cdot P}{4\pi r^3} = 10^{-6} B_0. \tag{3}$$

Отсюда:

$$B_0 = 0.25 \text{Тл} \quad (4)$$

#### Решение задачи 4. Лазерное наноструктурирование поверхности

1. Из сравнения верхней и нижней частей рисунка можно заключить, что заштрихованная область соответствует значениям интенсивности лазерного излучения, превышающим порог абляции (ответ на первый вопрос).
2. Период результирующего профиля поверхности  $\Delta x$  будет равен периоду функции  $I(x)$ . Последний можно найти из условия, что период функции  $\cos^2 \varphi$  равен  $\pi$ , следовательно:

$$\frac{\pi d}{\lambda L} \Delta x = \pi, \text{ откуда } \Delta x = \frac{\lambda L}{d} = 400 \text{ нм (ответ на второй вопрос).}$$

Наконец, ширина образовавшихся на облучаемой поверхности впадин определяется из условий:

$$4I_0 \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L} x\right) = I_0,$$

$$\cos \frac{\pi d}{\lambda L} x = \pm \frac{1}{2}, \quad \frac{\pi d}{\lambda L} x = \begin{cases} \frac{\pi}{3} \\ \frac{2\pi}{3} \end{cases}, \quad x_1 = \frac{\lambda L}{3d}, x_2 = \frac{2\lambda L}{3d}$$

$$\delta = \Delta x - (x_2 - x_1) = \Delta x - \frac{\lambda L}{3d} = \frac{2\lambda L}{3d} \approx 267 \text{ нм (ответ на третий вопрос).}$$

#### Решение задачи 5. Микроскоп наоборот

1. Полный коэффициент уменьшения микроскопа  $k_{\text{полн}}$  в предложенной схеме будет равен произведению коэффициента уменьшения окуляра  $k_{\text{ок}}$  на коэффициент уменьшения объектива  $k_{\text{об}}$  (при этом  $k_{\text{об}}$  равен кратности увеличения объектива в силу принципа обратимости).  $k_{\text{ок}}$  найдем с помощью формулы тонкой линзы:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}, \quad d = 4F, \quad f = \frac{4F}{3}, \quad k_{\text{ок}} = \frac{d}{f} = 3$$

Таким образом,  $k_{\text{полн}} = 3 \cdot 100 = 300$ , следовательно, зазор  $l$  между полосками на изображении будет равен  $l = L/300 = 500 \text{ нм}$  (ответ на первый вопрос).

2. Минимальное расстояние между полосками  $L_{\text{min}}$ , при котором они еще не будут сливаться на полученном изображении, определяется (в предельном случае независимо от наблюдателя) дифракционным пределом разрешения, который можно оценить как половину длины волны света. Для белого света можно взять среднее значение длины волны 550 нм, поэтому предельно разрешимое расстояние между полосками на их изображении можно оценить как  $l_{\text{min}} \approx 550/2 = 275 \text{ нм}$ . Откуда  $L_{\text{min}} \approx l_{\text{min}} \cdot k_{\text{полн}} = 82.5 \text{ мкм}$  (ответ на второй вопрос).





**Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)  
Решения. Простые задачи (вариант 4)**

**Решение задачи 1. Микрофон**

1. Из условия равенства сил, действующих на обкладку:

$$k\Delta x = \Delta p S$$

$$\Delta x = \frac{S\Delta p}{k} = \frac{10^{-8}\text{м}^2 \cdot 13,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 10^{-3}\text{м}}{10^3 \text{ Н/м}} = 1,32\text{нм}$$

2. По определению напряжения на конденсаторе:

$$\Delta U = \frac{q}{C_2} - \frac{q}{C_1} = q \left( \frac{d_2}{\varepsilon \varepsilon_0 S} - \frac{d_1}{\varepsilon \varepsilon_0 S} \right) = \frac{q\Delta x}{\varepsilon \varepsilon_0 S} = \frac{10^{-11}\text{Кл} \cdot 1,32 \cdot 10^{-9}\text{м}}{10 \cdot 8,8 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot 10^{-8}\text{м}^2} = 15\text{мВ}$$

**Решение задачи 2. Оптоакустические наноконпозиты**

Интенсивность оптоакустического сигнала пропорциональна:

$$I \sim \frac{\beta}{c} H, \tag{5}$$

где  $H$  – мощность нагрева, которая в свою очередь пропорциональна коэффициенту поглощения. Поэтому, чтобы узнать во сколько раз возрастет оптоакустический сигнал, необходимо разделить выражение (1) само на себя для случаев обычной наночастицы германия и наноконпозита. При этом, теплоемкость наночастицы будет усредненной (эффективной), а коэффициент теплового расширения будет равен  $\beta_p$ , т.к. полимер и наночастица будут расширяться независимо друг от друга. Получим:

$$\eta = I_{comp}/I_{Si} = \left( \frac{\beta_p}{\beta_{Si}} \right) \left( \frac{(1-P)\rho_{Si}C_{Si} + P\rho_p C_p}{(1-P)\rho_{Si} + P\rho_p} \right) / \left( \frac{(1-P)\rho_{Si}C_{Si} + P\rho_w C_w}{(1-P)\rho_{Si} + P\rho_w} \right)$$

$$\frac{120 \cdot (2.3 \cdot 0.7 + 1.5)}{2.6(2.3 \cdot 0.7 + 4.2)} = 24.7 \tag{6}$$

**Решение задачи 3. Магнитные наночастицы для диагностики**

1. В порядке возрастания ГВАБ или ГВБА. В точках А и Б индукция равна и максимальна, т.к. внешнее поле складывается с вкладом диполя. В точках В и Г поле диполя вычитается из внешнего, но в точке Г вычитаемое больше и результирующее поле минимально.
2. Рассчитаем поле от наночастицы на расстоянии R и приравняем его  $10^{-6}$  от  $B_0$ .

