



**Сборник заданий и кратких решений  
VIII Всероссийской Интернет - олимпиады  
"Нанотехнологии - прорыв в Будущее!"  
по комплексу предметов  
"математика, физика, химия, биология"**



**Москва 2014**

## Содержание

ЗАДАНИЯ.....	9
ХИМИЯ (ЗАОЧНЫЙ ТУР).....	10
Кот отдыхает.....	10
Рентгенозащитные экраны и наночастицы.....	11
Очистка наноалмазов.....	13
Графеновые ленты.....	14
Бинарные соединения.....	16
Новое об оксидах графита и графена.....	17
Размерный эффект – как улучшить растворимость в воде и кислотах.....	19
Сферический кластер в вакууме.....	21
Пептидное какуро.....	23
Холмс и наночастицы.....	25
Выжить любой ценой... но нанотехнологически!.....	27
ФИЗИКА (ЗАОЧНЫЙ ТУР).....	28
Наноторпеда.....	28
Нанотрубчатая вода.....	30
Атомно-слоевое осаждение.....	31
Брэгговское зеркало.....	32
Биофизика клеточных мембран.....	33
Прыгающие капли.....	34
Сокровища горного тролля.....	36
Физическая адсорбция.....	37
Фотоионизация нанокластера: электростатическая модель.....	38
Миниатюрный радиопередатчик.....	40
Оптическая спектроскопия наноструктур.....	41
МАТЕМАТИКА (ЗАОЧНЫЙ ТУР).....	42
Изотопы в масс-спектре.....	42



Медная нанотрубка.....	43
Считаем изомеры галогенфуллерена.....	45
Золотая пирамида.....	46
Фуллереновый конструктор: низшие фуллерены.....	47
Капсид – белковая оболочка вируса.....	48
Икосаэдрическая матрешка.....	50
Медно-фосфорный многогранник.....	52
Поиск нанотрубок in silico.....	53
Трубка из трубки.....	54
<b>БИОЛОГИЯ (ЗАОЧНЫЙ ТУР).....</b>	<b>56</b>
«Матрешки».....	56
Антибиотики.....	57
Утилизация алкоголя в организме.....	58
Солнце и косметика.....	59
Нанороботы в эритроцитах.....	60
Олимпийская трагедия.....	61
Tractor beam.....	62
ДНК: точки и тире.....	64
Необычные водоросли.....	67
Рецепторы.....	68
Теплые ламовые биотехнологии.....	70
Нанороботы для вечной молодости.....	71
Перенос генетической информации.....	72
Цвет и свет.....	73
Как определить родство.....	75
<b>ТРЕНИРОВОЧНЫЙ ТУР.....</b>	<b>77</b>
Простые вопросы.....	77
Синтез наночастиц.....	78

Рога и копыта .....	79
Шаровая молния .....	80
ХИМИЯ (ОЧНЫЙ ТУР).....	81
Простые задачи .....	81
Интересная химия .....	82
Синтез квантовых точек .....	83
Водорастворимые фуллерены .....	84
Электролюминесцентные полимеры .....	86
Фотокатализ наночастицами .....	88
ФИЗИКА (ОЧНЫЙ ТУР) .....	90
Электрон и мюон .....	90
Пузырь.....	90
Челябинский метеорит.....	90
Нанокapsула.....	91
Занимательные капилляры .....	91
Электроцарапки .....	93
Спектроскопия поглощения .....	94
Ближнепольный оптический микроскоп.....	95
Дело о чёрном стрелке.....	96
Графеновые нановесы.....	97
МАТЕМАТИКА (ОЧНЫЙ ТУР) .....	98
Гомеопатическое разведение.....	98
Теорема Эйлера для УНТ .....	98
Считаем узлы дендримеров.....	98
Свёрток.....	99
Расшифровка ДНК.....	99
Поиск нанотрубок <i>in silico</i> : прежде, чем нажать Enter.....	100
Усеченный тетраэдр.....	101

Фуллереновый конструктор, часть II .....	102
Поры или частицы? .....	103
Ароматичность фуллеренов и гиперфуллеренов .....	104
<b>БИОЛОГИЯ (ОЧНЫЙ ТУР) .....</b>	<b>106</b>
Спортсмен Петя .....	106
Детские вопросы .....	106
Транспорт в клетке .....	107
мРНК .....	108
Ядовитые истории .....	109
"Найти и заменить" .....	110
Передача сигнала .....	111
Цветочки .....	113
Марафонцы .....	114
Плаферы с апвелами .....	116
Оптогенетика .....	117
<b>РЕШЕНИЯ .....</b>	<b>119</b>
<b>ХИМИЯ (ЗАОЧНЫЙ ТУР) .....</b>	<b>120</b>
Кот отдыхает .....	120
Рентгенозащитные экраны и наночастицы .....	120
Очистка наноалмазов .....	121
Графеновые ленты .....	122
Бинарные соединения .....	123
Новое об оксидах графита и графена .....	125
Размерный эффект – как улучшить растворимость в воде и кислотах .....	126
Сферический кластер в вакууме .....	127
Пептидное какуро .....	129
Холмс и наночастицы .....	131
Выжить любой ценой... но нанотехнологически! .....	133

ФИЗИКА (ЗАОЧНЫЙ ТУР).....	135
Наноторпеда.....	135
Атомно-слоевое осаждение.....	137
Брэгговское зеркало.....	138
Биофизика клеточных мембран.....	141
Прыгающие капли.....	142
Сокровища горного тролля.....	145
Физическая адсорбция.....	147
Фотоионизация нанокластера: электростатическая модель.....	150
Миниатюрный радиопередатчик.....	152
Оптическая спектроскопия наноструктур.....	153
МАТЕМАТИКА (ЗАОЧНЫЙ ТУР).....	155
Изотопы в масс-спектре.....	155
Медная нанотрубка.....	157
Интеркаляты. Графит.....	158
Считаем изомеры галогенфуллерена.....	160
Золотая пирамида.....	161
Фуллереновый конструктор: низшие фуллерены.....	162
Капсид – белковая оболочка вируса.....	163
Икосаэдрическая матрешка.....	166
Медно-фосфорный многогранник.....	169
Поиск нанотрубок <i>in silico</i> .....	171
Трубка из трубки.....	174
БИОЛОГИЯ (ЗАОЧНЫЙ ТУР).....	177
«Матрешки».....	177
ТРЕНИРОВОЧНЫЙ ТУР.....	179
Простые вопросы.....	179
Синтез наночастиц.....	180



Рога и копыта .....	181
Шаровая молния .....	183
ХИМИЯ (ОЧНЫЙ ТУР).....	184
Простые задачи .....	184
Интересная химия .....	185
Синтез квантовых точек .....	187
Водорастворимые фуллерены .....	188
Электролюминесцентные полимеры .....	189
Фотокатализ наночастицами .....	191
ФИЗИКА (ОЧНЫЙ ТУР) .....	192
Электрон и мюон .....	192
Пузырь.....	192
Челябинский метеорит.....	193
Нанокapsула.....	193
Занимательные капилляры .....	194
Электроцарапки .....	195
Спектроскопия поглощения .....	197
Ближнепольный оптический микроскоп.....	198
Дело о чёрном стрелке.....	199
Графеновые нановесы.....	200
МАТЕМАТИКА (ОЧНЫЙ ТУР).....	201
Гомеопатическое разведение.....	201
Теорема Эйлера для УНТ .....	201
Считаем узлы дендримеров.....	201
Сверток.....	202
Расшифровка ДНК.....	202
Поиск нанотрубок <i>in silico</i> : прежде, чем нажать Enter.....	203
Усеченный тетраэдр.....	205

Фуллереновый конструктор, часть II .....	207
Поры или частицы? .....	209
Ароматичность фуллеренов и гиперфуллеренов .....	211
<b>БИОЛОГИЯ (ОЧНЫЙ ТУР) .....</b>	<b>213</b>
Спортсмен Петя .....	213
Детские вопросы .....	213
Транспорт в клетке .....	214
мРНК .....	214
Ядовитые истории .....	215
“Найти и заменить” .....	216
Передача сигнала .....	217
Цветочки .....	218
Марафонцы .....	220
Плаферы с апвелами .....	222
Оптогенетика .....	224
<b>КОПИИ ЗАДАНИЙ ОЧНОГО ТУРА ОЛИМПИАДЫ .....</b>	<b>225</b>
Химия .....	225
Физика .....	230
Математика .....	237
Биология .....	241
Тренировочный вариант .....	249

# ЗАДАНИЯ



## ХИМИЯ (ЗАОЧНЫЙ ТУР)

### Кот отдыхает

Графен – очень прочный материал. Он значительно прочнее лучших сортов стали. В нобелевском сообщении о присуждении премии за открытие графена упоминается кот, отдыхающий в графеновом гамаке. Посмотрим на рисунок 1.

Наш кот массой 4 кг лежит на качелях. Качели висят на листе графена длиной 1 м. (на веревки не следует обращать внимания). Лист не рвется. Мы - у предела прочности на разрыв. Более упитанного кота графен уже не выдержит.

1) Оцените предел двумерной прочности (2D прочности) графена на разрыв. Единицы измерения этой величины (Н/м), ньютоны на метр.

2) Предел прочности стали на разрыв (3D прочности) равен  $5 \cdot 10^8 \text{ Па} = 5 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$ . Если бы качели с котом висели на стальном листе длиной 1 м, во сколько раз стальной лист должен был бы быть толще листа графена? Толщина графена 3.35 А.

Качели висят на одной одностенной углеродной нанотрубке диаметром 1.4 нм. Определите предельную массу нанокота.



Рис. 1. Кот спит на качелях. Качели подвешены на листе графена.



## Рентгенозащитные экраны и наночастицы

*"Радиации не нужно бояться, но ее нужно уважать"*

Специалисты, работающие с рентгеновским излучением, нуждаются в надежных экранах, защищающих от его вредного воздействия. Традиционно рентгенозащитные экраны изготавливали из металлического свинца либо путем нанесения его соединений на поверхность пластика, стекла и других материалов (помимо свинца применяли также и другие тяжелые металлы). С развитием нанотехнологий появился новый способ: наночастицы рентгенопоглощающего вещества распределяются в объеме пластика, который затем используется для изготовления защитных экранов, фартуков и прочих защитных предметов любой формы. Большое преимущество такой технологии - прозрачность рентгенопоглощающего пластика для видимого света, если размер наночастиц меньше длины волны видимого света.

1. Почему для изготовления экранов, защищающих от рентгеновского излучения, используют тяжелые металлы или их соединения?

2. Материалы с распределенными в объеме наночастицами оксида свинца безопаснее материалов с нанесением из оксида свинца на поверхность. Назовите две возможные причины этого.

3. Предложите способ получения наночастиц оксида свинца PbO из металлического свинца. Напишите уравнения реакций и укажите условия их проведения.

4. Рассчитайте, во сколько раз пластиковый экран толщиной 1 см, содержащий 0.1% оксида свинца по массе в виде сферических наночастиц диаметром 100 нм, ослабит проходящее сквозь него рентгеновское излучение. Считайте, что квант рентгеновского излучения, попавший на наночастицу, гарантированно поглощается ею. Плотность оксида свинца равна  $9.53 \text{ г/см}^3$ . Плотность пластика  $0.90 \text{ г/см}^3$ . Считайте, что наночастицы случайным образом распределены в объеме пластика.

*Подсказка: чтобы получить ответ, нужно ответить на следующие вопросы*

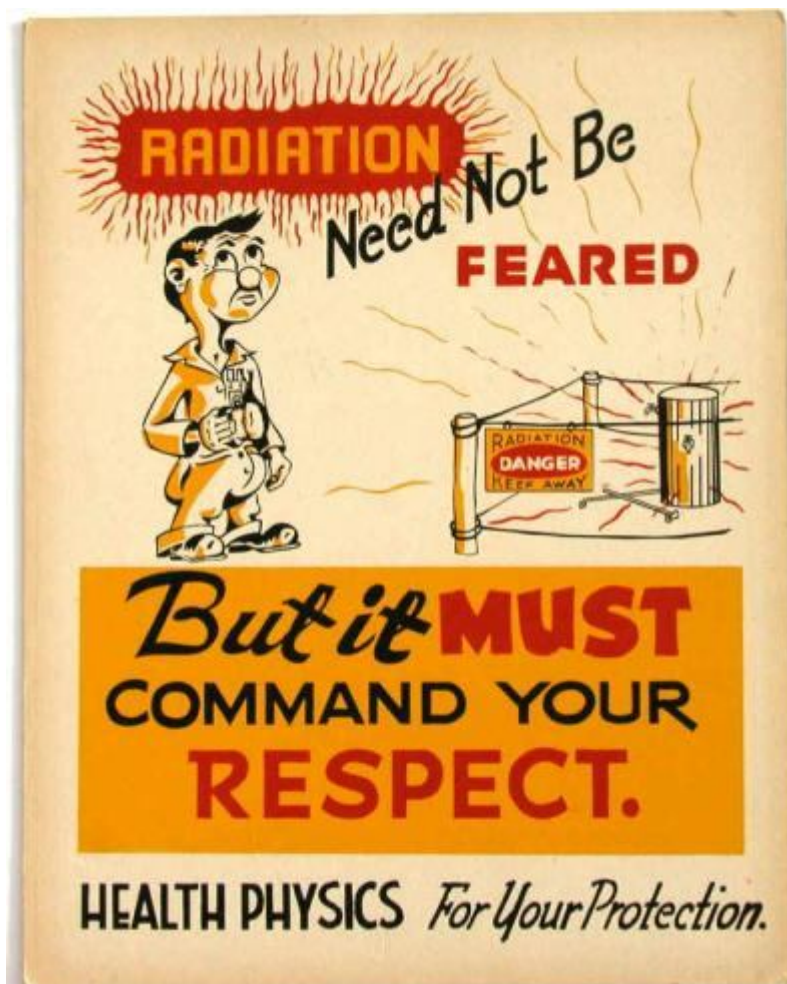
*а) какова вероятность того, что одна конкретная наночастица не поглотит квант рентгеновского излучения, падающий на случайную точку экрана?*

*б) какова вероятность того, что ни одна наночастица не поглотит квант рентгеновского излучения, падающий на случайную точку экрана?*

*в) сколько наночастиц содержится в одном кубическом метре материала, из которого изготовлен экран?*

Вам пригодится определение числа  $e$ , основания натуральных логарифмов:

$$(1+x)^{1/x} = e \approx 2.718 \text{ при } x \rightarrow 0$$



## Очистка нанодалмазов

Алмазы нанометрового размера – необычный и перспективный материал. Получают его с помощью взрыва. При детонации некоторых взрывчатых веществ, содержащих углерод, происходит их разложение с образованием сажи, содержащей смесь алмаза и графита. Для удаления графита полученную смесь нагревают со смесью концентрированных азотной и серной кислот.

1) Сколько литров концентрированной азотной кислоты (68%, плотность 1,42 г/мл) потребуется для получения 1 кг нанодалмазов из сажи, содержащей 40% алмазов по массе?

Более дешевый и экологический чистый способ получения нанодалмазов состоит в обработке сажи озоном. Графит при этом окисляется до оксидов углерода. Алмазы сохраняются, но их поверхность покрывается функциональными группами. После озонной обработки нанодалмазы приобретают ряд новых свойств – например, они легко образуют кислые коллоидные растворы. Золь, содержащий 10% алмазов по массе, имеет  $\text{pH} = 1,6$ .

2) Предположите, какие функциональные группы (не более 3-х) присутствуют на поверхности нанодалмазов, если известно, что при их сильном нагревании (400-700 °С) без доступа воздуха выделяются CO и CO<sub>2</sub>.

3) Элементный состав одного из нанодалмазов – такой: С – 81,3 масс.%, Н – 1,1%, О – 17,6%. Известно, что все поверхностные атомы углерода связаны с единственной функциональной группой. Какая доля от общего числа атомов углерода находится на поверхности в этом алмазе?

4) В Алмазном фонде Московского Кремля есть карта бывшего СССР в масштабе примерно 1 : 40 000 000, полностью покрытая алмазами. Сколько потребуется нанодалмазов диаметром 5 нм для того, чтобы покрыть карту России с таким же масштабом? Чему равна их общая масса (в граммах и в каратах)? Необходимые справочные данные найдите самостоятельно.



## Графеновые ленты

Группа европейских ученых предложила оригинальный подход к созданию графеновых лент длиной 20-60 нм методом «снизу вверх» (от простого к сложному). Сначала на золотую фольгу наносятся молекулы мономерного соединения (1), которые при дальнейшем нагревании отщепляют галоген с образованием стабилизированных поверхностью бирадикалов (рис. 1). Перемещаясь по поверхности, эти радикалы последовательно объединяются в ленту полимера (2), которая при последующем нагревании до 400°C дегидрируется с образованием графеновой ленты (3). При этом на краях такой ленты остаются атомы водорода, защищающие краевые углеродные атомы от окисления кислородом воздуха.

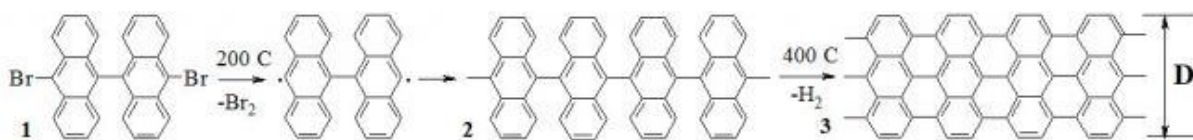


Рис. 1. Реакции, протекающие при синтезе графеновых лент.

1. Оцените ширину графеновой ленты **D** (рис. 1), если длина C-C связи равна 0,14 нм. Являются ли эти ленты нанобъектами? Напишите химическую формулу получившегося полимера.

2. В чем преимущество таких графеновых нанолент перед нанолентами, полученными «от сложного к простому» (например, фотолитографией из графена)?

3. Графеновые ленты на практике также можно получать мягким окислительным продольным «расстегиванием» углеродных нанотрубок. Почему такой метод не рассматривается для получения графеновых лент с шириной близкой к **D**?

4. Исходя из структуры полимеров **2** и **3**, объясните профили высот (рис. 2а) для этих полимеров, если найденный по СТМ изображению период полимера **2** (**L** на рис. 2б) составляет 0,86 нм.

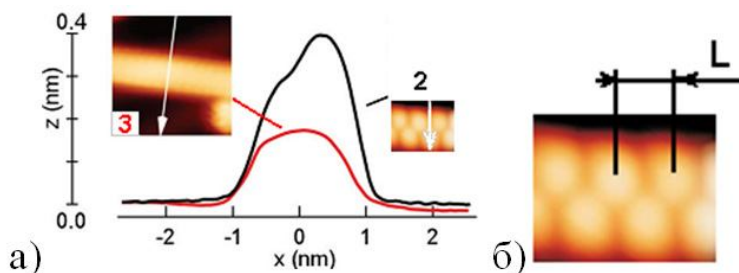




Рис. 2 а) Профили высот полимеров **3** и **2** вдоль оси x (расположение оси показано стрелками на СТМ изображениях); б) увеличенное СТМ изображение полимера **2**.

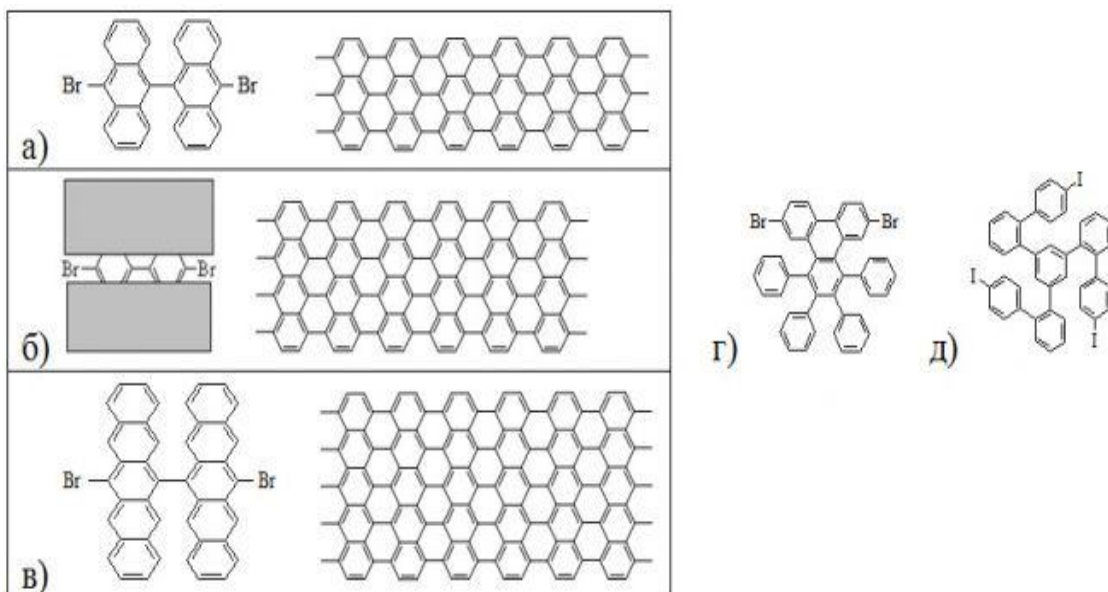


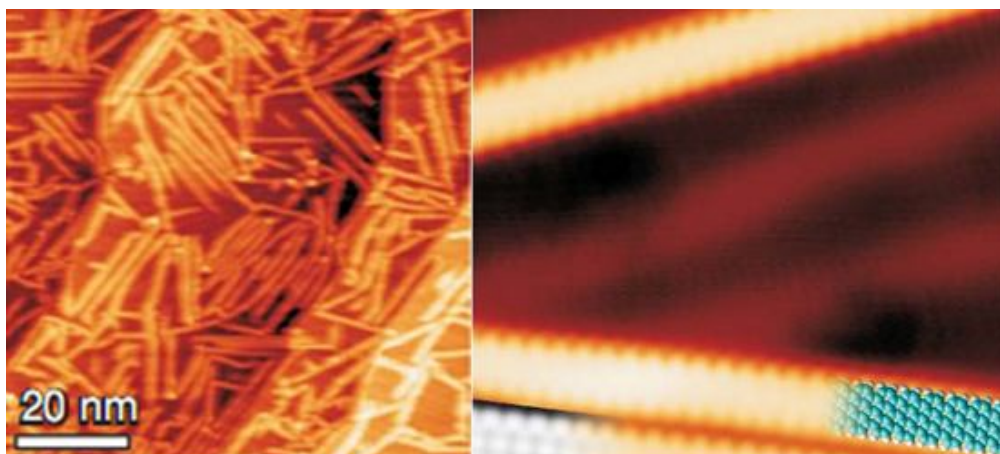
Рис. 3. Иллюстрации а) - в) к вопросу 5; г) к вопросу 6; д) к вопросу 7.

5. Как несложно увидеть по рис. 3 (а, в), получить ленты шириной в 3, 5 ...  $2n+1$  шестиугольных циклов довольно просто. Нарисуйте структуру исходного реагента для получения графеновой ленты шириной в 4 шестиугольных цикла (рис. 3б), если его молекула без учета атомов брома обладает высокой симметрией.

6. Какую ширину (в нм) и форму будет иметь графеновая лента, полученная из реагента г) (рис. 3г)?

7. Что получится, если в описанной методике в наносимый на подложку мономер г) (рис. 3г) добавить небольшое количество соединения д) (рис. 3д)?

8. Где могут найти применение такие графеновые ленты?



## Бинарные соединения

Известно достаточное количество соединений, образованных только элементами X и Y, причем некоторые из них являются перспективными объектами нанотехнологических исследований. Бинарное соединение A является основным продуктом реакции веществ B и C. В то же время, взаимодействие вещества B с бинарным соединением D приводит, помимо прочих продуктов, к образованию бинарного соединения E. В нижеследующей таблице приведены основные сведения о соединениях A-E.

соединение	Массовая доля X, %	Массовая доля Y, %
A	67,81	32,19
B	100	-
C	не содержит X	29,44
D	не содержит X	50,92
E	51,30	48,70

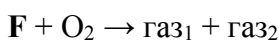
Известно, что соединение C образовано тремя элементами (в молярном соотношении - 1:2:6), один из которых калий (20,19% по массе).

1. Определите молекулярные формулы соединений A-E, если в молекулах A и D число атомов X превышает число атомов Y. Ответ подтвердите расчетами.

2. Напишите уравнение реакции синтеза E.

3. Как Вы считаете, какой метод исследования химических объектов был наиболее полезен для установления структуры соединений A и D?

4. Предложите газообразное бинарное соединение F, состоящее из X и Y, если его реакцию с избытком кислорода можно записать в виде следующего уравнения:



Газообразность рассматриваемых веществ имеет место при 25°C.

5. Напишите уравнение сгорания E в избытке кислорода.

## Новое об оксидах графита и графена

В 2012-2013 году появились сообщения о новых возможностях использования оксида графита (ОГ-фита) и оксида графена (ОГ-фена). ОГ-фит имеет обычную структуру графита, в которой часть атомов углерода окислена. Атомы углерода образуют правильные шестиугольники. Межплоскостные расстояния по сравнению со структурой графита увеличены (см. рис. 1). ОГ-фен – одна плоскость из структуры ОГ-фита. (см. рис. 2). Состав обоих ОГ в нашей задаче выразим простейшей формулой  $\text{CO}_{0.25}$ .

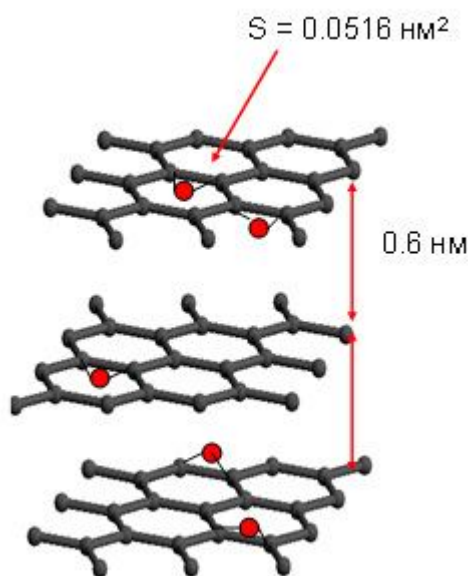


Рис. 1. Оксид графита. Черные и красные кружки – атомы углерода и кислорода, соответственно.

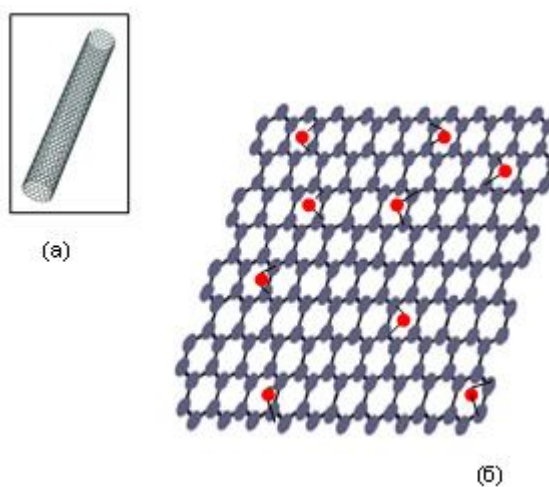


Рис. 2. а) Одностенная углеродная нанотрубка. б) оксид графена.

1) Группа лауреата нобелевской премии А.Гейма предложила (2012 год) использовать мембраны из ОГ-фита для изоляции и хранения газов. Толщина подобной мембраны составляет 100 нм, она закрывает горлышко сосуда с газом диаметром в 1 см. Мембрана из ОГ-фита имеет такую же низкую проницаемость, как и стеклянная мембрана толщиной в 1 мм. Плотность стекла  $2.5 \text{ г/см}^3$ .

а) Попробуйте оценить, во сколько раз мембрана из ОГ-фита легче стеклянной мембраны?

б) При увеличении влажности проницаемость мембраны из ОГ-фита увеличивается. С чем может быть связан подобный эффект?

2) Углеродные нанотрубки гидрофобны. Их растворимость в воде равна нулю. ОГ-фен гидрофилен и образует с водой устойчивый коллоидный раствор. Недавно (2013 год) появилось сообщение о растворении нанотрубок в воде в присутствии ОГ-фена. Предельная растворимость ОГ-фена в воде составила  $0.1 \text{ мг/г H}_2\text{O}$ . При этом в водную фазу перешло  $0.02 \text{ мг}$  нанотрубок в расчете на грамм  $\text{H}_2\text{O}$ . Средняя площадь одного фрагмента ОГ-фена в растворе составляла  $0.1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$ . Диаметр растворявшихся одностенных нанотрубок  $1 \text{ нм}$ , длина  $800 \text{ нм}$ .

а) Объясните, почему углеродные нанотрубки начинают растворяться в присутствии ОГ-фена?

б) Сколько нанотрубок приходится в растворе на один кусок ОГ-фена?

## Размерный эффект – как улучшить растворимость в воде и кислотах

Одно из главных явлений в наном мире – зависимость свойств наночастиц от их размера, так называемый «размерный эффект». При уменьшении размера меняются различные свойства – оптические, электронные, химические, термодинамические. Последние – благодаря тому, что маленькие частицы находятся под дополнительным, поверхностным давлением, которое для сферических частиц радиуса  $r$  равно:

$$P_{\text{пов}} = \frac{2\sigma}{r}$$

где  $\sigma$  – поверхностное натяжение на границе с окружающей средой. Это давление увеличивает энергию Гиббса на величину  $P_{\text{пов}}V$  и, как следствие, влияет на температуры плавления, кипения, растворимость, окислительно-восстановительные свойства.

1. В какую сторону смещается равновесие в насыщенном растворе  $X_{(\text{тв})} \rightleftharpoons X_{(\text{р-р})}$  при измельчении частиц  $X_{(\text{тв})}$  до нанометровых размеров? Объясните.

Зависимость растворимости наночастиц в воде от их радиуса,  $s(r)$  описывается уравнением:

$$s(r) = s(\infty) \exp\left(\frac{P_{\text{пов}} V_m}{RT}\right),$$

где  $s(\infty)$  – обычная растворимость объемной фазы вещества,  $V_m$  – молярный объем.

2. Используя приведенные ниже данные, определите, при каком размере частиц пирита его растворимость превысит растворимость обычной объемной фазы: а) на 1%, б) в 1000 раз?

3. Каков должен быть размер частиц AgBr, чтобы его растворимость (в моль/л) стала такой же, как у AgCl (объемной фазы)?

Поверхностное давление влияет и на окислительно-восстановительные свойства твердой фазы. При уменьшении размера частиц металла стандартный электродный потенциал  $\text{Me}^{n+}/\text{Me}$  уменьшается и восстановительная способность металла растет:

$$E^\circ(r) = E^\circ(\infty) - \frac{P_{\text{пов}} V_m}{nF},$$

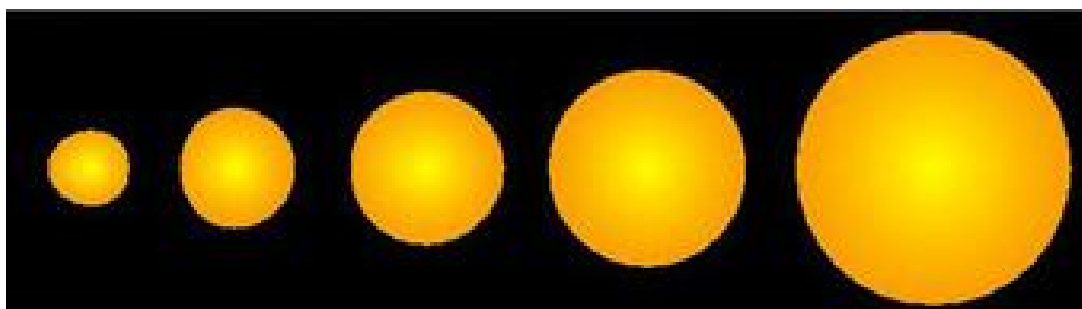
$F = 96500$  Кл/моль – постоянная Фарадея.

4. Каков должен быть размер частиц серебра, чтобы оно растворялось в кислотах при  $\text{pH} = 0$  с выделением водорода? Для серебра стандартный электродный потенциал

$$E_{\text{Ag}^+/\text{Ag}}^\circ = 0.800 \text{ В}$$

Справочные данные (температура – 298 К):

Вещество	$\sigma$ , Дж/м <sup>2</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	ПР
AgCl(тв)			$1.8 \cdot 10^{-10}$
AgBr(тв)	0.104	6.48	$4.9 \cdot 10^{-13}$
FeS <sub>2</sub> (тв)	4.73	5.02	
Ag(тв)	0.89	10.50	



## Сферический кластер в вакууме

Согласно правилу Хюккеля, *двухмерные (плоские)* молекулы, содержащие общую электронную систему из  $2(2N+1)$   $\pi$ -электронов, обладают особыми физико-химическими свойствами и являются ароматическими, например, молекула бензола, содержащая 6  $\pi$ -электронов ( $N = 1$ ).



Интересно, что похожее правило существует и для *трехмерного* случая, если обобщаемые электроны считать *сферическим* электронным газом, окружающим «сферический» атомный кластер в вакууме. Квантово-механический расчет для такой системы приводит к молекулярным орбиталям, которые описываются всего двумя квантовыми числами – орбитальным квантовым числом  $l$  ( $0, 1, \dots, N$ ) и магнитным квантовым числом  $m$  ( $-l, \dots, 0, \dots, +l$ ). Образовавшиеся молекулярные орбитали формой и вырожденностью напоминают обычные атомные ( $s, p, d, f, \dots$ ) орбитали, поэтому электронные оболочки кластера похожи на подуровни атомов. Аналогично атомам и ионам с электронными конфигурациями инертных газов, «сферические» кластеры, имеющие полностью заполненные молекулярные орбитали, могут обладать особыми физико-химическими свойствами (ароматичностью) и, подобно ароматическим органическим соединениям, повышенной стабильностью.

1. Какое максимальное число электронов содержится в  $0, 1, 2, 3, 4, \dots N$ -й оболочке такого кластера? Сколько суммарно электронов будет у кластера со всеми полностью заполненными оболочками вплоть до  $0, 1, 2, 3, 4, \dots, N$ -й? Найдя формулу зависимости суммарного числа электронов от  $N$ , вы получите трехмерный аналог правила Хюккеля.

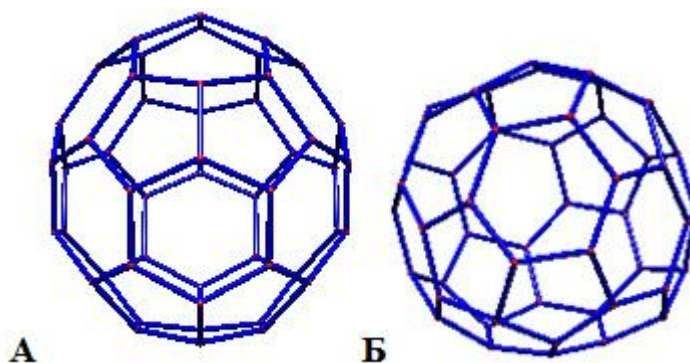
2. Считая, что  $\pi$ -электроны фуллеренов будут заполнять приведенные выше молекулярные орбитали, рассчитайте, какие фуллерены с количеством атомов до 100 могли бы обладать ароматичностью.

3. Какие минимальные заряды должны приобрести фуллерены  $C_{20}$  и  $C_{60}$  для образования ароматических ионов?



Применение концепции ароматичности находит широкое практическое применение при решении задач, связанных с геометрией различных кластеров и молекул.

Как правило, среди изомеров фуллеренов наиболее стабильными оказываются те, у которых имеется наименьшее количество пятиугольников с общими ребрами, поскольку они обладают меньшим напряжением (например, всем известный бакибол  $C_{60}$  – самый маленький фуллерен с изолированными пятиугольниками). Однако, среди приведенных на рисунке двух изомеров А и Б некоторого фуллерена, более стабильным является не изомер А, имеющий большее число изолированных пятиугольников, а изомер Б, характеризующийся меньшим диаметром описанной окружности.



4. Какова формула этого фуллерена? Почему изомер Б более стабилен?

5. Какое расположение атомов цезия вокруг атома кальция в кластере  $Cs_5Ca^+$  будет предпочтительным: в виде плоского пятиугольника, или в виде тригональной бипирамиды? Ответ поясните.



## Пептидное какуро

В связи с декодированием вражеской стороной предыдущих сообщений агент, осуществляющий шпионаж в нанобиологическо-исследовательском федеральном инновационном городе-агломерации (НИФИГА), отправил послание с аминокислотной последовательностью крайне значимого олигопептида N в виде приведенной ниже шифровки (прямоугольник 10x12):

	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>15</b>	<b>12</b>				<b>23</b>	<b>8</b>
<b>10</b>			<b>D</b>		<b>10</b>		<b>10/16</b>		
<b>35</b>		<b>I</b>				<b>3/11</b>			
	<b>4</b>			<b>6/12</b>		<b>F</b>			
		<b>8/4</b>			<b>21/3</b>			<b>6</b>	<b>3</b>
	<b>4/11</b>	<b>V</b>				<b>7/8</b>			
<b>4</b>			<b>13/12</b>				<b>15/3</b>		
<b>7</b>				<b>10/14</b>	<b>G</b>				
		<b>24/4</b>			<b>15/6</b>			<b>11</b>	
	<b>17/27</b>				<b>E</b>	<b>13/3</b>			<b>8</b>
<b>24</b>	<b>P</b>			<b>16</b>				<b>A</b>	
<b>16</b>					<b>29</b>		<b>L</b>		

Центру известно, что определение искомого пептида требует полного заполнения пустых белых клеток шифровки цифрами от 1 до 9. Белые клетки объединяются в группы, как по горизонтали, так и по вертикали. Цифры, заполняющие группу, в сумме дают ключевое число, расположенное в серой клетке. Для дробей, приведенных в серых клетках, числитель отражает сумму цифр для группы клеток по вертикали, знаменатель - по горизонтали. Слагаемые ключевого числа не должны повторяться.