$$\frac{\mu_0 \cdot P}{4\pi r^3} = 10^{-6} B_0. \tag{7}$$

Отсюда:

$$r = 100 \sqrt[3]{\frac{\mu_0 P}{4\pi B_0}} = 100 \sqrt[3]{\frac{10^{-7} \cdot 1.6 \cdot 10^{-22}}{2}} = 20 \cdot 10^{-9} = 20 \text{ нм} \quad (8)$$

#### Решение задачи 4. Лазерное наноструктурирование поверхности

1. Из сравнения верхней и нижней частей рисунка можно заключить, что заштрихованная область соответствует значениям интенсивности лазерного излучения, превышающим порог абляции (ответ на первый вопрос).
2. Период результирующего профиля поверхности  $\Delta x$  будет равен периоду функции  $I(x)$ . Последний можно найти из условия, что период функции  $\cos^2 \varphi$  равен  $\pi$ , следовательно:

$$\frac{\pi d}{\lambda L} \Delta x = \pi, \text{ откуда } \Delta x = \frac{\lambda L}{d} = 504 \text{ нм (ответ на второй вопрос).}$$

Наконец, ширина образовавшихся на облучаемой поверхности впадин определяется из условий:

$$4I_0 \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L} x\right) = 3I_0,$$

$$\cos \frac{\pi d}{\lambda L} x = \pm \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad \frac{\pi d}{\lambda L} x = \begin{cases} \frac{\pi}{6} \\ \frac{5\pi}{6} \end{cases}, \quad x_1 = \frac{\lambda L}{6d}, \quad x_2 = \frac{5\lambda L}{6d}$$

$$\delta = \Delta x - (x_2 - x_1) = \Delta x - \frac{2\lambda L}{3d} = \frac{\lambda L}{3d} = 168 \text{ нм (ответ на третий вопрос).}$$

#### Решение задачи 5. Микроскоп наоборот

1. Полный коэффициент уменьшения микроскопа  $k_{\text{полн}}$  в предложенной схеме будет равен произведению коэффициента уменьшения окуляра  $k_{\text{ок}}$  на коэффициент уменьшения объектива  $k_{\text{об}}$  (при этом  $k_{\text{об}}$  равен кратности увеличения объектива в силу принципа обратимости).  $k_{\text{ок}}$  найдем с помощью формулы тонкой линзы:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}, \quad d = 5F, \quad f = \frac{5F}{4}, \quad k_{\text{ок}} = \frac{d}{f} = 4$$

Таким образом,  $k_{\text{полн}} = 4 \cdot 80 = 320$ , следовательно, зазор  $l$  между полосками на изображении будет равен  $l = L/320 = 625 \text{ нм}$  (ответ на первый вопрос).

2. Минимальное расстояние между полосками  $L_{\text{мин}}$ , при котором они еще не будут сливаться на полученном изображении, определяется (в предельном случае независимо от наблюдателя) дифракционным пределом разрешения, который можно оценить как половину длины волны света. Для белого света можно взять среднее значение длины волны 550 нм, поэтому предельно разрешимое расстояние между полосками на их изображении можно оценить как  $l_{\text{мин}} \approx 550/2 = 275 \text{ нм}$ . Откуда  $L_{\text{мин}} \approx l_{\text{мин}} \cdot k_{\text{полн}} = 88 \text{ мкм}$  (ответ на второй вопрос).



**Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)**  
**Решения. Более сложные задачи**

**Решение задачи 6. Нанотехнологии в антидопинговой лаборатории**

Т.к. скорость движения молекул,  $v$ , обратно пропорциональна их массе, время выхода из колонки,  $t$ , – прямо пропорционально массе,  $M$ :

$$v = \frac{a}{M} \quad (9)$$

$$t = \frac{LM}{a}, \quad (10)$$

где  $a$  – коэффициент пропорциональности.  
 Таким образом, для мельдония и лейцина получим:

$$v_M = \frac{a}{M_M}; v_L = \frac{a}{M_L}, \quad (11)$$

$$t_M = \frac{LM_M}{a}; t_L = \frac{LM_L}{a} \quad (12)$$

Отсюда время между пиками равно:

$$\Delta t = \frac{L}{a}(M_M - M_L). \quad (13)$$

Полуширины пиков равны на временной диаграмме можно выразить через длину диффузии:

$$\Delta t_M = \frac{2\sqrt{Dt_M}}{v_M} = \frac{2M_M\sqrt{DLM_M}}{a^{3/2}} = 2\sqrt{DL}a^{-3/2} \cdot M_M^{3/2} \quad (14)$$

$$\Delta t_L = \frac{2\sqrt{Dt_L}}{v_L} = \frac{2M_L\sqrt{DLM_L}}{a^{3/2}} = 2\sqrt{DL}a^{-3/2} \cdot M_L^{3/2} \quad (15)$$

Условие отсутствия перекрывания пиков:

$$\Delta t > \frac{\Delta t_M + \Delta t_L}{2}. \quad (16)$$

$$\frac{L}{a}(M_M - M_L) > \sqrt{DL}a^{-3/2}(M_M^{3/2} + M_L^{3/2}). \quad (17)$$

$$a > \frac{D}{L} \left( \frac{M_M^{3/2} + M_L^{3/2}}{M_M - M_L} \right)^2 \quad (18)$$

Подставим числа:

$$a = \frac{10^{-6}}{0.15} \left( \frac{0.077 + 0.0587}{0.181 - 0.151} \right)^2 = 4.9 \cdot 10^{-5}. \quad (19)$$

Найдем скорость движения мельдона и лейцина:

$$v_M = \frac{a}{M_M} > 0.23 \text{ мм/с} \quad (20)$$

$$v_L = \frac{a}{M_L} > 0.32 \text{ мм/с} \quad (21)$$

## Решение задачи 7. И частица, и волна

Эквивалентность дифракционных картин означает равенство длин волн для рентгеновских лучей и электронов. Найдем выражение для длины волны электронов из того факта, что для них количественные соотношения между волновыми и корпускулярными свойствами такие же, как и для фотонов света. Корпускулярные свойства света можно выразить с помощью формулы:

$$E = pc,$$

полученной из более общего выражения  $\vec{p} = E\vec{v}/c^2$ .

С другой стороны фотоны, как кванты света, обладают длиной волны, которую можно найти из следующей формулы для их энергии:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (c = \lambda\nu - \text{скорость света}).$$

Приравнявая оба выражения для энергии, получаем выражение, связывающее длину волны фотона и его импульс  $p$ :

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

Это же соотношение верно и для электронов, движущихся со скоростями  $v$  и обладающих импульсом  $p_e = m_e v$  и энергией  $E_e = \frac{p_e^2}{2m_e}$ . В результате, импульс электрона, разогнанного в электрическом поле с разностью потенциалов  $U$ , равен:

$$p_e = \frac{h}{\lambda_e} = \sqrt{2m_e E_e} = \sqrt{2m_e eU},$$

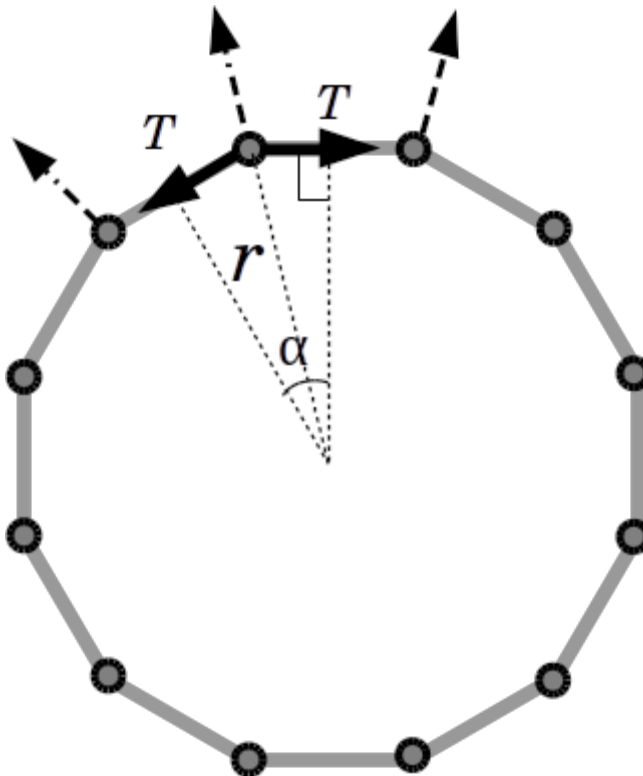
где кинетическая энергия, которую приобретает электрон при прохождении разности потенциалов  $U$ , равна  $E_e = eU$ . Таким образом, зная значение длины волны для электрона ( $\lambda_e = 0.1$  нм), можно найти искомое ускоряющее напряжение по формуле:

$$U = \frac{h^2}{2m_e e \lambda_e^2} \approx 150 \text{ В.}$$

### Решение задачи 8. «Дышащие» нанотрубки

1. Графит, графен, алмаз, фуллерены, одностенные и многостенные нанотрубки, карбин (линейно-цепочечный углерод), аморфный углерод.

2.



Запишем уравнение динамики (2-ой закон Ньютона) для одного атома, на который действуют силы со стороны соседей:

$$m a_r = -2T \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

Ускорение  $a_r = \frac{d(r-r_0)}{dt} = \Delta \ddot{r}$ .

Сила упругости:  $T = k \Delta l$ .

Из треугольника:  $l = 2r \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ , откуда  $\Delta l = 2\Delta r \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$

Приходим к уравнению колебаний:  $m \Delta \ddot{r} + 4k \Delta r \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 0$ , откуда

$$\omega_0^2 = \frac{4k}{m} \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

При большом числе сторон угол можно считать маленьким и воспользоваться  $\sin(x) \approx x$ .

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m} \alpha^2.$$

Для многоугольника справедливо:  $\alpha = \frac{2\pi}{N}$ , где  $N$  — число сторон. При большом числе сторон сумма длин сторон приближенно равна длине окружности  $2\pi r \approx l_0 N$ . Поэтому угол можно выразить  $\alpha = \frac{l_0}{r}$ .

Окончательно:  $\omega_0 = \frac{l_0}{r} \sqrt{\frac{k}{m}}$ .

*Вывод:* частота колебаний обратно пропорциональна радиусу нанотрубки. Именно такая зависимость наблюдается экспериментально.



**Химия для школьников 7 – 11 класса (очный тур)**  
**Простые задачи (вариант 1)**

**Задача 1.**

Одно из веществ для изготовления нанонитей состоит из двух элементов, мольные доли которых равны, а массовые отличаются в 1.93 раза. Вещество получают взаимодействием металла с аммиаком. Установите формулу вещества и напишите уравнение реакции.

**Всего – 8 баллов**

**Задача 2.**

Сколько миллилитров 0.001 М раствора  $\text{HAuCl}_4$  необходимо взять для получения наночастиц золота общей массой 50 мг?

**Всего – 8 баллов**

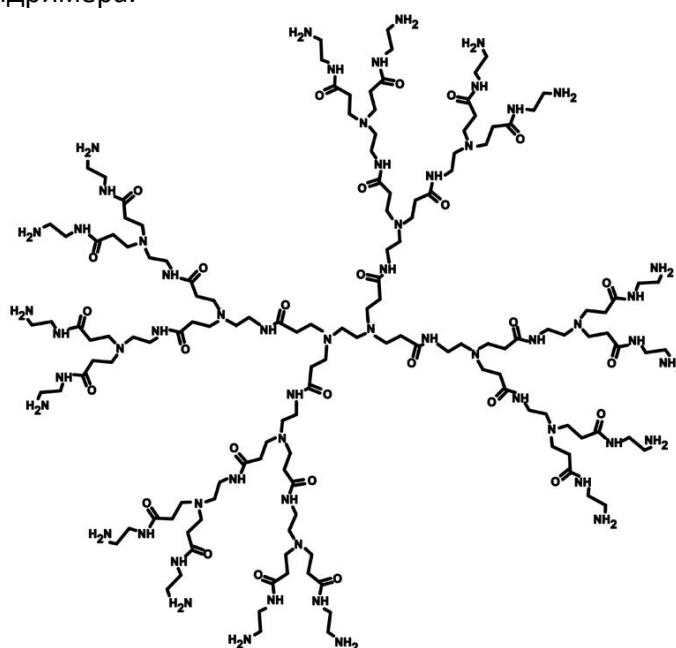
**Задача 3.**

В молекуле фуллерена  $\text{C}_{84}$  каждый атом углерода связан с тремя другими атомами и имеет валентность IV. Сколько двойных и одинарных связей имеется в молекуле  $\text{C}_{84}$ ? Ответ обоснуйте.