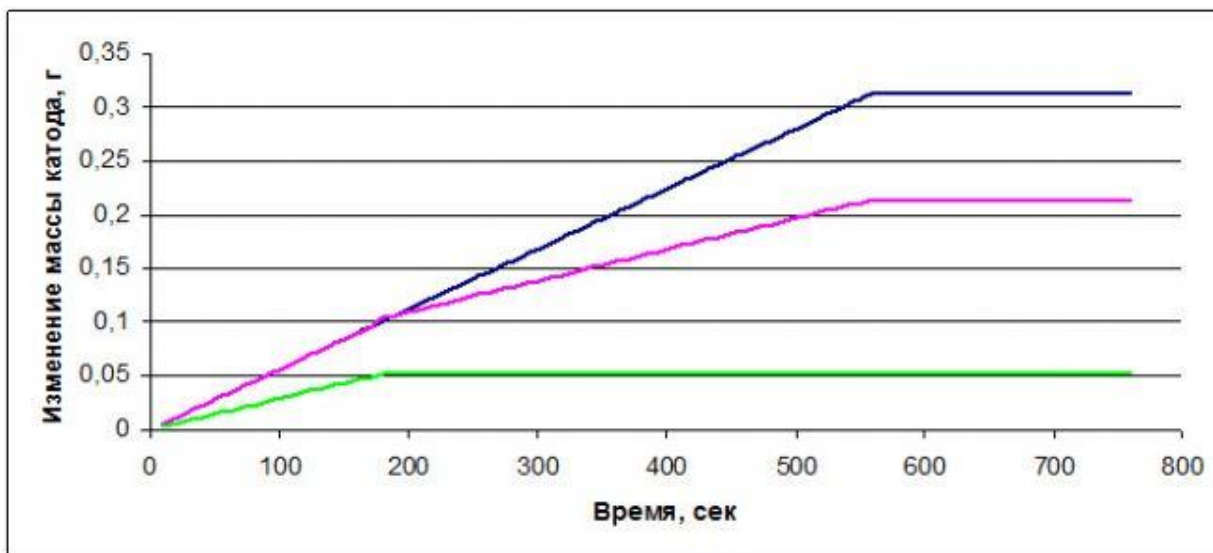
Заглавные латинские буквы обозначают общепринятые однобуквенные сокращения протеиногенных аминокислот (A, D, E, F, G, I, L, P, и V): каждой аминокислоте строго соответствует одна цифра. В одной из вертикальных или горизонтальных групп клеток и будет содержаться структура нужного Центру пептида.

1. Заполните представленную шифровку цифрами согласно правилам, озвученным в условии, и установите соответствия однобуквенных сокращений аминокислот и цифр (1-9).
2. Какие ограничения на структуру передаваемых в Центр пептидов накладывает подобный метод шифрования?
3. Информация о каком максимальном количестве олигопептидов может быть передана с помощью данного способа в рамках одного прямоугольника 10x12? Хватит ли разнообразия протеиногенных аминокислот, чтобы структуры олигопептидов в такой шифровке не дублировались?
4. Из других источников Центр знает о том, что обработка искомого олигопептида химотрипсином [гидролизует пептидные связи, образованные карбоксильными группами фенилаланина (F) или лейцина (L)] приводит к образованию, помимо свободных аминокислот, двух дипептидов.
5. Определите аминокислотную последовательность зашифрованного пептида.

## Холмс и наночастицы

Злобный гений преступного мира профессор Мориарти решил отравить Шерлока Холмса. Для этого он аккуратно проколол куриное яйцо, предназначавшееся Холмсу, и впрыснул в него раствор соли неизвестного металла. Холмс, однако, так увлёкся распутыванием очередного дела, что забыл даже про еду. Когда же он решил приготовить яичницу, яйцо заметно испортилось. Разбив его, Холмс обнаружил внутри красновато - оранжевую жижу, которая заметно светилась при облучении ультрафиолетом. Это явление, равно как и отсутствие запаха явно испортившегося яйца его весьма заинтересовало. Добавляя к аликвоте окрашенной жижи нитрат серебра или сульфат меди, Холмс неизменно получал чёрную массу. При добавлении солей цинка или бария никаких видимых изменений не наблюдалось.

Холмс взял 10 г испорченного яйца, добавил 10 г 5% раствора нитрата серебра, перемешал и подверг смесь электролизу при силе тока 0.5 А. В качестве сравнения, он электролизовал исходный раствор нитрата серебра. В качестве второго сравнения он взял ещё 10 г яичной жижи и также подверг её электролизу. Результаты электролиза приведены на графике.



Изломы на графике соответствовали временам 193, 181, 567.5 секунд соответственно (цифры соответствуют изломам по графикам снизу вверх).

Полученных данных Холмсу хватило не только для того, чтобы установить тип и количество яда, но и определить страну его поставщика. Получившаяся же в ходе

хранения яйца жижа была эффективно им использована для нанесения секретных меток на документы.

1. Какое вещество и в каком количестве было внесено в яйцо?
2. Опишите процессы, происходившие в яйце. Приведите уравнения реакций.
3. Почему жижа светилась под действием ультрафиолета?
4. Насколько однородны частицы, ответственные за свечение? Как они называются? Ответ поясните.
5. Удалась бы затея Мориарти, если бы он использовал соли ртути? Ответ поясните.

## **Выжить любой ценой... но нанотехнологически!**

В популярном цикле телепередач “Выжить любой ценой” известный путешественник Беар Гриллс показывает на своём примере, как выбраться к цивилизации, имея при себе лишь минимум вещей. По сценарию передачи он ест всякую мало-мальски съедобную гадость, пьёт воду, кое-как очищенную подручными средствами, ночует в самодельных укрытиях, сугробах, пещерах. Хотя это остаётся за кадром, тем не менее очевидно, что к каждой экспедиции он тщательно готовится: прокладывает маршрут, консультируется по поводу съедобных растений и насекомых, правил их приготовления. В одном из последних циклов подобных передач Гриллс начал брать расширенный комплект выживания, существенно упрощающий его задачу.

Ваша задача состоит в описании нанотехнологических приспособлений, необходимых для следующих операций: получение чистой воды из любого пресного источника; получение пищи из любой органики, исключая откровенно ядовитую; метод добычи огня; укрытие от непогоды, защищающее от ветра и воды, но пропускающее воздух, что позволяет использовать его как элемент одежды; непрерывно работающую грелку-горелку, способную после розжига использовать любое подручное топливо типа смол, жиров, растительных масел, плавких полимеров. Приведите рисунок-схему устройства, где подпишите его компоненты и их назначение.

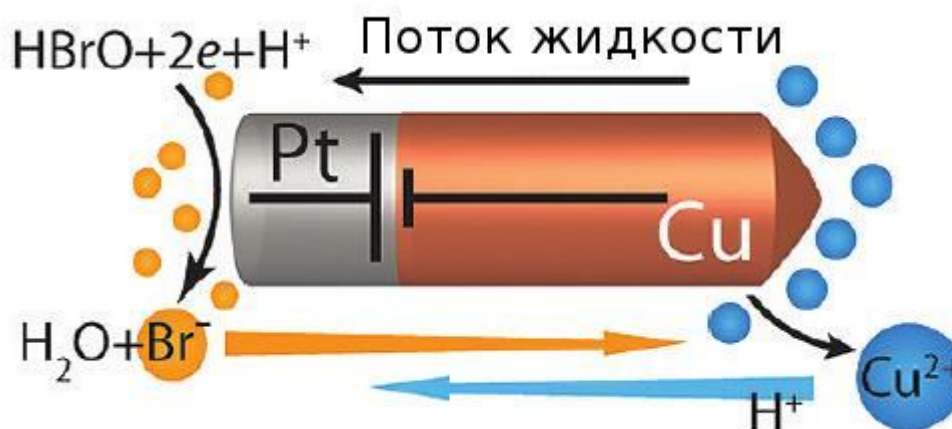
Не ограничивайте свою фантазию только экологически чистыми материалами. Скажем, самый ёмкий и удобный источник водорода – это амальгама алюминия, реагирующая с водой. Самое калорийное топливо – металлический бериллий и элементарный бор. Нельзя использовать материалы и конструкции непрерывно опасные для жизни, такие как изотопные источники; летучие высокотоксичные материалы, типа ракетного топлива (ртуть, кстати, к таковым не относится, несмотря на всю пропаганду СМИ).

## ФИЗИКА (ЗАОЧНЫЙ ТУР)

### Наноторпеда

Химики из университета Пенсильвании изобрели наноторпеду: стержень, который работает как батарейка и мотор в одном лице. Длина стержня составляет около 3 мкм, а его толщина  $d = 200$  нм. Если стержень поместить в раствор брома или иода, он начинает двигаться. Медь начинает окисляться, играя роль анода, в то время как платина играет роль катода. Это приводит к тому, что на концах стержня появляется напряжение  $V = 1$  В, и через него протекает ток с плотностью  $i = 1$  мА/см<sup>2</sup>. Торпеда способна разгоняться до скорости  $v = 10$  мкм/с. Учёные считают, что подобные устройства можно использовать, например, для доставки лекарств в организме человека или для очистки сосудов. Траекторией движения можно управлять с помощью магнитного поля.

1. Объясните, почему движется наноторпеда?
2. В каком направлении?
3. Оцените КПД двигателя наноторпеды
4. Найдите максимально возможную скорость торпеды





## Нанотрубчатая вода

Американские учёные из национальной лаборатории Аргонн заполнили поры углеродных нанотрубок диаметром  $D = 1.4$  нм и длиной 10 мкм водой.

Оказалось, что такая вода обладает необычными свойствами. По структуре вода скорее напоминает кристалл льда, т. к. её молекулы строго упорядочены. Вода, по утверждению исследователей, не замерзает вплоть до температуры 8 К, сохраняет текучесть и способность перемещаться вдоль нанотрубки. Любопытно, что между водой и стенкой нанотрубки образуется зазор шириной  $k = 0.2$  нм.

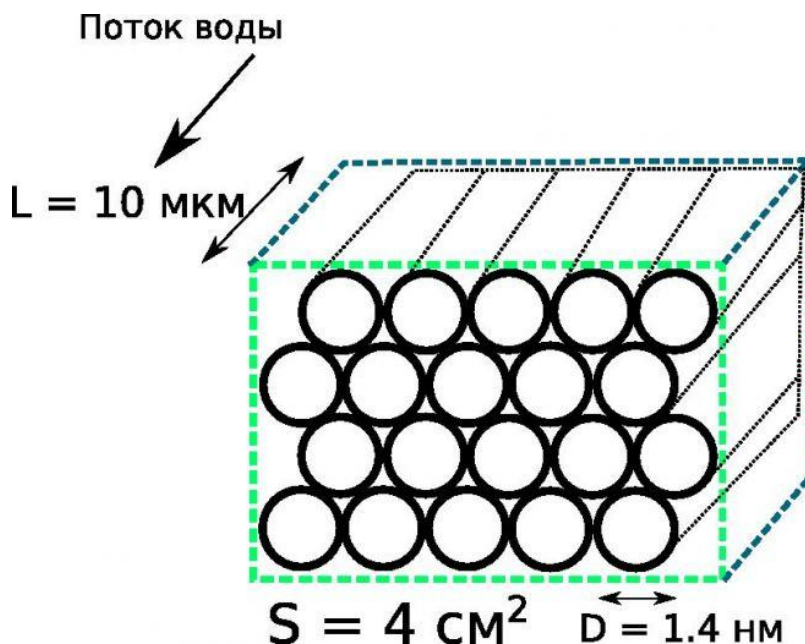
### Задача

Русский изобретатель Василий предлагает использовать нанотрубки для создания водяного фильтра. Василий считает, что такой фильтр поможет очистить воду от загрязнений и болезнетворных бактерий. Согласно чертежам изобретателя, площадь поперечного сечения фильтра составляет  $S = 4$  см<sup>2</sup>. Фильтр должен иметь пропускную способность  $Q$  не менее 10 л/мин для удобного использования в быту.

1. Какая должна быть разница давлений  $\Delta p$  в системе городского водоснабжения, чтобы изобретение Василия работало?

2. Какова должна быть высота  $h$  водонапорной башни?

Вязкость воды  $\eta$  считать равной  $10^{-3}$  Па·с.





## Атомно-слоевое осаждение

Атомно-слоевое осаждение (АСО) – процесс контролируемого выращивания тонких пленок с возможностью управления толщиной осаждаемого слоя на атомарном уровне ( $\sim 0,1 \text{ \AA}$ ). Изначально метод был предложен профессором С.И. Кольцовым из Ленинградского технологического института в начале 1960-х годов и носил название "Молекулярное наслаивание". В настоящее время АСО-технология (в англ. литературе ALD – Atomic Layer Deposition) используется в процессе производства солнечных элементов, плоских панельных дисплеев, микропроцессоров, головок чтения для жестких дисков, и т.д. Тонкие пленки, полученные методом АСО характеризуются высокой однородностью, прецизионным контролем толщины и практически полным отсутствием дефектов, что, однако, определяет и основной недостаток метода – относительно низкую скорость роста пленок.

В лаборатории на двух установках по атомно-слоевому осаждению на кремниевые подложки наносят тонкие пленки оксида алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и диоксида титана ( $\text{TiO}_2$ ) одинаковой толщины, равной  $h = 31,5 \text{ \AA}$ . Сначала лаборант-технолог запускает процесс роста слоя  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на первой установке, а затем переходит на вторую и запускает осаждение пленки  $\text{TiO}_2$ . При этом, наблюдая за ходом обоих процессов на едином пункте управления, он замечает, что окончание процессов роста произошло одновременно.

1. Определить продолжительность (в минутах) осаждения пленки  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , если известно, что время между последовательными запусками процессов на первой и второй установках составляет  $\Delta t = 2$  минуты, а скорость роста диоксида титана на  $\Delta v = 0,02 \text{ нм/с}$  больше, чем скорость роста оксида алюминия.

2. Оценить, какое время (в часах) понадобится для получения пленки диоксида титана толщиной  $1 \text{ мкм}$ ?

## Брэгговское зеркало

Брэгговское зеркало (или распределенный диэлектрический отражатель) представляет собой набор ультратонких (от десятков до сотен нанометров) слоев из прозрачных материалов с периодически меняющимся показателем преломления  $n$ . Оптические толщины слоев подбираются таким образом, чтобы при падении света на такую структуру возникающая интерференция для отраженных от границ раздела сред лучей приводила бы к их взаимному усилению. В результате в определенном диапазоне длин волн такая многослойная структура начинает очень эффективно (с коэффициентом  $\sim 100\%$ ) отражать свет, несмотря на то, что каждый ее слой в отдельности прозрачен. Принцип такого распределенного отражателя широко используется, например, в одномерных фотонных кристаллах, интерференционных светофильтрах и т.п.

В простейшем случае Брэгговское зеркало состоит из последовательности двух чередующихся слоев с различными показателями преломления  $n_1$  и  $n_2$  (пусть для определенности  $n_1 < n_2$ ). Известно, что при нормальном падении монохроматического света с длиной волны  $\lambda$  на такую многослойную структуру для достижения эффективного отражения необходимо выполнение следующего условия интерференционного максимума для отраженных лучей:

$$2\Lambda = m\lambda,$$

которое называется условием Брэгга ( $\Lambda$  – период структуры,  $m$  – целое число). При этом чаще всего оптические толщины каждого из слоев выбирают равными четверти длины волны падающего света (в условии Брэгга  $m=1$ ).

1. Почему оптические толщины слоев простейшего Брэгговского зеркала выбирают равными именно  $\lambda/4$ , и что изменится, если эти толщины выбрать в виде любой другой комбинации, дающей в сумме  $\lambda/2$ ? Ответ обосновать.

2. Как качественно изменится коэффициент отражения, если оптические толщины слоев взять равными  $\lambda/2$  (в условии Брэгга  $m=2$ )? Ответ обосновать.

## Биофизика клеточных мембран

Если концентрация какого-либо иона внутри клетки отлична от концентрации этого иона снаружи и клеточная мембрана для него проницаема, то возникает поток заряженных частиц через мембрану. При этом нарушается электрическая нейтральность клетки и между внутренней и наружной поверхностями мембраны образуется разность потенциалов, препятствующая дальнейшему перемещению ионов. В конечном итоге поток ионов останавливается и наступает термодинамическое равновесие.

1. Рассчитайте по формуле Нернста разность потенциалов на мембране некоторой клетки при температуре  $36^{\circ}\text{C}$ , если она определяется переносом ионов калия. Концентрация калия внутри клетки равна  $C_{\text{внут}} = 92$  ммоль/л, а снаружи –  $C_{\text{вне}} = 5$  ммоль/л.

2. Рассчитайте, какая доля ионов калия (в %) должна перейти из клетки в межклеточную среду, чтобы создать такую разность потенциалов. Радиус клетки считать равным 5 мкм, толщину мембраны – 4 нм, диэлектрическая проницаемость липидов мембраны  $\epsilon = 2,3$ .

3. Рассчитайте напряженность электрического поля, под действием которого находится мембрана клетки.

## Прыгающие капли

Оказывается, достаточно маленькие капли при слиянии могут подпрыгивать (рис. 1).

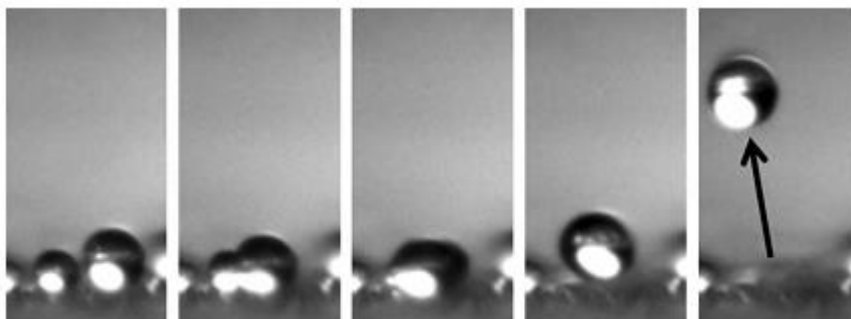


Рис.1 Кадры высокоскоростного видео: формирование подпрыгивающей капли.

1. Объясните, откуда в капле берется энергия для прыжка и почему прыгают только относительно маленькие капли. Рассчитайте энергию, высвобождающуюся при слиянии двух капель воды радиусом 7 мкм.

2. Оцените начальную скорость и максимальную высоту, на которую может подпрыгнуть капля, образовавшаяся при слиянии двух одинаковых капель радиусом 7 мкм. Однако, высота прыжка таких капель, как правило, не превышает нескольких миллиметров (рис. 2а). Поясните, почему расчетная величина отличается от экспериментальной.

3. Очевидно, что обладающая избыточной энергией капля воды далеко не всегда будет прыгать. Предложите подробный механизм подпрыгивания капли.

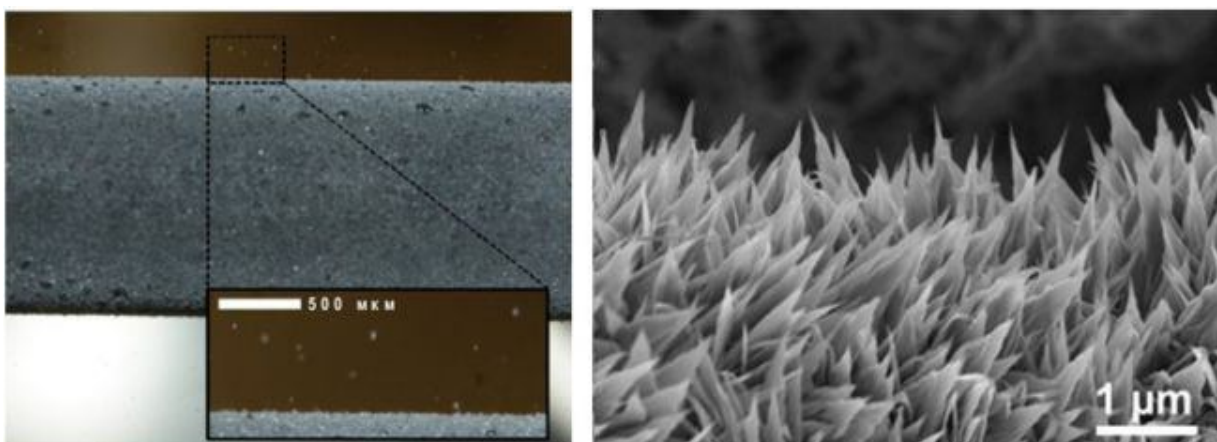


Рис. 2 Поверхность трубки второго типа: а) слияние растущих капель конденсата может сопровождаться подпрыгиванием итоговой капли. б) микроструктура поверхности.