**Всего – 8 баллов**

**Задача 4.**

На рисунке изображена структура дендримера. Установите формулу ядра и определите номер поколения дендримера.



**Всего – 8 баллов**

### **Задача 5.**

Наночастицы родия (плотность  $12.4 \text{ г/см}^3$ ) имеют форму куба со стороной 20 нм. Рассчитайте удельную поверхность наночастиц (отношение площади поверхности к массе,  $\text{м}^2/\text{г}$ ).

**Всего – 8 баллов**





**Химия для школьников 7 – 11 класса (очный тур)  
 Простые задачи (вариант 3)**

**Задача 1.**

Одно из веществ для изготовления нанонитей состоит из двух элементов, мольные доли которых равны, а массовые отличаются в 4.09 раза. Вещество получают разложением гидроксида металла. Установите формулу вещества и напишите уравнение реакции.

**Всего – 8 баллов**

**Задача 2.**

Сколько граммов 0.2%-го раствора  $H_2PtCl_6$  необходимо взять для получения наночастиц платины общей массой 60 мг?

**Всего – 8 баллов**

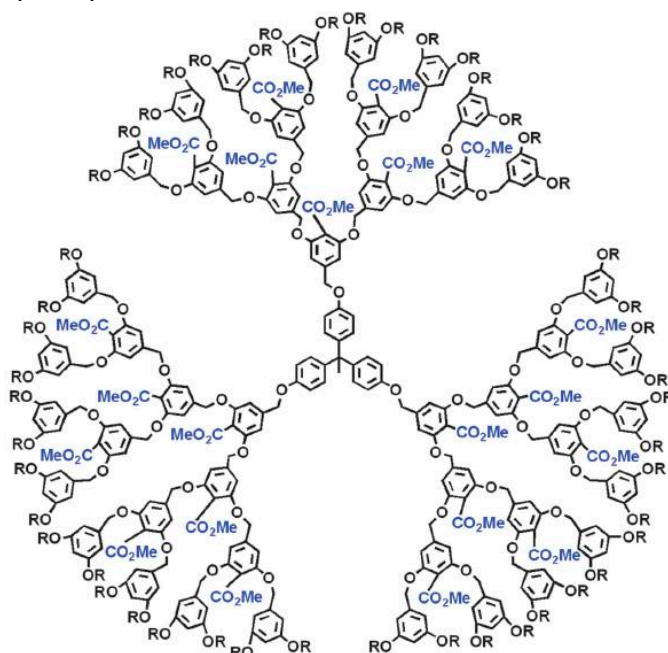
**Задача 3.**

В молекуле фуллерена  $C_{76}$  каждый атом углерода связан с тремя другими атомами и имеет валентность IV. Сколько двойных и одинарных связей имеется в молекуле  $C_{76}$ ? Ответ обоснуйте.

**Всего – 8 баллов**

**Задача 4.**

На рисунке изображена структура дендримера. Установите формулу ядра и определите номер поколения дендримера.



**Всего – 8 баллов**

### **Задача 5.**

Наночастицы золота (плотность  $19.3 \text{ г/см}^3$ ) имеют форму шара с диаметром 4 нм. Рассчитайте удельную поверхность наночастиц (отношение площади поверхности к массе,  $\text{м}^2/\text{г}$ ).

**Всего – 8 баллов**



**Химия для школьников 7 – 11 класса (очный тур)**  
**Более сложные задачи**

**Задача 6. Псевдо-фарфор**

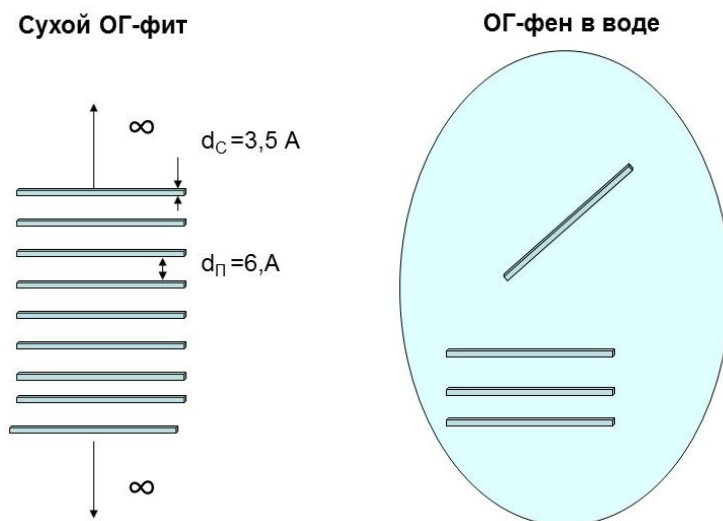
Для имитации белоснежного китайского фарфора на Ближнем Востоке, а затем и в европейских странах керамику стали покрывать белой стекловидной эмалью. Для ее получения порошкообразное стекло смешивали с порошком («пепел»), полученном при сжигании сплава металла X со свинцом. Известно, что из 1.000 г сплава образуется 1.147 г пепла. Смесь тонко измельчали, разводили в воде и окунали в нее изделия. При нагревании в печи поверхность изделия становилась белой и блестящей, напоминающей фарфор. Рассеяние света происходит на наночастицах вещества Y, содержащих 78.81% элемента X. Если в измельченное стекло добавлять продукт Y, полученный при сжигании металла X без свинца, эмаль получается худшего качества, так как содержит частицы вещества Y, размер которых существенно превышает 100 нм. Известно, что при длительном нагревании «пепла», содержащего эквимольные количества свинца и X, при 500°C он полностью превращается в вещество Z, которое разлагается при температуре выше 660°C.