В поисках оптимальных материалов для конденсационных теплообменников (например, змеевиков) ученые исследовали 2 типа металлических трубок. Первый тип – это обычные медные трубки, второй – медные трубки, последовательно обработанные горячим щелочным раствором хлорита натрия и фторированным силаном (рис. 2б). Оказалось, что только на трубках второго типа наблюдались прыгающие капли (рис. 2а).

4. Как меняется смачиваемость поверхности медной трубки на каждом из этапов модификации? Почему капли не хотят прыгать на поверхности обычной медной трубки, но отлично прыгают на модифицированной? Ответы поясните.

5. Поясните, как именно влияет модификация поверхности медной трубки на эффективность конденсации водяного пара и на эффективность теплообмена. Какую роль при этом, помимо прочего, играют прыгающие капли?

## Сокровища горного тролля

Как-то раз друзья подшутили над горным троллем и смешали все его богатства. Надо сказать, что тролль был небольшим, потому и сокровища у него были соответствующие. Размеры всех драгоценных камней и слитков благородных металлов были дотошно перечислены в амбарной книге горного тролля, поэтому он не долго горевал, а быстро догадался, как рассортировать свое добро заново.

Амбарная книга горного тролля			
	плотность, г/см <sup>3</sup>	диаметр, нм	
алмазы	3,5	100, 5000	1000,
изумруды	2,7	100, 5000	1000,
золото	19,5	100, 5000	1000,

Достал тролль из своих кладовых прозрачный цилиндр, наполнил его чистой водой из горного ручья и стал брать из кучи драгоценности поштучно, начиная с самых крупных. Он аккуратно бросал их в цилиндр, чтобы, как древний Архимед, определить объем. Не тут-то было: не капает вытесненная вода из носика заполненного до краев цилиндра... Однако наш тролль оказался находчивым - засыпал все свои сокровища в цилиндр, достал хронометр, и дело у него пошло на лад.

1. Почему горный тролль не смог воспользоваться законом Архимеда?
2. Какой способ разделения драгоценностей в итоге выбрал тролль? Подробно опишите его принцип.
3. Какие драгоценности горный тролль отделит быстрее всего, а какие – медленнее всего? Запишите в общем виде формулу для времени выделения отдельных сокровищ. Все ли драгоценности удастся разделить за сутки?
4. Будь у горного тролля современная лаборатория, каким прибором вы бы посоветовали ему воспользоваться, чтобы ускорить процесс разделения богатств при помощи им выбранного способа? Ответ поясните.

Вязкость воды  $8,94 \cdot 10^{-4}$  Па·с, плотность  $1$  г/см<sup>3</sup>, высота стакана  $1$  см. Все драгоценности считать идеально смачиваемыми шариками.

## Физическая адсорбция

Простейшая модель обратимой физической адсорбции азота (при  $T = 85\text{K}$  и  $p_{N_2(\text{газ})} \sim 1 - 10$  мм.рт.ст.) рассматривает всю поверхность некоторого Материала Икс как набор равнодоступных и одинаковых площадок (адсорбционных центров)  $S$ , каждая из которых может быть занята только одной молекулой. Уравнение реакции и константа равновесия этого процесса могут быть записаны как:



где  $[N_{2(\text{адс})}]$  и  $[S]$  – доли занятых и свободных адсорбционных центров на поверхности,  $p_{N_2(\text{газ})}$  – парциальное давление азота.

1. Выделяется или поглощается энергия в процессе физической адсорбции? Каким образом молекулы азота удерживаются на поверхности? Почему в указанных условиях используется азот, а не гелий? Какими способами можно удалить адсорбированный азот с поверхности?

2. Выведите зависимость степени заполнения поверхности Материала Икс ( $\theta$ ) от  $p_{N_2(\text{газ})}$  в мм.рт.ст, если известно, что при давлениях 1,5 и 5,8 мм.рт.ст. количество азота, адсорбированного пятью граммами Материала Икс, составляет  $3 \cdot 10^{-3}$  и  $7 \cdot 10^{-3}$  моль, соответственно.

3. Рассчитайте удельную площадь поверхности Материала Икс (в  $\text{м}^2/\text{г}$ ), если молекула азота занимает на его поверхности квадрат площадью  $16 \text{ \AA}^2$ .

4. Почему определенная таким способом величина удельной площади поверхности может отличаться от реальной?

5. Оцените средний радиус (нм) и общую длину (м/г) пор в Материале Икс, если его истинная плотность составляет  $2,95 \text{ г/см}^3$ , а кажущаяся –  $1,1 \text{ г/см}^3$ ? При расчете считать образец кубом, пронизанным цилиндрическими порами.

6. Где может найти применение материал с такими, как у Материала Икс, характеристиками?

## Фотоионизация нанокластера: электростатическая модель

Энергия ионизации  $E$  – это минимальная энергия, которую необходимо затратить для перемещения электрона из твердого тела на бесконечность. В общем случае она складывается из работы выхода электрона  $W$  и классической работы  $A$ , которая необходима для преодоления электроном электростатического поля твердого тела:

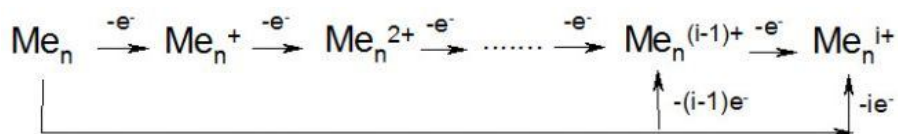
$$E = W + A$$

Рассмотрим незаряженный шар радиуса  $R$  из материала с работой выхода  $W$ .

1. Чему при этом равны энергии удаления одного и  $m$  электронов ( $E_1$  и  $E_m$ , соответственно)? Электрон может быть удален, например, под действием света (фотоэффект).

2. Рассчитайте красную границу фотоэффекта ( $\lambda_{\max}$ , нм) для объемного образца и нанокластера\* натрия. Почему отличаются полученные значения  $\lambda_{\max}$ ? Каким цветам видимого спектра они соответствуют?

Рассмотрим последовательную ионизацию нанокластера металла радиуса  $R$  из материала с работой выхода  $W$ :

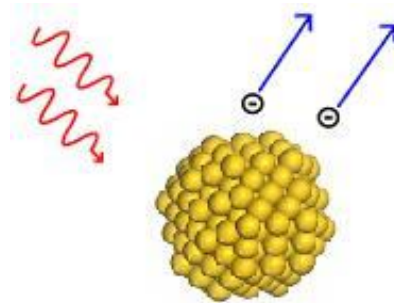


3. Выведите формулу энергии последовательной ионизации  $E_i$  (т.е., энергию процесса  $\text{Me}_n^{(i-1)+} \rightarrow \text{Me}_n^{i+} + e^-$ ).

4. Рассчитайте максимальный заряд нанокластера\* натрия при ионизации ультрафиолетовым лазером с длиной волны 200 нм.

\* Нанокластер имеет форму шара и содержит 14000 атомов натрия.

Работу выхода натрия считать равной 2,39 эВ, плотность натрия 0,971 г/см<sup>3</sup>. Все рассматриваемые процессы протекают в вакууме.







## Миниатюрный радиопередатчик

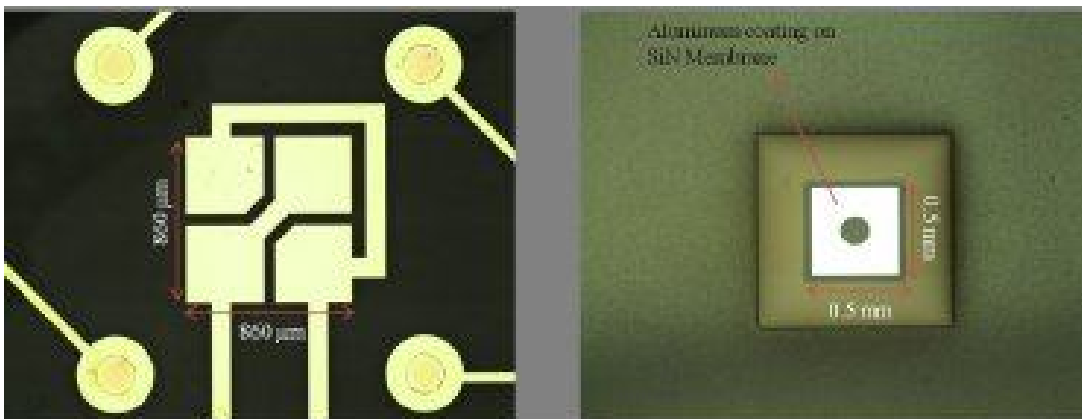
Современная микроэлектроника развивается стремительно. Продолжают уменьшаться характерные размеры элементов микросхем, возрастает несущая частота для радиопередачи данных.

Студент решил спроектировать радиопередатчик, в основе которого находится колебательный контур, состоящий из катушки индуктивности и конденсатора. Он предположил, что катушка индуктивности имеет  $N = 10^4$  витков, намотанных на диэлектрический стержень, диаметра  $d = 200$  нм. Обкладки конденсатора представляют собой две соосные проводящие трубки, изолированные друг от друга. Пространство между обкладками заполнено воздухом. Диаметр меньшей равен  $d = 200$  нм, а большей  $2d = 400$  нм. Длина конденсатора такая же, как и катушки индуктивности. Площадь поперечного сечения соединительных проводов  $S = 0,003$  мм<sup>2</sup>.

1. Найдите индуктивность катушки единичной длины и ёмкость конденсатора единичной длины.

2. Определите несущую частоту радиопередатчика.

Найдите максимальное значение плотности тока в соединительных проводах, если обкладкам конденсатора сообщить максимальный заряд  $q = 10^{-3}$  нКл.



## Оптическая спектроскопия наноструктур

Один из способов создания наноструктур – нанесение тонких слоев на подложку. Это может быть метод электронно-лучевой эпитаксии или плазмохимическое осаждение. Нанесенные на подложку пленки могут быть исследованы различными оптическими методами. Например, очень полезной может быть информация, полученная из спектров отражения. На рисунке 1 представлен спектр зеркального отражения пленки, нанесенной на кварцевую подложку. Красная кривая соответствует падению луча под углом  $13^\circ$ , а синяя под  $45^\circ$ .

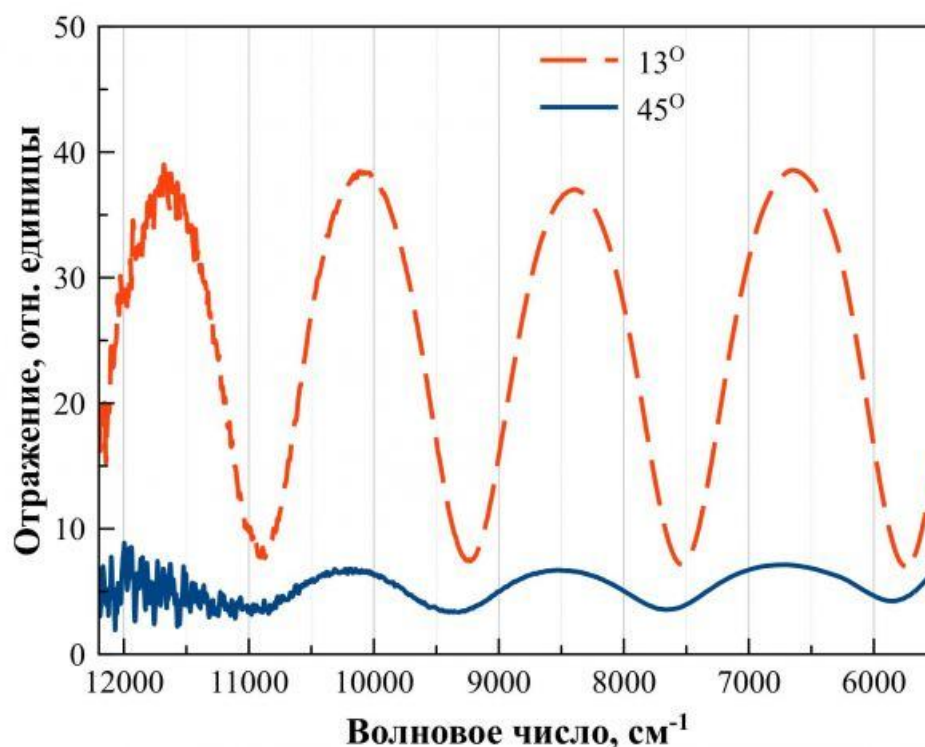


Рисунок 1: Спектр отражения пленки под углами 13 и 45 градусов

По оси абсцисс отложено волновое число, которое в спектроскопии принято считать, как обратную длину волны.

1. Определите в каком спектральном диапазоне проводились измерения.
2. Объясните какое явление наблюдается, и почему положение минимумов и максимумов в спектрах отражения под разными углами не совпадает.
3. Определите показатель преломления и толщину пленки.

# МАТЕМАТИКА (ЗАОЧНЫЙ ТУР)

## Изотопы в масс-спектре

Природный углерод, помимо основного изотопа  $^{12}\text{C}$ , содержит тяжелый изотоп  $^{13}\text{C}$  (1,1%). Для низкомолекулярных веществ доля молекул, содержащих хотя бы один тяжелый атом, невелика, но с ростом числа атомов углерода их доля возрастает, и в белках, ДНК и полимерах такие «тяжелые» молекулы уже преобладают.

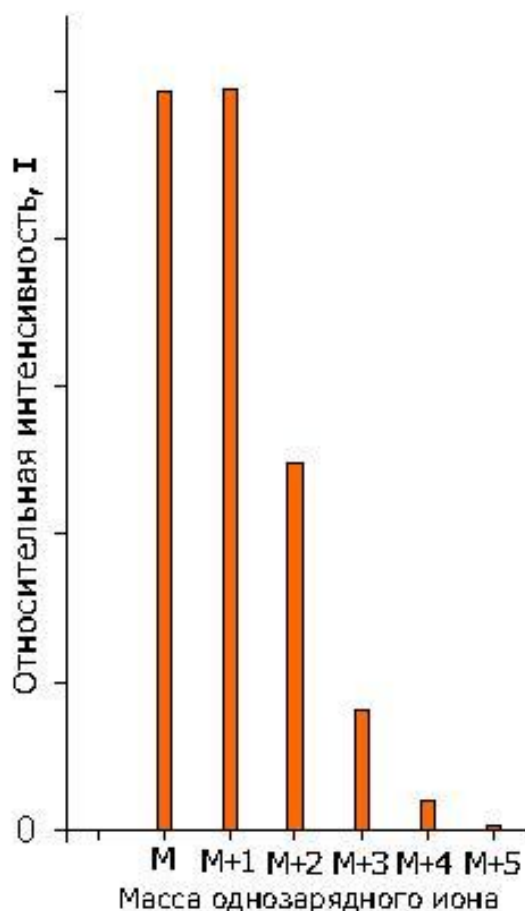
В масс-спектре\* (см. рисунок) некоторого образца полиэтиленгликоля  $\text{HO}-(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n-\text{H}$ \*\* интенсивности пиков, отвечающих однозарядным молекулярным ионам с массами  $M$  и  $M+1$  а.е.м., примерно равны.

1. Исходя из природного содержания изотопа  $^{13}\text{C}$ , рассчитайте  $n$  для данного образца.
2. Найдите соотношение интенсивностей пиков  $M$  и  $M+2$ . Ответ подтвердите расчетом.

Кислород и водород в исследуемом образце ПЭГ являются моноизотопными, содержанием  $^{14}\text{C}$  пренебречь.

\*Масс-спектрометрия - метод исследования, основанный на определении отношения массы к заряду ионов, образующихся при ионизации вещества. Интенсивность пика  $I$  пропорциональна количеству молекул данной массы в анализируемом образце.

\*\*Полиэтиленгликоль (ПЭГ) – полимер, который широко используется в бионанотехнологии в качестве материала для наноконтейнеров, способствующих проникновению через биологические барьеры и маскирующих лекарства от иммунной системы.



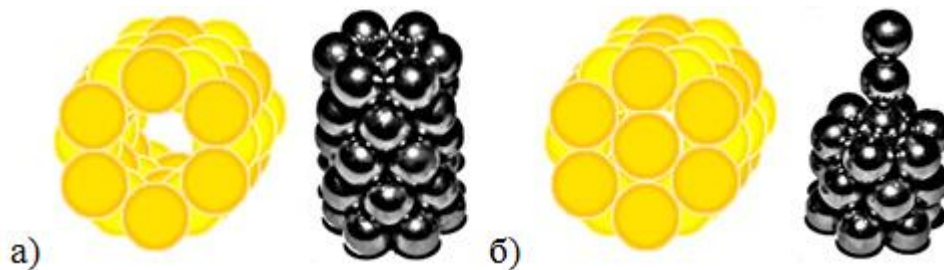
## Медная нанотрубка

Укладывая друг на друга кольца из шести атомов меди так, как показано на рисунке а, можно получить медную нанотрубку.

1. Каков диаметр этой трубки, если радиус атома меди равен 0,128 нм?

Внутри такой трубки помещается цепочка из соприкасающихся атомов меди, так, что первый атом цепочки касается всех шести атомов первого слоя трубки (рисунок б).

2. Определите, в каком еще (по счету от начала) слое трубки все шесть атомов будут касаться атома из цепочки? Ответ подтвердите расчетом.



## Интеркаляты. Графит

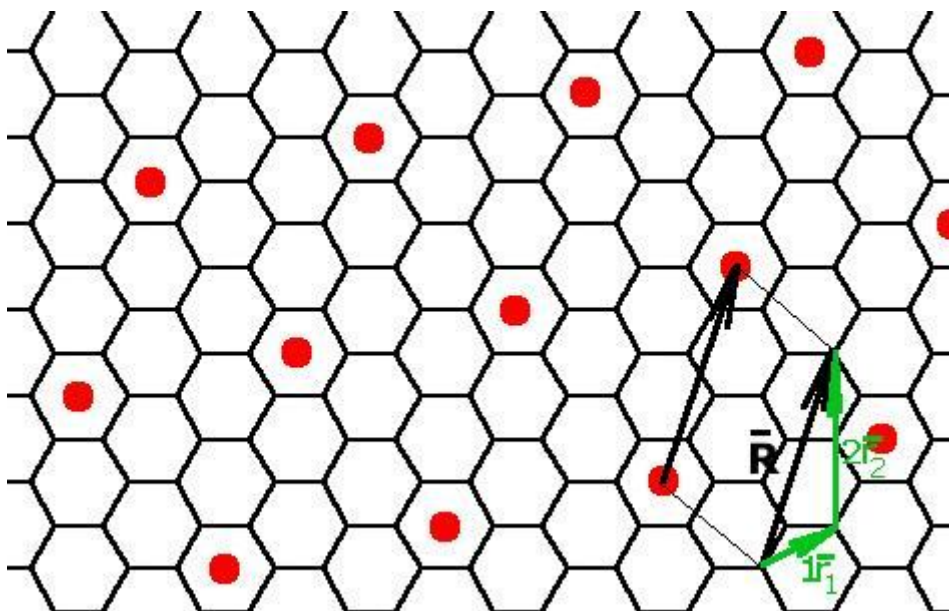


Рис. 1. Порядок взаимного расположения атомов металла относительно листа графита задается вектором  $\vec{R} = n\vec{r}_1 + m\vec{r}_2$  (суммой единичных векторов с коэффициентами  $n$  и  $m$ ). Пример  $(n, m) = (1, 2)$ : результирующий вектор  $\vec{R} = 1\vec{r}_1 + 2\vec{r}_2$ .

При взаимодействии щелочных металлов с графитом образуются соединения внедрения – интеркаляты, в которых внедренные атомы регулярно расположены между слоями графита. Симметричное расположение атомов металла друг относительно друга и относительно слоя графита задается вектором  $\vec{R} = n\vec{r}_1 + m\vec{r}_2$  (см. рис. 1).

1. Выведите общую формулу интеркалятов  $MeC_x$  через индексы  $(n, m)$ , если атомы металла расположены между всеми слоями графита одинаково.
2. Какие значения  $x$  и  $(n, m)$  соответствуют максимальному теоретическому содержанию металла в  $MeC_x$ ?
3. Определите  $(n, m)$  для соединений  $LiC_6$ ,  $KC_8$ .
4. Выведите формулу интеркалята, если описанное выше внедрение атомов металла происходит через каждые  $u$  слоев графита?

## Считаем изомеры галогенфуллере́на

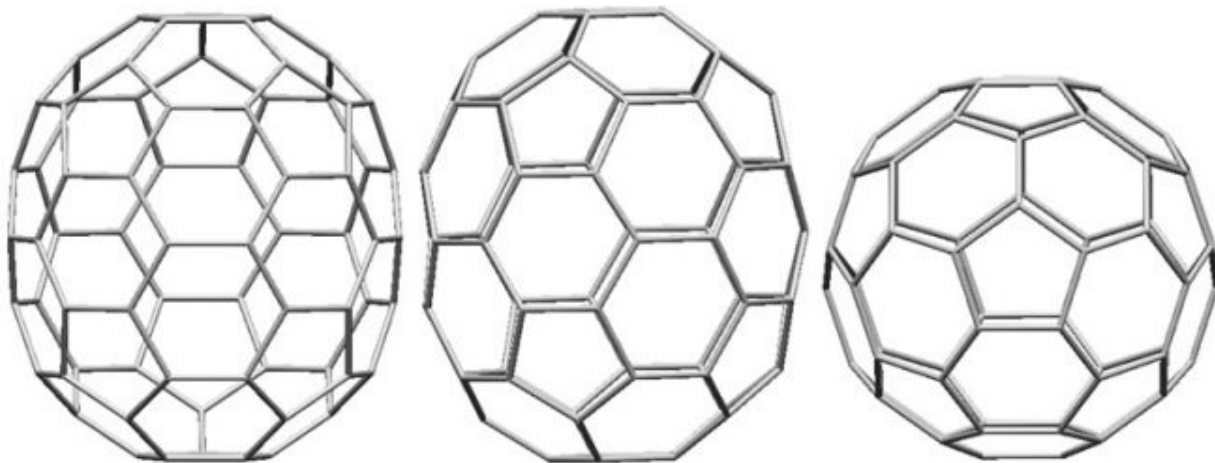


Рис 1. Вид на фуллерен  $C_{70}$  с разных направлений.

При галогенировании фуллере́на  $C_{70}$  образовался продукт  $C_{70}Hal_x$ , имеющий идентичный углеродный скелет и такое же количество неэквивалентных\* атомов углерода, как и исходный фуллерен.

1. Какие значения  $x$  возможны в таком продукте?
2. Для каждого значения  $x$  рассчитайте, сколько существует разных молекул  $C_{70}Hal_x$ , удовлетворяющих условию. Ответы поясните.

\*Неэквивалентными считаются атомы, которые невозможно совместить друг с другом ни при каких поворотах молекулы в пространстве. При решении учтите, что атомы, переходящие друг в друга при отражении в плоскости, могут оказаться неэквивалентными.

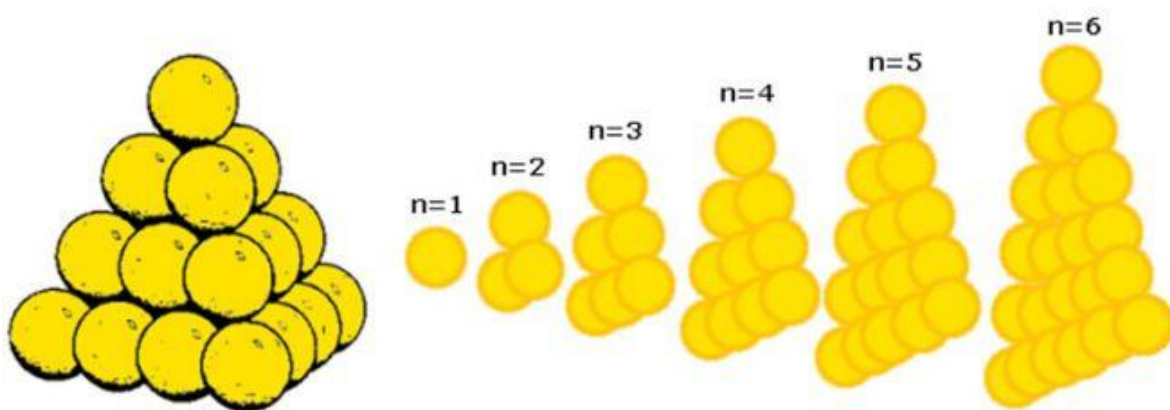
## Золотая пирамида

Атомы золота могут образовывать кластеры в форме правильного тетраэдра. Такой кластер можно рассматривать как  $n$  треугольных слоев, уложенных в стопку друг на друга.

1. Выведите формулу  $M(n)$ , связывающую количество атомов золота в слое с номером слоя. Выведите формулу  $N(n)$ , связывающую суммарное количество атомов золота в кластере с количеством слоев.

2. Рассчитайте количество атомов в таком кластере, если радиус описанной вокруг него окружности примерно равен 3,5 нм.

Радиус атомов золота принять равным  $r = 0,144$  нм.





## Фуллереновый конструктор: низшие фуллерены

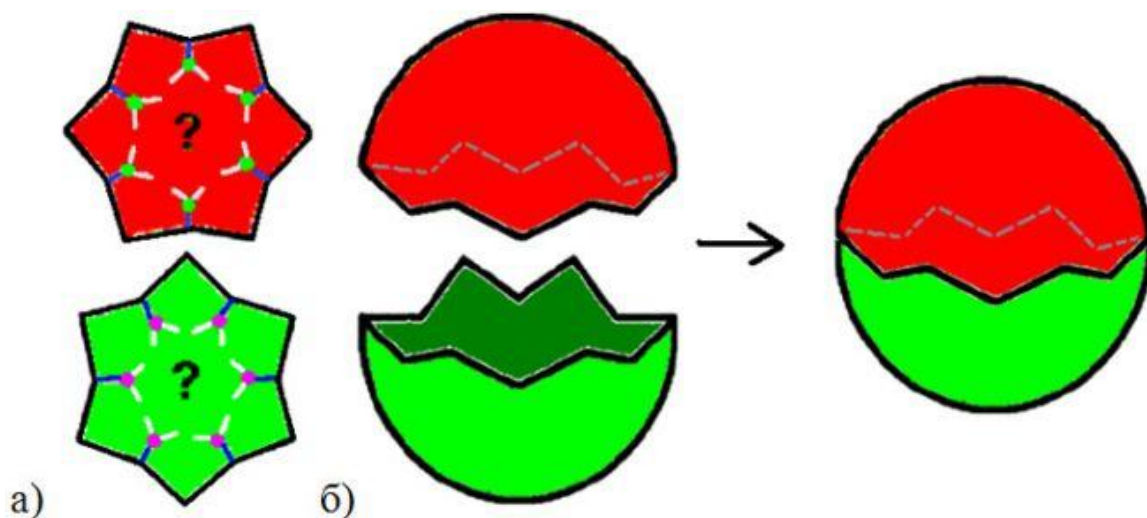


Рис.1 а) Плоские проекции «шапочек»\*, б) получение фуллерена «склеиванием» двух «шапочек».

Между самым маленьким фуллереном  $C_{20}$  и бакиболом  $C_{60}$  существует множество простых фуллеренов. Некоторые из них можно получить, «склеив» друг с другом две простые «шапочки» (рис.1).

1. Используя теорему Эйлера для выпуклого многогранника, найдите, сколько пяти- и шестиугольников содержит произвольный фуллерен  $C_n$ .
2. Постройте «шапочки», содержащие 1, 2, 3 и 4 шестиугольника\*\*.

Сколько вершин добавляет в «шапочку» каждый новый шестиугольник? Приведите формулы низших фуллеренов  $C_n$ , которые можно получить, комбинируя такие «шапочки».

\*Пятиугольники распределены поровну между двумя «шапочками», каждому числу шестиугольников соответствует только одна «шапочка».

\*\*В ответе можно привести либо проекции «шапочек», либо дать их полное словесное описание (в каком порядке пяти- и шестиугольники расположены в «шапочке»).

## Капсид – белковая оболочка вируса

При создании капсида Природой была решена непростая задача: как, используя минимальное количество информации, из не обладающих высокой симметрией фрагментов собрать замкнутую оболочку с максимальной вместимостью (рис. 1). Для этого, в зараженной вирусом клетке первоначально синтезируются белковые кирпичики – **протомеры**, которые затем объединяются в симметричные «строительные блоки» – **капсомеры** – состоящие из пяти (**пентоны**) и шести (**гексоны**) протомеров. Используя однотипное объединение капсомеров друг с другом, вирусы строят оболочку необходимого размера, которая чаще всего приобретает симметричную форму икосаэдра.

В простейшем случае вирус использует одинаковые протомеры, соединенные одним и тем же способом друг с другом. На рис. 1 приведен пример сборки грани икосаэдра, основанный на таком принципе. Как можно видеть из рисунка, самой маленькой *симметричной* единицей подобного капсида будет являться равносторонний треугольник, составленный из трех протомеров. Число таких треугольников, приходящихся на одну грань икосаэдра, носит название *величины триангуляции Т*.

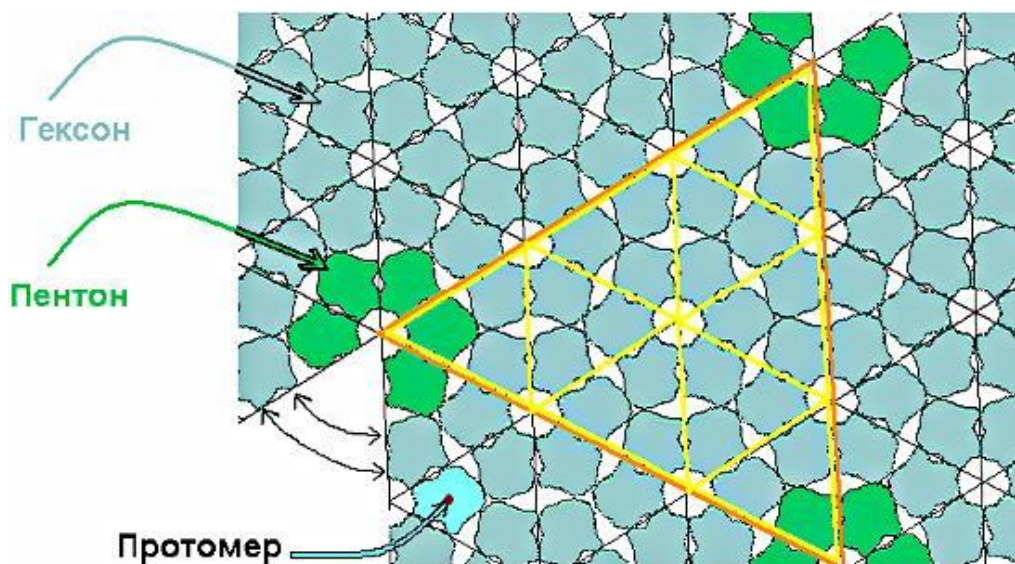


Рис. 1. Однотипно соединенные идентичные **протомеры** формируют плоский лист, состоящий из повторяющихся мотивов – **гексонов**. Для сворачивания этого листа в объемный икосаэдр в нем необходимо создать мотивы, состоящие из **пентонов**. Это можно сделать, «вырезав» один сектор гексона и «склеив» края. При этом возникают небольшие геометрические искажения, но характер связи между протомерами не нарушается. В данном примере  $T = 9$ .

Если из листа протомеров в месте будущих «вершин» удалить не один, как показано на рис. 1, а два или три рядом лежащих сектора, то при его сворачивании также можно получить замкнутые оболочки, состоящие из одинаковых граней.

1. Форму каких многогранников будут иметь такие капсиды? Почему они, в отличие от икосаэдрических, не встречаются в природе?

2. Сколько протомеров содержит самый простой икосаэдрический капсид? В какие капсомеры они объединены? Ответ поясните.

3. В мире фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$  – самые распространенные структуры. Какое значение величины триангуляции  $T$  будет у капсида, являющегося «аналогом» фуллерена  $C_{60}$  по числу пентонов и гексонов? Почему несмотря на то, что из пентонов и гексонов можно построить капсид в форме фуллерена  $C_{70}$  («мяч регби»), такие капсиды не получили распространения среди вирусов? Ответы поясните.

Структура капсида играет важную роль при классификации вирусов, поскольку, как правило, специфична не только для конкретного вируса, но и для всего семейства, к которому он принадлежит.

4. По рис. 2 определите число протомеров, триангуляцию, число пентонов и гексонов для изображенных капсидов вирусов. Опишите ход вашего решения.

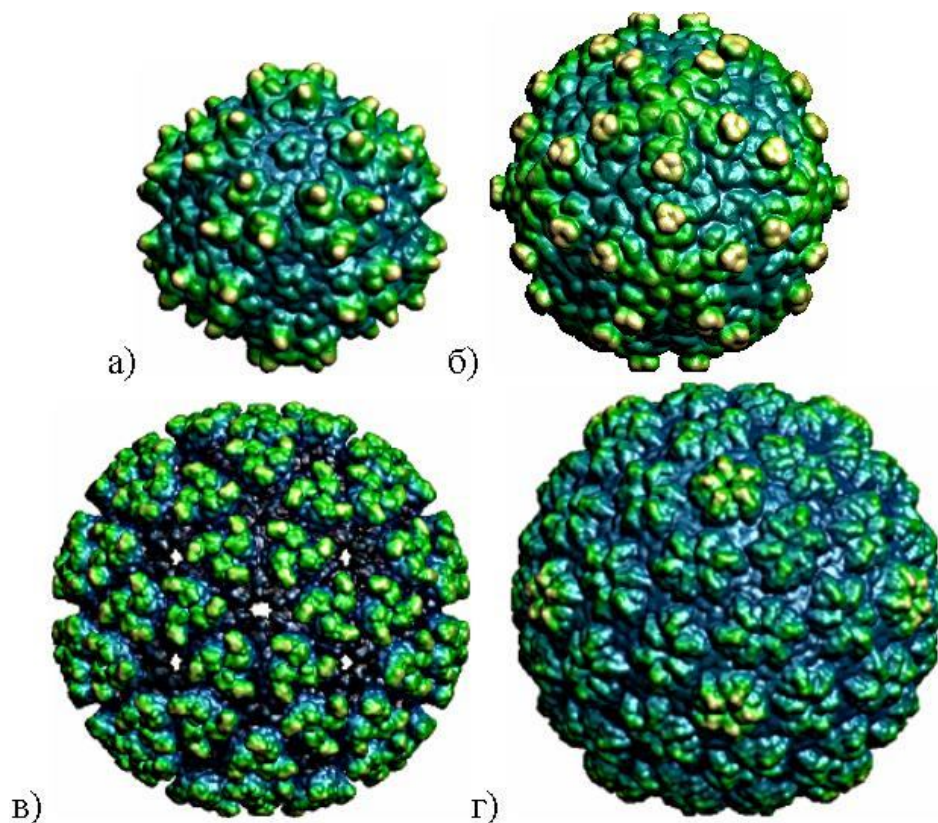


Рис. 2. Модели поверхностей капсидов: а) аденоассоциированного вируса, б) нодавируса, в) тогавируса, г) подовируса.

## Икосаэдрическая матрешка

Согласно ПЭМ изображению (рис. 1а), «луковичный» фуллерен состоит из вложенных друг в друга подобно матрешке икосаэдрических\*\* фуллеренов, причем все слои расположены симметрично друг под другом.

1. Найдите общую формулу «луковичного» фуллерена, если он представляет собой:

- а) тип 1:  $x$  последовательных слоев  $(1,1), (2,2), (3,3) \dots (x,x)$ ;
- б) тип 2:  $x$  последовательных слоев  $(0,1), (0,2), (0,3) \dots (0,x)$ .

2. Для каждого из двух типов матрешек найдите расстояние между треугольными гранями последовательно вложенных икосаэдрических фуллеренов. Как вы думаете, какой из этих типов «луковичных» фуллеренов может формироваться, если расстояние между слоями углерода в графите составляет  $0,335 \text{ нм}$ ? Длину С-С связи считать равной  $0,142 \text{ нм}$ .

3. Основываясь на геометрических и структурных особенностях самых маленьких фуллеренов каждого типа и предпочтительной пространственной конфигурации атома углерода, предположите, какой из них стоит ожидать в центре матрешки.

4. Можно ли по ПЭМ изображению (рис.1а.) определить, вершиной или треугольной гранью икосаэдра повернут «луковичный» фуллерен по отношению к пучку электронов? Можно ли по этому изображению установить, какой икосаэдрический фуллерен находится в центре «луковицы»?

Ответы поясните. В решении можно пользоваться формулами, описывающими геометрию икосаэдра.

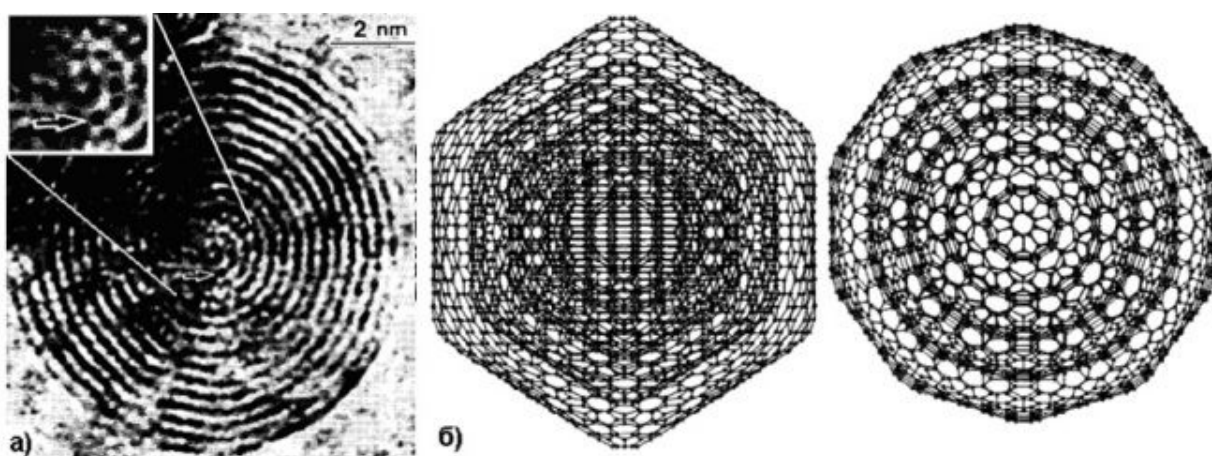


Рис. 1 а) ПЭМ изображение\* высокого разрешения реального «луковичного» фуллерена.

б) Две разных проекций одной из моделей некоторого «луковичного» фуллерена.



\*ПЭМ - просвечивающая электронная микроскопия. Образец «просвечивается» пучком электронов, и там, где падающие электроны рассеиваются на атомах образца, на ПЭМ изображении образуются темные тени. В результате можно получить «силуэт» молекулы на фотопластинке.