3. Определите неизвестные вещества, запишите уравнения реакций. **(12 баллов)**
4. Определите состав сплава в массовых процентах. **(6 баллов)**
5. Объясните, какую роль играет свинец в образовании наночастиц Y в эмали. **(2 балла)**

**Всего – 20 баллов**

**Задача 7. Как ОГ-фит превращается в ОГ-фен**

Оксид графита (ОГ-фит), слегка окисленный графит, известен химикам с середины 19 века. Это – слоистая структура, такая же, как сам графит (см. рис. 1).



*Рис. 1. Сухой ОГ-фит (слева), в нем количество слоев не ограничено. Справа – ОГ-фен, растворенный в воде. Количество слоев в одной наночастице – не больше 10. На рисунке: одно- и трехслойный ОГ-фен. Кислородосодержащие группы на поверхности ОГ-фена и ОГ-фита не показаны*

К графитовым слоям присоединены кое-где кислородосодержащие группы (на рисунке не показаны). Расстояние между слоями в сухом ОГ-фите,  $d_{п} = 6$  А. Толщина одной плоскости ОГ-фита составляет  $d_c = 3.5$  А. ОГ-фит гидрофилен и при контакте с водой эксфолирует, т.е. разделяется на плоскости и переходит в раствор. Изолированные плоскости ОГ-фита, оторванные от кристалла, называют оксидом графена (ОГ-феном). Именно эти *наночастицы* привлекают в последние годы огромный интерес исследователей. В современной литературе ОГ-феном называют любую стопку, состоящую из 1-10 плоскостей ОГ-фита (см. рис. 1). Раствор ОГ-фена в воде может иметь концентрацию 10 мг/мл. Плотность твердого сухого ОГ-фита – 2 г/см<sup>3</sup>.

Пользуясь сведениями, приведенными в условии задачи, ответьте на следующие вопросы:

1. Склонен ли сам графит к эксфолиации? Если да, предложите растворитель для такого процесса. **(2 балла)**
2. ОГ-фит эксфолирует под действием воды. Какие еще растворители могут разделить ОГ-фит на плоскости? Выберите нужные растворители из списка: метанол, бензол, гексан, ацетонитрил, циклогексан. **(3 балла)**
3. Оцените объем свободного межплоскостного пространства (см<sup>3</sup>/г ОГ-фита) в сухом ОГ-фите. **(4 балла)**
4. Какова концентрация в водном растворе (штуки/мл) наночастиц ОГ-фена, содержащих ровно одну плоскость? Считайте, что вероятность образования любых стопок ОГ-фена, от 1-го до 10 слоев, одинакова, а площадь слоев в образце ОГ-фита составляет 1 мм<sup>2</sup>. При превращении в ОГ-фен параметры слоя не меняются. **(7 баллов)**
5. Если в межплоскостное пространство ОГ-фита попадает вода, ОГ-фит «набухает». Межплоскостные расстояния  $d$  увеличиваются. Величины  $d$  определяют методом рентгенофазового анализа. Внимательно посмотрите на рис. 2 и попробуйте определить, чему равно межплоскостное расстояние  $d_{нп}$ ? **(4 балла)**

ОГ-фит, набухший в воде

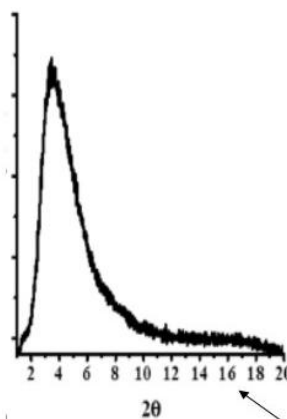


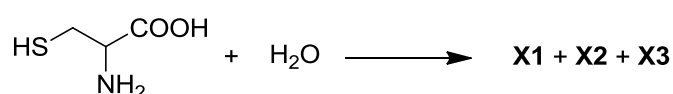
Рис. 2. Результаты эксперимента, выполненного методом рентгенофазового анализа.  $\lambda$  – приборная константа

**Всего – 20 баллов**

## Задача 8. Неожиданные превращения бактерии

В 2016 году в журнале Nature исследовательская группа из США опубликовала статью, в которой были отражены результаты их работы в области возобновляемых источников энергии. Как выразились авторы в преамбуле статьи, в данном исследовании они пошли по пути объединения двух “миров”: полупроводников и живых организмов с их необыкновенной каталитической мощностью.

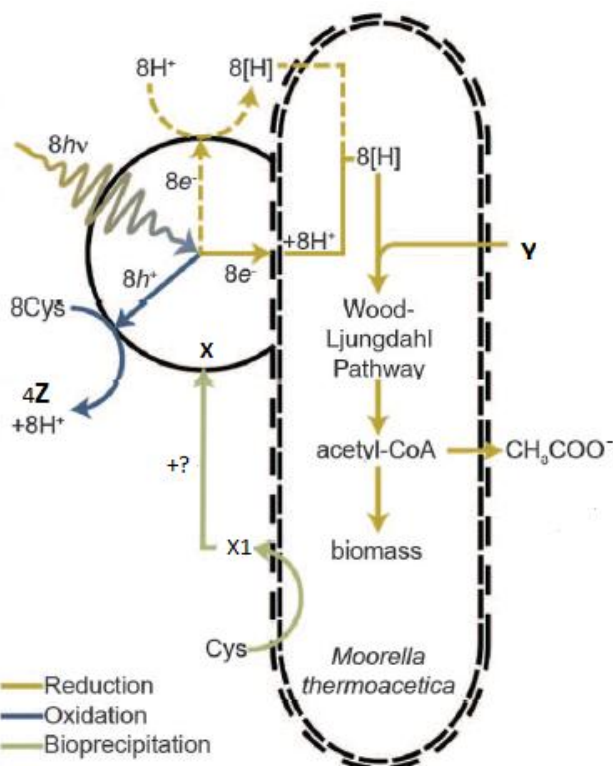
Исследователями была получена гибридная система, содержащая нефотосинтезирующие бактерии *Moorella thermoacetica* и наночастицы соединения **X** желтого цвета. Образование **X** протекало при непосредственном участии бактерии, при этом ключевым этапом выступал ферментативный гидролиз аминокислоты цистеина, Cys (ниже приведено уравнение реакции в молекулярном виде):



Учтите, что в питательную среду в обязательном порядке добавлялась неорганическая соль **A**, необходимая для биосинтеза **X** при участии **X1**.