\*\*Всю поверхность гексаэдрического фуллера  $C_N$  можно представить в виде «выкройки» из графенового

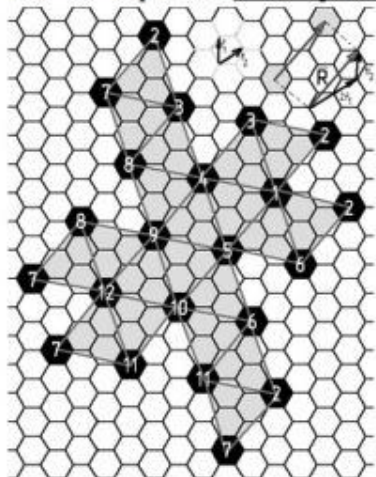


Рис. 2. Пример  $(n, m) = (2, 1)$ :  
Единичные векторы  $r_1$  и  $r_2$ ,  
резльтирующий вектор  
 $\vec{R} = 2\vec{r}_1 + 1\vec{r}_2$ . Если склеить  
вершины треугольников с  
одинаковыми номерами,  
получится фуллерен  $C_{140}$  (при  
этом, в местах склейки вершин  
образуются пятиугольники).



листа, которая состоит из 20  
одинаковых равносторонних  
треугольников (рис. 2). Чтобы  
однозначно задать такую «выкройку»,  
достаточно задать относительное  
расположение центров двух будущих  
пятиугольников на графеновом листе,  
которое определяется вектором  
 $\vec{R} = n\vec{r}_1 + m\vec{r}_2$  (суммой единичных  
векторов с коэффициентами  $n$  и  $m$ ).  
Общее число атомов при этом  
определяется по формуле  
 $N = 20(n^2 + nm + m^2)$ .

## Медно-фосфорный многогранник

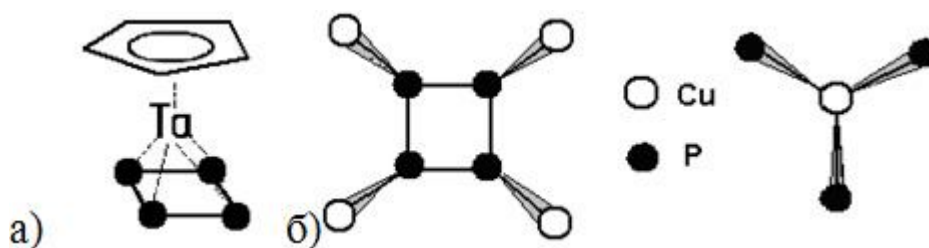


Рис. 1. а) Структура  $(C_5H_5)Ta(P_4)$ . б) Структурные фрагменты медно-фосфорного каркаса X: окружение атомов фосфора и меди.

Проведение реакции между  $(C_5H_5)Ta(P_4)$  (рис.1а) и хлоридом меди  $CuCl$  позволяет получить соединение  $\{(C_5H_5)Ta(P_4)\}_n\{CuCl\}_m$ , в основе которого содержится медно-фосфорный каркас X состава  $P_{4n}Cu_m$ . Каркас X составлен из одинаковых фрагментов (рис. 1б) и представляет собой высокосимметричный многогранник, состоящий из двух типов многоугольников: четырехугольников  $P_4$  и медно-фосфорных многоугольников Y.

1. Определите соотношение между атомами фосфора и меди в каркасе X и многоугольнике Y.

Используя теорему Эйлера для выпуклых многогранников, установите сколько вершин содержит Y.

2. Сколько атомов меди и фосфора содержит медно-фосфорный каркас X? Сколько в нем вершин? Ответ подтвердите расчетом.

3. Симметрией каких Платоновых тел обладает многогранник X? Как расположены атомы меди и фосфора относительно вершин этих многогранников?

4. Оцените размер медно-фосфорного каркаса X как расстояние между центрами максимально удаленных атомов меди, если радиус атома меди составляет 0,124 нм, радиус атома фосфора 0,109 нм; угол P-Cu-P считать примерно равным  $110^\circ$ .

## Поиск нанотрубок *in silico*

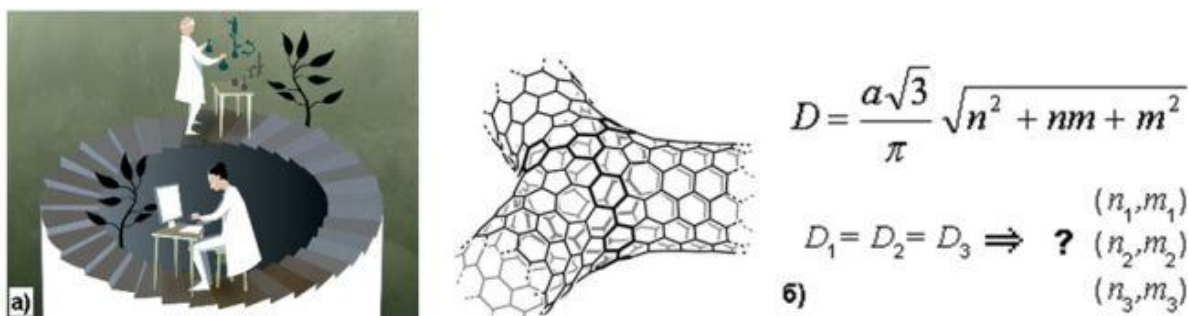


Рис. 1. а) Иллюстрация из пресс-релиза Нобелевской премии 2013 года по химии: компьютер, наряду с экспериментом, позволяет исследовать работу хлорофилла. б) Формула для нахождения диаметра углеродной нанотрубки с индексами хиральности  $(n,m)$ .

Юному нанохимику Полуэкту для изготовления прецизионных элементов нанoeлектроники будущего понадобилось создать углеродные нанотрубки, которые имеют одинаковую толщину, но разные индексы хиральности. Чтобы отыскать такие нанотрубки, Полуэкт взял в руки калькулятор, карандаш, лист бумаги, и принялся считать...

1. Пока Полуэкт считает на калькуляторе, помогите ему с помощью компьютера найти индексы хиральности необходимых нанотрубок, если требуются:

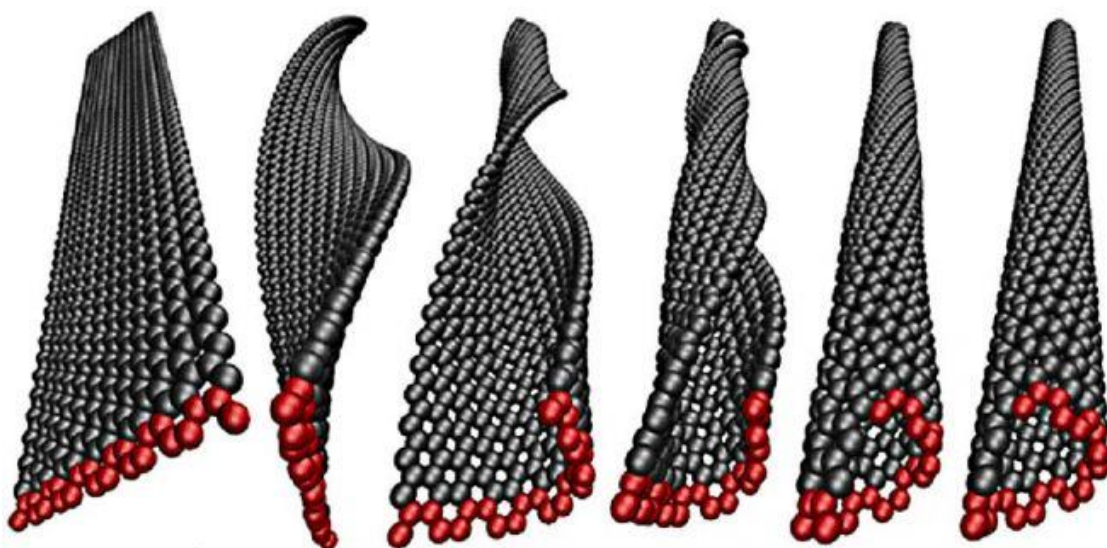
- а) 3 нанотрубки минимального одинакового диаметра;
- б) 3 нанотрубки минимального одинакового диаметра, одна из которых является зубчатой;
- в) 3 нанотрубки минимального одинакового диаметра, одна из которых является зигзагообразной;
- г) 4 нанотрубки минимального одинакового диаметра.

Рассчитайте диаметры найденных нанотрубок, если длина С-С связи  $a$  составляет 0,142 нм

2. Какими инструментами Вы воспользовались? Опишите алгоритм поиска.

Углеродные нанотрубки называются зубчатыми при  $m = n$ , и зигзагообразными если  $n = 0$  или  $m = 0$ . Нанотрубки типа  $(5,1)$  и  $(1,5)$  в рамках поставленной задачи считаются одной и той же трубкой.

## Трубка из трубки



Если исходную открытую углеродную нанотрубку (и-УНТ) «разрезать» вдоль оси, то полученную наноленту графена иногда удастся «замкнуть» в новую нанотрубку, сместив края вдоль направления разреза (например, как на заглавном рисунке).

1. Из зигзагообразных и зубчатых и-УНТ указанным способом можно получить наборы итоговых нанотрубок со смещением краев наноленты, кратным некоторому минимальному шагу  $s$ , зависящему от типа трубки.

Запишите индексы хиральности для первых 10 итоговых нанотрубок (полученных смещением на  $1s, 2s, \dots, 10s$ ), если «разрезали» а) и-УНТ (4,4) (рис. 1а), б) и-УНТ (5,0) (рис. 1б). Напишите общие формулы, связывающие индексы итоговых нанотрубок  $(x,y)$  с числом шагов смещения  $k$  и индексами хиральности произвольных зубчатой  $(n,n)$  и зигзагообразной  $(n,0)$  и-УНТ.

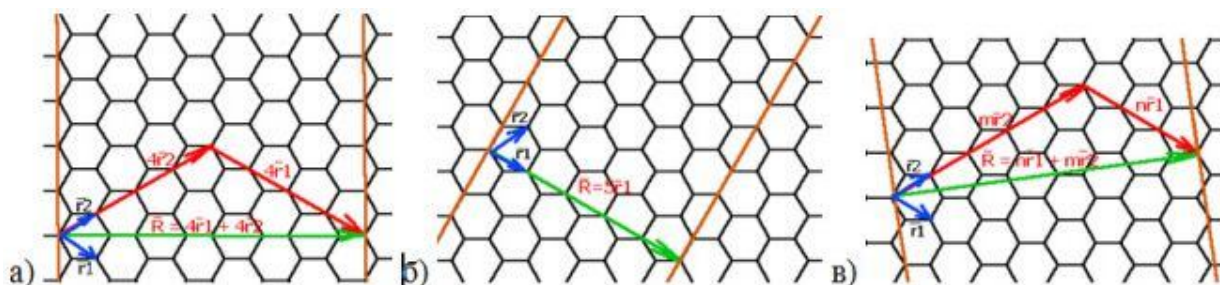


Рис. 1. а) Развертка зубчатой УНТ (4,4). б) Развертка зигзагообразной УНТ (5,0). в) Пример развертки хиральной УНТ (3,5); для произвольной хиральной УНТ  $(n,m)$  ширина развертки и ее расположение относительно сетки шестиугольников задается вектором.



2. Какому условию должна удовлетворять произвольная хиральная и-УНТ  $(n,m)$ , чтобы из нее можно было получить новую нанотрубку описанным способом? Чему в этом случае будет равна величина  $s$ ? Свой ответ обоснуйте.

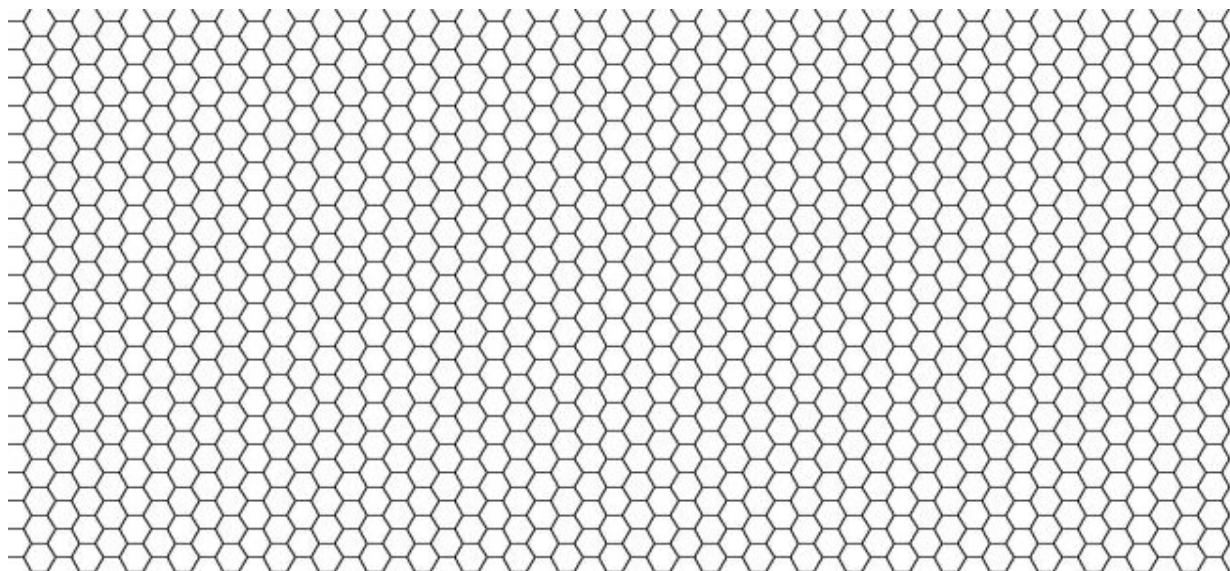
3. Можно ли описанным способом получить нанотрубку меньшего, чем у и-УНТ, диаметра? Ответ поясните.

4. Вдоль каких еще базисных направлений можно «разрезать» произвольную хиральную и-УНТ  $(n,m)$  так, чтобы из полученной наноленты графена можно было «замкнуть» новые нанотрубки? Запишите через  $(n,m)$  и-УНТ индексы хиральности  $(x,y)$  самых тонких итоговых нанотрубок, которые можно получить при каждом из направлений «разреза».

Примечание: при образовании любых новых нанотрубок шов не должен содержать дефектов и искаженных шестичленных циклов.

Подсказка: рекомендуется ознакомиться с задачей заочного теоретического тура VI Наноолимпиады «Двойная спираль... нанотрубки» и ее решением.

Вспомогательный материал к задачам по математике: сетка шестиугольников.



## БИОЛОГИЯ (ЗАОЧНЫЙ ТУР)

### «Матрешки»

Органеллы – природные аналоги нанотехнологических устройств, многие из которых безуспешно пытается сделать человек вот уже много лет. В клетках водорослей и высших растений есть органеллы, которые окружены несколькими мембранами, у высших растений, зеленых и красных водорослей эти органеллы имеют двухслойную мембрану, у динофитовых и эвгленовых – трехслойную, у золотистых, желтозеленых, диатомовых, криптофитовых и бурых водорослей – четырехслойную.

1. Какие органеллы имеются в клетках растений, перечислите их и их функции.
2. Как называются органеллы, о которых идет речь в задаче? Какие функции они выполняют в клетке растений?
3. Как растения обзавелись данными органеллами в ходе эволюции?
4. Как получилось так, что эти органеллы имеют две мембраны? Четыре мембраны?
5. У эвглены зеленой эти органеллы имеют три мембраны, почему? Как это может быть связано с особенностями питания эвглены?
6. Человек оказался не глупее водоросли, и создал рукотворные устройства, позволяющие частично выполнять важную функцию упомянутых органелл. Что это могут быть за устройства? В чем принцип их функционирования напоминает принцип работы органелл растений? Как нанотехнологические приемы позволяют усовершенствовать работу данных устройств?



## Антибиотики

Все мы иногда боеем. И тогда приходится пить лекарства, подробно следуя инструкциям врача или тому, что написано на упаковке. Одни лекарства приходится пить до еды, другие – после, а третьи – с едой. Какие-то лекарства сочетаются со всем, а некоторые – нет. И если хочешь быстро выздороветь, то никуда не денешься, надо точно выполнять все предписания. Но, пожалуй, наиболее важно придерживаться четких инструкций в случае приема антибиотиков. Иначе можно и лечение затянуть, и даже вызвать нежелательные побочные эффекты. Такое действие антибиотиков связано с особенностями их воздействия на бактерии и организм человека. Укажите правильные варианты ответов в тестах (их может быть несколько), а также напишите свои ответы.

1. Какие организмы не могут быть использованы для получения антибиотиков:
  - а. Бактерии
  - б. Грибы
  - в. Водоросли
  - г. Простейшие
2. Для лечения каких болезней не используются антибиотики. Почему?
  - а. Воспаление легких
  - б. Краснуха
  - в. Ангина
  - г. Цистит
3. На какие клеточные структуры бактерий действуют антибиотики?
4. Что такое антибиотикорезистентность и каковы ее механизмы?
5. Почему при сложных бактериальных инфекциях могут назначить несколько антибиотиков?
6. Почему при приеме антибиотиков противопоказан алкоголь?
7. Каким образом врач выбирает/подбирает нужный антибиотик для лечения конкретного заболевания?
8. Почему не рекомендуют самовольно снижать дозу или длительность приема антибиотика (даже тогда, когда видимых симптомов болезни не осталось)?
9. Почему для лечения разных бактериальных заболеваний доза антибиотика и длительность его применения различны? Например, дозы антибиотиков при заболеваниях мочевой системы могут быть меньше, чем при ангине. Поясните. Объясните как можно было бы при помощи нанобиотехнологических подходов снизить

дозу антибиотика, получаемого пациентом, увеличить эффективность действия антибиотика и уменьшить побочные эффекты.

## **Утилизация алкоголя в организме**

На заре развития нанотехнологий то ли в шутку, то ли всерьез предлагали использовать нанороботов для борьбы с алкогольным опьянением. Однако биологам давно известно, что в организме человека всегда присутствует так называемый эндогенный алкоголь, наличие которого не связано с попаданием алкоголя извне. При этом алкоголь и продукты его переработки токсичны для организма, что потребовало создания систем утилизации алкоголя в организме. В целом на утилизацию алкоголя влияют множество факторов, однако подавляющее количество алкоголя (>95%) разлагается ферментными системами до углекислого газа и воды. Ферментные системы, отвечающие за разложение алкоголя находятся главным образом в печени, а также в тканях поджелудочной железы, скелетной мускулатуре, стенках желудочно-кишечного тракта и др. Основными утилизирующими алкоголь группами ферментов являются: алкогольдегидрогеназы и альдегиддегидрогеназы, совместно перерабатывающие алкоголь и встроенные в основные циклы энергетического обмена. При этом в зависимости от разновидностей ферментов утилизация алкоголя и его производных осуществляется с различной скоростью и эффективностью.

1. Приведите упрощенную схему переработки алкоголя в организме при помощи этих ферментов, что является промежуточными продуктами при утилизации алкоголя до углекислого газа и воды?

2. Предположите, как работали ферменты алкоголь- и альдегиддегидрогеназы в зависимости от следующих симптомов:

- А) сильное опьянение, слабая интоксикация
- Б) сильное опьянение, сильная интоксикация
- В) слабое опьянение, слабая интоксикация
- Г) слабое опьянение, сильная интоксикация

Д) Какой из перечисленных выше случаев, на Ваш взгляд, в целом, наиболее опасен для организма?