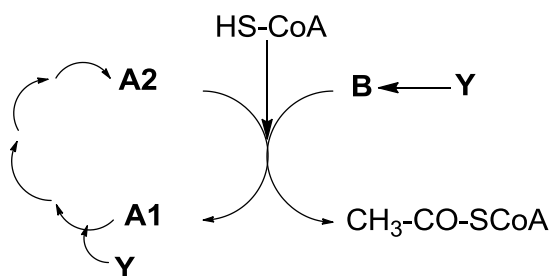
1. Установите формулы соединений **X1-X3**, если **X1** и **X2** – бинарные соединения. **(1.5 балла)**
2. Установите формулу бинарного соединения **X**, если содержание одного из элементов в нем больше, чем другого на 55.6% (по массе). Приведите расчеты и укажите все теоретически возможные варианты. **(6 баллов)**

Присутствие в системе наночастиц соединения **X**, способного к участию в фотосинтетических реакциях, кардинально изменило свойства бактерий, сделав их способными к фотосинтезу.



3. Изобразите структурную формулу соединения **Z**. (2 балла)
4. Можно ли установить, какой энантиомер цистеина участвует в разобранных превращениях? Если да, то приведите его структуру с указанием стереохимических деталей. (2 балла)

Бактерия *Moorella thermoacetica* способна синтезировать ацетил-КоА нетрадиционным путем – из соединения **Y** по пути Wood–Ljungdahl. Образование ацетил-КоА сопряжено с циклическим метаболизмом производного (**A1**) одного из витаминов и протекает согласно следующей схеме (CoA-SH – кофермент А):



Известны мольные доли водорода и азота в соединениях **A1** и **A2** (число атомов азота в молекулах **A1** и **A2** одинаково):

| соединение | $\chi$ (H),% | $\chi$ (N),% |
|------------|--------------|--------------|
| <b>A1</b>  | 43.103       | 12.069       |
| <b>A2</b>  | 41.818       | 12.727       |

5. Определите общее число атомов в молекулах **A1** и **A2**, если известно, что оно не превышает ста для каждого из соединений. (3 балла)
6. Установите молекулярные формулы соединений **Y** и **B**, если в реакции, в которой непосредственно образуется ацетил-КоА, все вещества взаимодействуют и образуются в эквимольных количествах. (4 балла)
7. Напишите суммарное уравнение фотосинтетической реакции, протекающей в рассмотренной гибридной системе. (1.5 балла)

**Всего – 20 баллов**



## Химия для школьников 7 – 11 класса (очный тур) Решения. Простые задачи (вариант 1)

### Решение задачи 1.

Формула вещества – MeN.  $M(\text{Me}) = 14 \cdot 1.93 = 27$  г/моль – это Al. Вещество – **AlN**.

Уравнение реакции:  $2\text{Al} + 2\text{NH}_3 = 2\text{AlN} + 3\text{H}_2$ .

### Решение задачи 2.

$$m(\text{Au}) = 0.050 \text{ г}, \nu(\text{Au}) = 0.050 / 197 = 2.54 \cdot 10^{-4} \text{ моль} = \nu(\text{HAuCl}_4).$$

$$V(\text{p-ра}) = \nu / C = 2.54 \cdot 10^{-4} \text{ моль} / 0.001 \text{ моль/л} = 0.254 \text{ л} = \mathbf{254 \text{ мл}}.$$

### Решение задачи 3.

Каждый атом углерода имеет валентность IV и связан с тремя другими атомами, следовательно с одним соседним атомом он образует двойную связь, а с двумя другими – одинарные связи. В одной двойной связи участвует два атома, то же – в одной одинарной. Общее число двойных связей:  $84 \cdot 1 / 2 = \mathbf{42}$ , общее число одинарных связей:  $84 \cdot 2 / 2 = \mathbf{84}$ .

### Решение задачи 4.

Ядро –  $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ , 3-е поколение.

### Решение задачи 5.

Возьмем одну наночастицу. Сторона куба  $a = 20 \text{ нм} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ см}$ .

Куб имеет 6 граней общей площадью:  $S = 6a^2 = 2.4 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2 = 2.4 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ .

Масса куба:  $m = \rho V = \rho a^3 = 12.4 \text{ г/см}^3 \cdot (2 \cdot 10^{-6} \text{ см})^3 = 9.92 \cdot 10^{-17} \text{ г}$ .

Удельная поверхность:  $S_{\text{уд}} = S / m = 2.4 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2 / 9.92 \cdot 10^{-17} \text{ г} = \mathbf{24.2 \text{ м}^2/\text{г}}$ .



**Химия для школьников 7 – 11 класса (очный тур)**  
**Решения. Простые задачи (вариант 3)**

**Решение задачи 1.**

Разложением гидроксидов получают оксиды. Формула вещества – MeO.

$M(\text{Me}) = 16 \cdot 4,09 = 65,4$  г/моль – это Zn. Вещество – ZnO.

Уравнение реакции:  $\text{Zn}(\text{OH})_2 = \text{ZnO} + \text{H}_2\text{O}$ .