## Солнце и косметика

Летом Маша и Лена пошли на пляж у реки Оки в Московской области. Так как их мамы предупредили девочек об опасности УФ-лучей, то они взяли с собой солнцезащитный крем. Когда Маша начала использовать свой, то заметила, что ее крем оставляет после нанесения на кожу белые полосы. Крем Лены после нанесения никаких следов не оставлял. Тогда девочки начали изучать состав их косметики, защищающей от УФ-лучей, чтобы понять, чем она отличается. В одном креме в составе были наночастицы диоксида титана и оксида цинка, витамины С и Е, эфиры коричной кислоты, а в другом эфир салициловой кислоты, диоксид титана, оксид цинка, альфа-токоферол.

Вопросы:

1. О какой опасности УФ-лучей предупреждали мамы девочек, каков механизм фотоповреждения? Какой диапазон УФ-излучения наиболее опасен, когда ты загораешь на пляже в средней полосе России?
2. Какие из веществ в составе кремов относят по механизму действия к физическим фильтрам, а какие к химическим и почему?
3. Как Вы думаете, крем какой из девушек содержал наночастицы и почему?
4. Какие из веществ в составе крема относят к антиоксидантам и зачем их добавляют в крем?

## Нанороботы в эритроцитах

Предположим, что ученые сконструировали наноробота, который может уничтожить возбудителя опасного заболевания, заражающего эритроциты млекопитающих. Имея размер порядка 10 нм, наноробот может «узнавать» эритроцит и проникать внутрь, где уничтожает возбудителя. Через несколько минут после внутривенного введения все нанороботы оказываются внутри эритроцитов. Нанороботы были успешно испытаны на крысах, их эффективная концентрация в крови составила 0.8 нМ. Для проведения клинических испытаний необходимо рассчитать концентрацию нанороботов в крови человека, при этом их среднее количество внутри эритроцита человека должно быть таким же, как и в эритроците крысы. Известно, что содержание эритроцитов в крови крысы  $8 \cdot 10^6$  кл/мкл, в крови человека -  $5 \cdot 10^6$  кл/мкл, средний объем эритроцита крысы 50 фл, человека - 80 фл.

## Олимпийская трагедия

Результат выступления спортсмена зависит не только от его физических и эмоциональных возможностей, но также есть результат работы его команды, которая прилагает все усилия для повышения работоспособности спортсмена и улучшения его показателей. При этом эти усилия бывают не всегда вполне честными, или признаваемыми олимпийским комитетом. Так, например, в совсем недавнем прошлом использовался не вполне законный способ повысить выносливость спортсмена – это перелить ему его собственную кровь (или только эритроциты) взятую ранее, т.н. кровяной допинг. В результате на некоторое время улучшалась способность крови спортсмена переносить кислород, что позволяло добиться более высоких результатов. Нанотехнологи предлагали создать для этой же цели специальных нанороботов, которые переносили бы кислород. Много лет минуло, но только описанный выше “биологический” способ оказался эффективен.

В связи с использованием “биологического” способа кровяного допинга в одной из команд по легкой атлетике, выступающих в эстафете случилась очень неприятная и печальная история. То ли в результате безграмотности обслуживающего персонала, то ли в результате происков конкурентов были перепутаны пакеты с кровью принадлежащие спортсменам, в результате спортсменам перелили чужую кровь. Команда состояла из четырех человек, из которых двое были близнецами. В процессе расследования выяснилось, что кровь одного из близнецов досталась другому участнику команды, чистокровному латиноамериканскому индейцу, которому после переливания стало очень плохо. Кровь индейца досталась другому близнецу, который не пострадал. Кровь второго близнеца перелили последнему участнику команды, имевшему африканские корни, а кровь африканца перелили первому близнецу. В результате переливания первый близнец и африканец также почувствовали себя плохо.

Определите группы крови спортсменов по системе АВО в команде. Для простоты будем считать, что резус-фактор был положительный у всех участников команды.

Какими свойствами должны были бы обладать гипотетические нанороботы, чтобы эффект их использования был не хуже, чем в случае “кровяного допинга”? Подсказка: Родители близнецов имели первую и вторую группу крови.

## Tractor beam

- Прямо по курсу клингонский корабль!
- Готовьте тяговый луч, откройте канал. Это командер Бенджамин Сиско. Возвращайтесь немедленно.
- Не отвечают.
- Включите тяговый луч.
- Они захватили нас тяговым лучом.
- Откройте канал. Отпустите корабль, или я убью заложника. Я готов вести переговоры, но сначала...
- Разве вы не слышали, что я сказал? Немедленно отпустите корабль. Через 10 секунд отключайте тяговый луч.



В знаменитом фантастическом телесериале «Звездный путь» («Star trek») существует замечательная технология, под названием тяговый луч (tractor beam), которая позволяет удерживать и перемещать в пространстве различные объекты (начиная от человека и заканчивая целым космическим кораблем). Хотя в настоящее время ученые активно ведут разработки в этом направлении, настоящего аналога тягового луча пока не существует. Однако на микроуровне известна технология, которая позволяет при помощи лазерного луча удерживать и перемещать объекты микро- и наномасштаба.

1. Как называется данная технология? Опишите основной принцип ее функционирования.



2. Какие варианты применения данной технологии в биологических исследованиях Вы знаете?

3. Выберите из списка, какие объекты в биологическом эксперименте можно переместить с использованием данной технологии:

рибосома, клеточное ядро, лизосома, митохондрия, хромосома, эритроцит, нервный ганглий, клетка Пуркинье, молекула глюкозы, молекула этанола, полипептидная цепь, яйцеклетка морского ежа. Какие объекты будут удерживаться (перемещаться) хуже и почему?

4. Известно, что данная технология позволяет перемещать капельки воды в воздушной среде. Можно ли при помощи нее перемещать пузырьки воздуха в воде? Ответ обоснуйте.

5. Можно ли (хотя бы теоретически) переместить ядро внутри живой клетки, не повредив при этом клеточную мембрану? А удалить ядро? Объясните, почему.

6. Необходим ли в данной технологии объектив для фокусировки лазерного света? Что будет происходить с объектом при воздействии сфокусированного и несфокусированного лазерного излучения.

7. Вам нужно определить, с какой скоростью РНК-полимераза движется вдоль цепи ДНК. Предложите дизайн эксперимента с использованием данной технологии. Поясните, какие моменты особенно важны, как определяются исследуемые параметры системы?

8. Какие проблемы могут возникать при попытках применения данной технологии в биологии, и какие пути решения возможны?

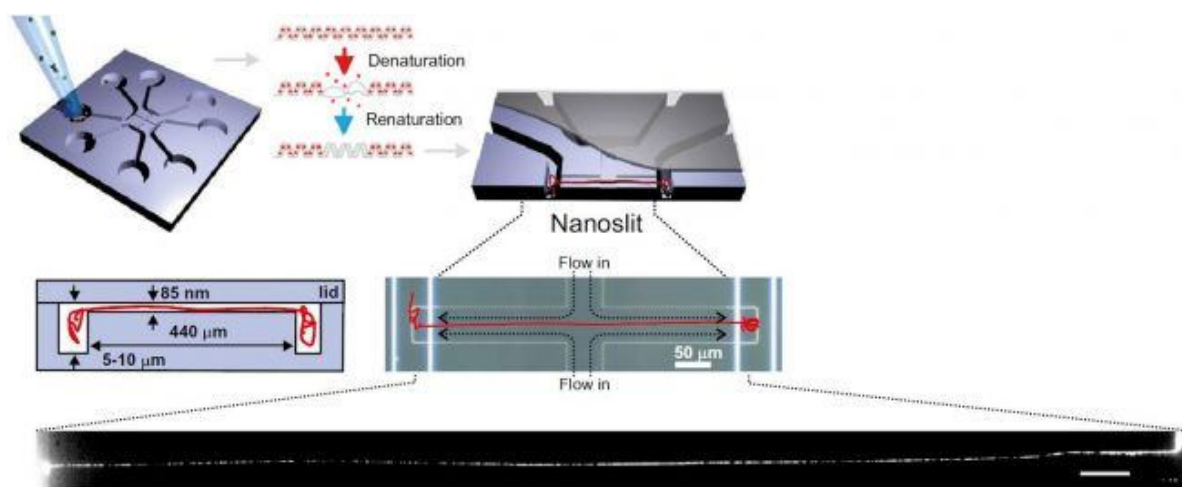
## ДНК: точки и тире

Множество ученых занимаются созданием новых способов определения последовательности ДНК. Геном человека давно расшифрован, но для медицинских (и других) целей важно быстро и дешево определять последовательность ДНК для очень малых количеств образца (например, расшифровать последовательность ДНК из одной клетки).

Интересный способ определения последовательности ДНК, а также наличия мутаций в ней, придумали датские ученые и их коллеги из других стран. Хромосомы выделяют из клетки и помещают в специальную ячейку, представляющую собой систему микро- и наноразмерных каналов. Поток жидкости молекулы ДНК направляются к системе нанощелей (nanoslits), в которых молекула ДНК вытягивается во всю длину, расправляется и так же потоком жидкости удерживается на месте. Концы такой вытянутой двойной спирали остаются в виде свернутых «клубочков» по краям щели. Перед внесением ДНК в ячейку ее окрашивают специальными интеркалирующими флуоресцентными красителями, которые удерживаются между нитями ДНК (между азотистыми основаниями) в двойной спирали. Далее ячейку нагревают, и отдельные участки ДНК «плаваются» (денатурируют), нити ДНК отделяются одна от другой и молекулы флуоресцентного красителя «вываливаются» из молекулы ДНК. Затем температуру снижают, и молекула ДНК ренатурирует, т.е. приобретает исходную двунитевую структуру, однако теперь в ней есть участки, которые не содержат флуоресцентного красителя. После этого снимают изображение такой полностью вытянутой в длину молекулы ДНК при помощи обычного флуоресцентного микроскопа и получают «пунктирную» линию, имеющую светлые участки (там, где молекулы флуоресцентного красителя встроены в двунитевую спираль и дают флуоресцентный сигнал) и темные (там, где ДНК «расплавилась» при нагревании и потеряла флуоресцентную краску). Назовем эту картинку картой денатурации ДНК, ее также можно образно назвать «штрих-кодом».

Для получения лучшего разрешения такую картинку снимают на видео и усредняют во времени. При необходимости можно сместить участок ДНК, попадающий в нанощель – для этого надо потоком жидкости «развернуть» клубочек на одном из концов молекулы и протащить его дальше через щель. После того, как необходимые данные получены, молекулу ДНК можно «выдуть» потоком жидкости из ячейки и использовать для дальнейших исследований. При необходимости определить наличие

мутаций в структуре ДНК полученную карту денатурации ДНК с гипотетическими мутациями сравнивают с теоретической, рассчитанной для уже известной последовательности той же ДНК без мутаций.



Вопросы:

1. Какие способы определения последовательности ДНК Вы знаете? Объясните вкратце, как они работают?

2. Как Вы думаете, какие предварительные процедуры обработки необходимы на этапе от экстракции хромосом из клетки до получения флуоресцентной карты денатурации ДНК?

3. Какими характеристиками (свойствами) должен обладать флуоресцентный краситель?

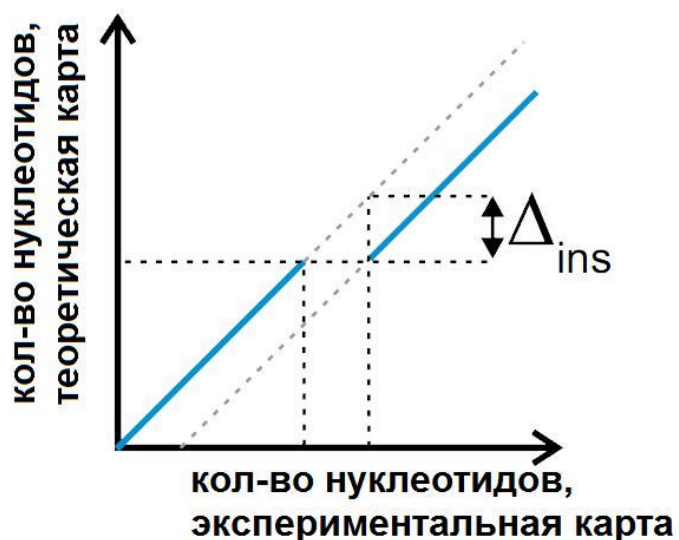
4. Как отличаются светлые и темные участки ДНК (окрашенные и неокрашенные) по составу? Какие участки будут оставаться окрашенными? Почему?

Какое разрешение (по количеству нуклеотидов) будет иметь этот метод: какой минимальный размер мутации может быть определен? Какую длину нуклеотидной последовательности можно проанализировать при помощи ячейки, приведенной на рисунке (длина нанощели 440 мкм)?

5. Почему необходимо, чтобы ДНК ренатурировала (восстановила свою структуру после плавления) перед тем, как регистрировать карту денатурации?

При определении наличия мутаций в фрагменте ДНК сравнивают теоретически построенную карту денатурации для фрагмента без мутаций и полученную в результате эксперимента для фрагмента с мутациями. Для этого определяют положение на той и другой карте, где “паттерн” свечения совпадает максимально (т.е. светлые точки на экспериментальной карте – светлые и на теоретической). Если в экспериментальном

образце ДНК имеется мутация – вставка фрагмента ДНК (инсерция), то на графике положения максимального совпадения патеров свечения можно видеть следующую картину:



6. Как будет выглядеть подобная зависимость для случая делеции? Для случая инверсии?

7. Как можно использовать молекулы ДНК, которые в неизменном виде эвакуируются из ячейки после регистрации карты денатурации ДНК?

8. Какие преимущества и недостатки Вы можете предположить у такого метода анализа последовательности ДНК?

## Необычные водоросли

Говоря о возбудимых клетках и межклеточной передаче сигнала, мы, в первую очередь, думаем о нейронах. Тем не менее, свойство возбудимости плазматической мембраны и генерации потенциала действия присуще и некоторым растительным клеткам. Харовые водоросли — это крупные водные растения, растущие в пресных и солоноватых водоемах. Часто на поверхности их талломов можно наблюдать кольцевые отложения кальция, создающие поперечную полосатость. Эти периодические зоны возникают на ярком свете и соответствуют зонам защелачивания и подкисления внешней среды. Специальные исследования показали, что между кислыми и щелочными зонами протекает ионный ток, связанный с работой кальциевых и хлорных каналов и протонной АТФазы. Если в водоем с загрязнением попадут наночастицы, блокирующие работу ионных каналов и протонной АТФазы плазматической мембраны харовой водоросли, то кислые и щелочные зоны на поверхности клеток перестанут образовываться. В результате этого растения перестанут расти и могут погибнуть.

1. Как вы думаете, почему возникают кислые и щелочные зоны и для чего они могут использоваться водными растениями?
2. Опишите возможные механизмы ингибирования ионных каналов и  $H^+$ -АТФазы наночастицами.
3. При помощи каких методов можно установить, что наночастицы, внесенные в водную среду, влияют на работу ионных каналов харовых водорослей и формирование кислых и щелочных зон?
4. Как можно использовать харовые водоросли в экологическом мониторинге водоемов?

## Рецепторы

Согласно закону Мура, современные компьютеры, даже при использовании нанотехнологий, скоро достигнут физического предела. В связи с этим необходима разработка принципиально новых типов компьютеров. В частности, ученые полагают, что новые компьютеры могли бы работать на основе искусственных нейронных сетей, функционирующих по образу реальных нейрональных сетей. Это является одной из причин активных исследований работы мозга и механизмов передачи сигнала в синапсах (местах контакта нейронов).

Главным возбуждающим нейромедиатором в нервной системе позвоночных животных является глутамат (анион глутаминовой кислоты). Быстрое постсинаптическое возбуждение и проверка одновременности двух синаптических входов с точностью до миллисекунд обеспечивается т.н. AMPA-рецепторами, в то время как длительные возбуждающие постсинаптические потенциалы обеспечиваются т.н. NMDA-рецепторами. AMPA-рецепторы — самые многочисленные каналы нашего мозга. Оба типа рецепторов — ионные каналы, вероятность открывания которых зависит от наличия в синаптической щели глутамата. При этом при появлении глутамата, ток через AMPA-рецепторы быстро нарастает (за микросекунды) и быстро спадает (за миллисекунды), а ток через NMDA-рецепторы медленнее нарастает и медленнее спадает (десятки и сотни миллисекунд). При этом способность NMDA-рецепторов к активации зависит также от мембранного потенциала и от наличия ко-агонистов, например, аминокислот глицина или серина

1. Исходя из изложенного, сделайте предположение о константах диссоциации этих рецепторов и глутамата: у какого из рецепторов константа диссоциации будет выше, и почему?

2. Почему для обеспечения обработки информации в центральной нервной системе необходимы быстрые AMPA-рецепторы, а для запоминания информации — медленные NMDA-рецепторы? Какую роль играет способность NMDA-рецепторов к проведению тока только при деполяризованном состоянии мембраны?

3. В каких синапсах концентрация рецепторов должна быть больше — AMPA или NMDA?

Интересной особенностью AMPA-рецепторов является редактирование мРНК перед синтезом белка во взрослом мозге. Генетический код предполагает наличие аминокислоты глутамин в определенной области поры, через которую проходят ионы,

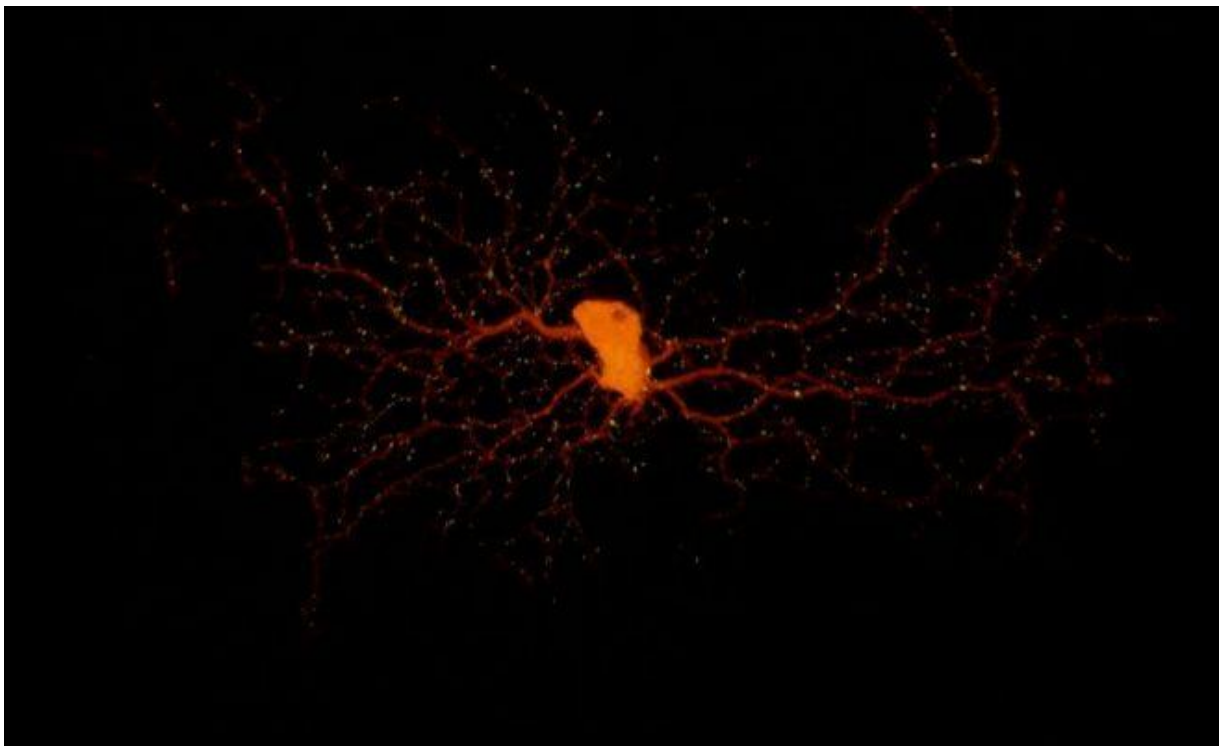
когда канал открыт, и такие каналы экспрессируются до рождения. Однако, у взрослых организмов один аденозин в пре-мРНК гидролизуется с образованием инозина, после чего данный кодон кодирует уже аминокислоту аргинин. Эта замена глутамина на аргинин в канальной поре приводит к тому, что канал теряет способность пропускать ионы кальция, а способность к проведению ионов натрия и калия сохраняется

4. Как Вы предполагаете, почему замена Глн -> Арг нарушает способность канала проводить кальций?