**Решение задачи 2.**

$m(\text{Pt}) = 0,060$  г,  $\nu(\text{Pt}) = 0,060 / 195 = 3,08 \cdot 10^{-4}$  моль =  $\nu(\text{H}_2\text{PtCl}_6)$ .

$m(\text{H}_2\text{PtCl}_6) = \nu \cdot M = 3,08 \cdot 10^{-4} \cdot 410 = 0,126$  г.

$m(\text{p-ра}) = m(\text{H}_2\text{PtCl}_6) / \omega = 0,126 / 0,002 = 63$  г.

**Решение задачи 3.**

Каждый атом углерода имеет валентность IV и связан с тремя другими атомами, следовательно с одним соседним атомом он образует двойную связь, а с двумя другими – одинарные связи. В одной двойной связи участвует два атома, то же – в одной одинарной. Общее число двойных связей:  $76 \cdot 1 / 2 = 38$ , общее число одинарных связей:  $76 \cdot 2 / 2 = 76$ .

**Решение задачи 4.**

Ядро –  $\text{CH}_3\text{C}(\text{C}_6\text{H}_4\text{OH})_3$ , 4-е поколение.

**Решение задачи 5.**

Возьмем одну наночастицу. Радиус шара  $r = 2$  нм =  $2 \cdot 10^{-7}$  см.

Площадь поверхности шара:  $S = 4\pi r^2 = 5,03 \cdot 10^{-13}$  см<sup>2</sup> =  $5,03 \cdot 10^{-17}$  м<sup>2</sup>.

Масса шара:  $m = \rho V = \rho \cdot (4/3\pi r^3) = 19,3$  г/см<sup>3</sup> ·  $4/3\pi \cdot (2 \cdot 10^{-7}$  см)<sup>3</sup> =  $6,47 \cdot 10^{-17}$  г.

Удельная поверхность:  $S_{\text{уд}} = S / m = 5,03 \cdot 10^{-17}$  м<sup>2</sup> /  $6,47 \cdot 10^{-17}$  г = **77,7 м<sup>2</sup>/г**.





**Химия для школьников 7 – 11 класса (очный тур)**  
**Решения. Более сложные задачи**

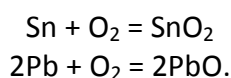
**Решение задачи 6. Псевдо-фарфор**

Предположим, что полученный пепел – это оксиды металлов PbO и  $XO_{n/2}$ , тогда зная массовую долю X в оксиде найдем неизвестный металл:

$$X / (X+8n) = 0.7881$$

$$X = 29.75n, \text{ при } n = 4, X = 119, X - \text{Sn.}$$

Теперь можно определить состав сплава олова со свинцом:



Пусть было x моль олова и y моль свинца, тогда получилось x моль оксида олова и y моль оксида свинца (II). Составим систему уравнений:

$$119x + 207y = 1$$

$$151x + 223y = 1.147$$

y = 0.00307 моль, или 3.07ммоль, m(Pb) = 0.6356 г, ω%(Pb) = 63.56%.  
 x = 0.00306 моль, или 3.06 ммоль, m(Sn) = 0.3654 г, ω%(Sn) = 36.54%.

Металлы взяты в эквимольном количестве.

Уравнение образования Z:  $\text{SnO}_2 + \text{PbO} = \text{PbSnO}_3$ .

Наночастицы оксида олова формируются при разложении станната свинца при температуре выше 660°C.

**Решение задачи 7. Как ОГ-фит превращается в ОГ-фен**

1. Таких растворителей нет. Эксфолиация графита с помощью растворителей невозможна.
2. Для эксфолиации ОГ-фита подходят полярные растворители. В списке таких два: метанол и ацетонитрил. Бензол, гексан и циклогексан – не подходят.
3. Объем 1 г ОГ-фита равен:  $V = \frac{1}{\rho} = 0.5 \text{ см}^3$ .

Глядя на рис. 1 из условия задачи, отношение общего объема пустот к общему объему слоев ОГ можно оценить как

$$\frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{с}}} = \frac{d_{\text{п}}}{d_{\text{с}}} = \kappa = 1.7$$

Объем межплоскостного пространства равен:

$$V = V_{II} + V_C = V_{II} \times \left(1 + \frac{1}{k}\right) = V_{II} \times 1.6;$$

$$V_{II} = \frac{V}{1.6} = \frac{0.5}{1.6} = 0.31 \text{ см}^3 / \Gamma$$

4. В одном мл оказалось 10 мг сухого ОГ-фита. Слои ОГ в этом количестве ОГ-фита занимают объем

$$V = V_{II} + V_C = V_C \times (1+k) = V_C \times 2.7;$$

$$V_C = \frac{m}{\rho \times (1+k)} = \frac{10^{-3}}{2 \times 2.7} = 1.85 \times 10^{-4} \text{ см}^3$$

Объем одного слоя ОГ по условию задачи равен

$$V_{1C} = d_c \times S = 3.5 \times 10^{-8} \text{ см} \times 10^{-2} \text{ см}^2 = 3.5 \times 10^{-10} \text{ см}^3$$

Количество слоев равно

$$N = \frac{V_C}{V_{1C}} = \frac{1.85 \times 10^{-4}}{3.5 \times 10^{-10}} = 0.53 \times 10^6$$

По условию задачи ОГ-фен в растворе образует стопки, состоящие из  $n = 1-10$  слоев, причем эти структуры образуются с равной вероятностью, поэтому

$$n_1 = n_2 = \dots = n_{10}$$

$$N = n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots + 10n_{10} = 55n_1$$

Таким образом,

$$n_1 = \frac{N}{55} = \dots = \frac{0.53}{55} 10^6 \approx 10^4 \text{ штук/мл}$$

5. Для решения этой задачи нужно внимательно посмотреть на рис. 2. Из формулы видно, что величины межплоскостных расстояний обратно пропорциональны синусам углов.

$$\frac{d_{НП}}{d_{II}} = \frac{\sin \theta_{II}}{\sin \theta_{НП}}$$

Нижний индекс НП относится к «набухшему» ОГ-фиту, а II – к сухому.

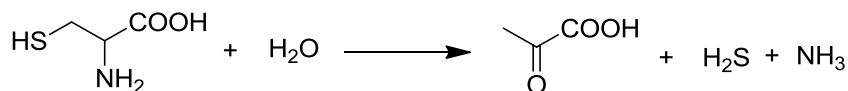
Величины углов можно  $\vartheta$  определить по положению максимумов на графике. Обратите внимание, что по оси абсцисс отложены двойные углы! Поэтому

$$\theta_{II} = 5.5^\circ, \quad \theta_{НП} = 2^\circ; \quad \sin \theta_{II} = 0.096; \quad \sin \theta_{НП} = 0.034$$

$$d_{НП} = d_{II} \times \frac{0.096}{0.034} = 6 \times 2.82 = 16.9 \text{ А}$$

## Решение задачи 8. Неожиданные превращения бактерии

1. Реакция гидролиза цистеина, которая приводит к эквимольной смеси трех продуктов, два из которых бинарные, может иметь только один вид (реакция катализируется несколькими ферментами, в частности цистатионин-гамма-лиазой):



При этом образуются пировиноградная кислота (**X3**), сероводород (**X1** или **X2**), а также аммиак (**X1** или **X2**).

2. Рассчитаем массовые доли элементов в соединении **X**:

$$\omega(\text{элемент}_1) = (100 - 55.6)/2 = 22.2\%; \quad \omega(\text{элемент}_2) = 100 - 22.2 = 77.8\%$$

Так как в биосинтезе **X** принимает участие именно серосодержащая аминокислота цистеин, а не любая другая (реакции дезаминирования крайне распространены в живой материи), можно заключить, что **X1** – именно сероводород. Тогда **X** – сульфид, и можно рассчитать молярную массу второго элемента:

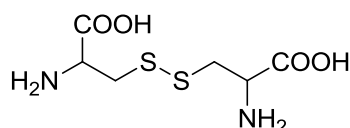
- 1) Если сера – элемент\_1, то тогда имеем следующий набор атомных масс (формула **X** –  $\text{Э}_2\text{S}_n$ ), рассчитанных по формуле  $A(\text{элемент}_2) = 224.8/n$ :

| n         | 1     | 2     | 3    | 4    | 5    | 6    |
|-----------|-------|-------|------|------|------|------|
| A         | 224,8 | 112,4 | 74,9 | 56,2 | 45,0 | 38,5 |
| Элемент_2 | ?     | Cd    | As   | ?    | Sc   | ?    |

- 2) Если сера – элемент\_2, то набор атомных масс (формула **X** –  $\text{Э}_2\text{S}_n$ ), рассчитанных по формуле  $A(\text{элемент}_1) = 18.3/n$ , не будет отвечать реальным элементам.

С учетом химических свойств в рассмотрении остаются сульфид кадмия и сульфид мышьяка (III), которые оба имеют желтый цвет, однако, на роль **A** соли мышьяка (III) подойти не могут, поэтому **X** – CdS, соединение, нашедшее широкое применение в нанотехнологических исследованиях.

3. С учетом того, что на схеме из восьми молекул цистеина образуются 4 молекулы **Z** и восемь частиц  $\text{H}^+$ , для соединения **Z** можно предложить только структуру цистина (дицистеина,  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4\text{O}_8\text{S}_2$ ):



4. В метаболизме бактерий, например, при построении клеточной стенки, активную роль играют не только *L*-аминокислоты, но и их *D*-изомеры (для процесса рацемизации существуют отдельные ферменты – рацемазы). Поэтому однозначно установить стереохимию молекул цистеина, принимающих участие в описанных выше реакциях, невозможно.

5. С учетом неизменности количества атомов азота в производных витамина можем составить систему уравнений (1) и (2), приняв за  $a$  – число атомов N,  $b$  – число атомов всех элементов, образующих **A2**,  $b + n$  – число атомов всех элементов, образующих **A1**:

$$\frac{a}{b} = 0.12727 \quad (1); \quad \frac{a}{b+n} = 0.12069 \quad (2)$$

$$b = 18.34 \cdot n$$

В таком случае ограничение общего числа атомов (<100) в молекулах **A1** и **A2** можно записать как  $n < 6$ . С учетом целочисленности значения  $b$  возможно только одно решение:

$$b = 55 \text{ и } n = 3.$$

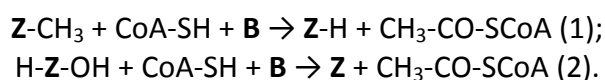
Окончательно: молекулы **A1** и **A2** содержат 58 и 55 атомов, соответственно. Другими словами, в ходе реакции образования ацетил-КоА происходит утеря трех атомов соединением **A1**.

6. Для начала определим изменение числа атомов Н в соединениях **A1** и **A2**:

$$\Delta N_H = 58 \cdot 0.43103 - 55 \cdot 0.41818 = 2$$


Тем самым, из группировки трех атомов, переходящих в состав ацетил-КоА от соединения **A1**, два являются атомами водорода. Третьим атомом может быть или кислород (утеря  $H_2O$ ), или углерод (утеря  $CH_2$ , что эквивалентно переносу метильной группы и присоединению взамен атома водорода).

Рассмотрим два варианта реакции биосинтеза ацетил-КоА с учетом информации о значениях коэффициентов в его уравнении:



Видно, что уравнение (2) невозможно ни при каких  $E$ . Тогда как уравнение (1) справедливо в случае, если соединение **B** – оксид углерода (II) CO, образующийся при ферментативном восстановлении углекислого газа (**Y**) теми самыми частицами  $[H^+]$ , которые образуются при участии наночастиц CdS (смотри рисунок в условии задачи).

7.  $2CO_2 + 8 Cys \rightarrow CH_3COOH + 2H_2O + 4 CySS$



XI Всероссийская Интернет-олимпиада по нанотехнологиям  
"Нанотехнологии - прорыв в будущее"  
2016-2017