5. Почему в ходе эволюции могла потребоваться такая настройка AMPA-рецепторов во взрослом мозге?

6. Какие ионы проводят AMPA-рецепторы, а какие — NMDA-рецепторы? Какие ионы при этом входят в клетку, а какие – выходят из клетки?

7. Сравните возможности, а также возможные преимущества и недостатки современных компьютеров и «нейронных» компьютеров будущего.



## Теплые ламовые биотехнологии

Бионанотехнолог Маша, прослушав курс иммунологии, решила создать стартап по изготовлению наносенсоров на основе антител, чем и поделилась с бионанотехнологом Петей. Тот идею раскритиковал:

– Конечно, имунноглобулины хорошо распознают разные молекулы, да и не только как биосенсоры их можно использовать, но они же нестабильные! Как ты их хранить будешь, и при каких условиях они у тебя работать смогут? Да они же развалятся раньше! И большие молекулы слишком, их неудобно ни к носителю пришивать, ни, скажем в медицине использовать.

– Нет-нет, ты, Петя, не понимаешь. Я тут читала недавно... Ну, про nanobodies... Точно! Завтра же пойдем в зоопарк и выясним, как разводить лам! Ну, или верблюдов.

– Э-э-э, а лам-то зачем?..

### Вопросы:

1. И в самом деле, зачем биотехнологу Маше понадобилось разводить лам для производства биосенсоров на основе антител?
2. Как устроены иммуноглобулины?
3. Опишите преимущества и недостатки использования иммуноглобулинов для биосенсоров
4. Что это за nanobodies, о которых говорила Маша?
5. Как можно использовать антитела лам в медицине?
6. Где еще используются антитела лам в биотехнологии?





## **Нанороботы для вечной молодости**

В 2102 году секретная правительственная организация провела серию опытов по усовершенствованию человеческого организма путем увеличения продолжительности жизни его тканей. Эксперимент был направлен на замедление темпов дегенерации хрящевой ткани, старения сердечной мышцы, иммунной и нервной систем. С помощью наноботов была осуществлена модификация соматических клеток тела взрослых добровольцев, вследствие которой замедлился процесс клеточного старения и смерти.

Перечислите, на какие клеточные процессы могли бы воздействовать нанороботы, чтобы замедлился процесс клеточного старения. Какие изменения в структуре и/или свойствах клеточных молекул должны были вызвать нанороботы для получения нужного эффекта?

## **Перенос генетической информации**

Питер Паркер после укуса паука стал Спайдерменом. Он приобрел новые способности, которые помогли ему активно бороться со злом. Возможно в будущем наномедицина позволит направленно менять генотип человека, что позволит любому человеку приобрести суперсилу и стать супергероем.

1. Как вы думаете, как используя нанотехнологии, добиться такого же эффекта, как при укусе паука Спайдермена?

2. Природа уже миллионы лет использует схожий механизм в эволюции микроорганизмов. Назовите, как называется такой тип передачи генетической информации?

3. Какие преимущества он несет микроорганизмам? Назовите основные типы обмена генами?

4. Как вы думаете, насколько фантастична история Спайдермена, аргументируйте свое мнение известными в настоящее время научными фактами?

## Цвет и свет

### Часть I. Сияющие цветы

Каждый год в разных странах проходят выставки-конкурсы самых красивых и необычных цветов. Представьте себе, что Вы находитесь в команде селекционеров, участвующих в очередном конкурсе. Вы обязательно должны победить! Но что придумать? Черные и голубые розы, полосатые тюльпаны, махровые незабудки — все это уже давно придумано и получено. Поэтому Вы решаете создать уникальные растения со светящимися цветками или листьями.

1. Как с использованием геной инженерии создать растения со светящимися цветками или листьями, потомство которого также будет иметь светящиеся цветки/листья?

2. Приведите примеры живых организмов, которые могут светиться. Какие явления лежат в основе этого процесса?

3. Опишите устройство наноконструкции, которая может быть использована для получения светящихся цветков или листьев. Каким образом можно доставить эту конструкцию в клетки растения? Будет ли потомство такого растения иметь светящиеся цветки/листья? Ответ обоснуйте.

4. Как на жизнедеятельности растения скажутся изменения, вызванные генно-инженерным вмешательством? Введением “наноконструкции”?

5. Как и для чего в настоящее время геной инженерия используется в сельском хозяйстве?

### Часть II. Светящиеся животные

Одним из самых распространенных подходов, используемых в нейробиологии для изучения внутри-и межклеточных процессов в нейронах, астроцитах и сосудах мозга, является окрашивание клеток при помощи введения специальных флуоресцентных зондов. Особенностью этих молекул является то, что они флуоресцируют (светятся) при освещении лазерным светом определенной длины волны. При взаимодействии с определенными клеточными структурами, ионами или молекулами изменяется интенсивность флуоресценции зонда или длина волны флуоресценции. Несмотря на ряд достоинств флуоресцентных зондов (относительно простое использование, невысокая стоимость), существует и много недостатков. Например, многие зонды цитотоксичны и

быстро выгорают, что не позволяет проводить длительные эксперименты. Кроме того, большинство зондов не являются строго специфичными, что оставляет неоднозначность при трактовке результатов. В связи с этим в исследованиях все чаще начали использовать генетически модифицированных мышей, в ДНК нейронов которых введен ген флуоресцирующего белка. Этот ген может быть исходно активным в геноме нейронов или может активироваться при определенных условиях.

1. Какими должны быть флуоресцентные зонды, чтобы при нанесении на культуру клеток/нервную ткань/мозг они избирательно проникли (а) в цитоплазму клеток, (б) в митохондрии, (в) в ядро?

2. Каким требованиям должен отвечать флуоресцентный зонд, применяемый для исследования распределения  $\text{Ca}^{2+}$  в нейронах и определения концентрации  $\text{Ca}^{2+}$ .

3. Приведите примеры, в каких исследованиях могут быть использованы генетически модифицированные мыши, в нейронах которых постоянно экспрессирован флуоресцентный белок? Для исследования каких процессов могут быть использованы мыши, в нейронах которых флуоресцентный белок экспрессируется только при определенных условиях? Примеры опишите подробно, это стоит того, потому что тема подобной флуоресценции нашла отражение в присуждении одной из самых престижных премий, кстати, какой и за что?

## Как определить родство

### Часть I.

Любая экспертиза, в том числе и генетическая – вероятностный процесс. Установление идентичности образцов ДНК или, скажем отпечатков пальцев, возможно только с какой-то вероятностью. Есть несколько основных вариантов оценки достоверности результатов генетической экспертизы. Наиболее часто в настоящее время используются те варианты, которые используют в своей основе теорему Байеса, при этом учитывается, что в популяции различные аллели локусов могут встречаться с различной вероятностью. При этом рассчитываются некоторые параметры, величина которых и позволяет оценить вероятность родства. Чем выше абсолютное значение параметра, тем выше вероятность родства.

Дайте краткие определения параметров, используемых для расчета достоверности родства:

1. Что такое популяционная частота аллеля?
2. Дайте определение индекса отцовства (комбинированного индекса отцовства)?
3. Что такое вероятность отцовства, по какой формуле она рассчитывается? Какая величина позволяет утверждать, что родство доказано (в случае известного родителя и в случае, если родители неизвестны)?
4. Какое условие является необходимым при исключении отцовства (материнства)?
5. Как определяется индекс отцовства, если не обнаружено совпадений аллелей в исследуемом локусе?
6. Какие молекулярные и биотехнологические методы лежат в основе проведения анализа на установку родства?

### Часть II.

Обычно работа экспертов в области идентификационной экспертизы – сплошная рутина, однако иногда приходится встречаться с весьма любопытными случаями. Так, однажды две семейных пары и одна одинокая мать познакомившихся в одном роддоме, обратились с просьбой установить родство между ними и их детьми, поскольку заподозрили, что детей перепутали в роддоме.

Перед Вами находятся промежуточные результаты данной экспертизы:

	Локус	1 ребенок	Мать 1-го ребенка	2 ребенок	Первая пара		3 ребенок	Вторая пара	
					Отец 2 ребенка	Мать 2 ребенка		Отец 3 ребенка	Мать 3 ребенка
1	CSF1PO	9, 14	10, 16	10, 12	11, 11	13, 15	12, 13	10, 12	12, 12
2	D16S539	11, 13	12, 12	11, 12	9, 12	13, 14	11, 13	9, 9	12, 13
3	D21S11	26,2, 31,2	31, 31,2	28, 31	28, 33,2	30, 30	29, 33,2	28, 34	29, 30
4	D3S1358	13, 13	14, 17	13, 14	14, 15	16, 17	15, 16	14, 15	16, 17
5	D5S818	10, 14	11, 12	13, 14	9, 12	11, 12	11, 13	11, 12	9, 13
6	D7S820	11, 12	12, 14	11, 12	10, 12	13, 14	13, 14	12, 13	10, 14
7	CD4	5, 8	6, 10	5, 6	5, 6	5, 10	6, 11	10, 12	5, 6
8	FGA	20, 21	20, 23	20, 21	19, 22	20, 22	17, 23	21, 22	19, 23
9	LPL	9, 13	10, 12	10, 12	9, 10	11, 12	9, 12	10, 11	10, 12
10	TH01	6, 8	8, 9,3	6, 8	6, 9,3	7, 9	9,3, 10	10, 10	9, 9,3
11	TPOX	7, 7	8, 12	7, 8	8, 8	8, 11	11, 11	8, 11	11, 11
12	vWA31A	14, 18	14, 17	14, 16	15, 16	17, 18	16, 17	17, 18	15, 16

Конечно, предоставленных ниже результатов недостаточно для окончательного анализа (для этого требуются данные о значениях популяционных частот аллелей, присутствующих в генотипе детей, а результат экспертизы – есть значение вероятности того, что участники экспертизы действительно родственники), однако некоторые выводы можно сделать даже сейчас. Ответьте на следующие вопросы, по возможности, обосновав свои выводы:

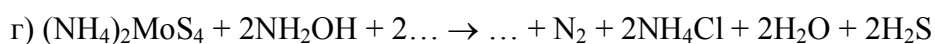
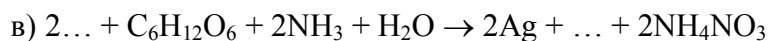
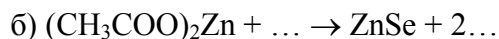
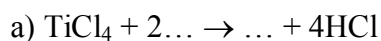
7. Какой пол у детей, участвующих в экспертизе?
8. Является ли одинокая мама матерью 1-го ребенка?
9. Является 1 пара родителями второго ребенка?
10. Является 2 пара родителями третьего ребенка?
11. Какие еще предварительные выводы можно сделать по представленным результатам?

Постарайтесь обосновать свои ответы. Да, и описанная история - это полностью выдуманная ситуация!

## ТРЕНИРОВОЧНЫЙ ТУР

### Простые вопросы

1. Ниже приведены уравнения реакций получения различных наночастиц. Все коэффициенты расставлены. Завершите эти уравнения, заполнив пропуски.



2. В 100 г нанотрубок неизвестного бинарного вещества состава  $\text{XY}_2$  содержится столько же атомов, сколько их содержится в 45 г углеродных нанотрубок. О нанотрубках какого вещества идет речь? Ответ подтвердите расчетом.

3. При окислении графена получен материал, содержащий 11.8 масс.% кислорода, остальное углерод. Какая часть атомов углерода (от общего их количества) соединена с атомами кислорода в этом материале? Считайте, что каждый атом кислорода связан с двумя атомами углерода.

4. Какой объем золота надо взять, чтобы приготовить 100 мл коллоидного раствора наночастиц золота средним диаметром 25 нм с концентрацией наночастиц 5 нМ (нМ = наномоль/л)?

## Синтез наночастиц

Для получения наночастиц металла **X** нерастворимый в воде порошок безводного карбоната **Y** обработали концентрированной соляной кислотой, при этом образовался раствор, окрашенный в синий цвет. Далее наночастицы получали два исследователя, каждый из которых использовал свой метод.

**Метод 1.** Синий раствор разбавили водой, при этом наблюдали изменение окраски, а затем добавили водный раствор бесцветной жидкости, содержащей в своем составе три элемента, входящие в состав первых двух периодов, причем массовая доля самого легкого элемента составляет 12%. При нагревании до 60°C раствор потемнел вследствие выделения наночастиц металла.

**Метод 2.** Синий раствор по каплям добавляли к раствору едкого натра. Образовавшийся осадок отфильтровали и нагревали до тех пор, пока его масса не перестанет изменяться. Для получения наночастиц полученный продукт нагревали в токе водорода.

1) Какие наночастицы получены? Запишите уравнения всех упомянутых реакций, если известно, что из 1.00 г безводного карбоната **Y** удается получить 0.48 г наночастиц с выходом 97%.

2) Какое применение находят синтезированные наночастицы?



## Рога и копыта

Остап Ибрагимович Бендер, сын турецкоподданного, основал компанию “Рога и копыта” с конкретной нанотехнологической целью: извлекать пылеватое золото из глинистых месторождений. К настоящему моменту ещё не существует приемлемой технологии их переработки, и он решил быть первопроходцем в этой непростой области. Для выделения золота Бендер нарезал из закупаемого сырья тонкие полоски и изготавливал из них сеточки. Далее он обрабатывал рога крепкой соляной кислотой, затем промывал водой и раствором боргидрида натрия. Через полученные изделия Бендер фильтровал глинистую пульпу. Спустя некоторое время, после насыщения материала он промывал его раствором дитиотреитола ( $\text{HSCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{SH}$ ), смывы упаривал и растворял в царской водке. Полученный раствор упаривал досуха на водяной бане и аккуратно прокаливал при  $400^\circ\text{C}$ . Роговые пластинки после смывания золота, Бендер помещал обратно в глину для повторного насыщения. После отработки процесса Бендер провёл его оптимизацию и основал компанию “Шерсть и перо”

1) Какие способы добычи золота Вы знаете? Опишите их принципы и если необходимо – приведите уравнения реакций.

2) Почему они непригодны для добычи пылеватого золота?

3) Опишите процессы, проводимые Бендером на каждой стадии работы. Приведите уравнения или схемы реакций.

4) Почему Бендер далее перешёл на шерсть?

## Шаровая молния

Шаровая молния (**фаербол**) – крайне редко встречающееся явление природы, представляющее собой светящееся грушевидное тело диаметром до 20 см и существующее не более нескольких минут. Так как экспериментальная проверка существующих теорий формирования шаровой молнии затруднена, неудивительно, что количество теоретических моделей, которые с разной степенью успеха описывают данное явление, довольно велико.

Одна из наиболее реалистичных концепций генезиса фаербола стала плодом случайного прохождения 23 июля 2012 года во время сильной грозы на Тибетском плато шаровой молнии перед двумя бесщелевыми спектрометрами. Было предложено объяснение полученных экспериментальных данных: за формирование шаровой молнии преимущественно ответственно горение на воздухе наночастиц веществ **X**, **Y** и **Z**, содержащих 100, 63,7 и 70.0% элемента **A** по массе, соответственно. Общим для всех трех веществ продуктом горения является соединение **B**, содержащее 46.7% элемента **A** по массе.

1) Установите вещества **Y**, **Z** и **B**, если они являются бинарными соединениями.

2) Предложите механизм формирования в природе облака, состоящего из наночастиц **X**, **Y** и **Z**, как основы будущей шаровой молнии. При этом учтите, что температура канала обычной молнии весьма высока, выше 10 000 °С (почти в два раза горячее, чем на поверхности Солнца).

3) В рамках рассматриваемой теории напишите уравнения реакций, протекающих в действующей шаровой молнии.

4) Как Вы считаете, исходя из ответа на предыдущие вопросы, несет ли шаровая молния потенциальную опасность для здоровья человека:

а) в ходе непосредственного механического контакта;

б) при ингаляции наночастиц веществ **X**, **Y** и **Z**, которые в силу своих размеров могут проникать в легкие вплоть до альвеол?

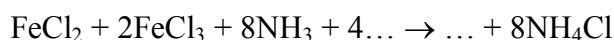
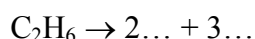
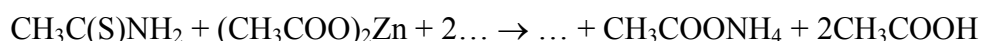
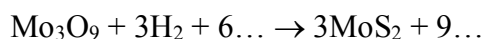
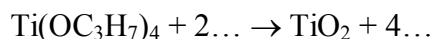


## ХИМИЯ (ОЧНЫЙ ТУР)

### Простые задачи

1. Наночастица состоит из 840 атомов, больше половины которых составляет сера, а остальные – другой элемент. Масса всех атомов серы – в 1.5 раза меньше массы всех атомов другого элемента. Установите молекулярную формулу наночастицы.

2. Ниже приведены уравнения реакций получения различных наночастиц. Все коэффициенты расставлены, для наночастиц приведены простейшие (брутто) формулы. Завершите эти уравнения, заполнив пропуски.



3. Сколько миллиграммов золота надо взять, чтобы приготовить 500 мл коллоидного раствора наночастиц золота диаметром 10 нм с концентрацией 1 нМ (нМ = наномоль/л)? Плотность золота 19.3 г/см<sup>3</sup>.

4. В реакции фуллерена C<sub>60</sub> с избытком дифторида ксенона XeF<sub>2</sub> образовалось вещество, молекула которого тяжелее исходного фуллерена на 95.0%. Установите формулу продукта реакции.

5. В наночастице серебра радиусом 12 нм на поверхности находится 8% атомов, а в наночастице радиусом 16 нм – 6%. На основе этих данных предложите эмпирическую формулу, описывающую зависимость доли атомов серебра на поверхности от радиуса наночастицы. Каков должен быть радиус, чтобы на поверхности находилась треть атомов серебра?

## Интересная химия

Взаимодействие в жестких условиях 1.00 моля вещества **A** и 15.0 молей вещества **B** приводит к образованию единственного продукта – бинарного соединения **C**.

Сгорание некоторого количества **C** в большом избытке кислорода приводит к образованию только 6.72 л (при н.у.) бесцветного газа **D**. Пропускание газа **D** через избыток раствора гидроксида кальция приводит к его полному поглощению с образованием 34.0 г осадка.

1. Установите, какие газы могут подходить на роль **D**, исходя из условия задачи. Обоснуйте свой выбор.

2. Определите молекулярные формулы веществ **A-C**, если размеры молекул как минимум одного из них находятся в нанодиапазоне.

3. Укажите, какое из веществ **A-C** наиболее токсично для человека:

- при приеме внутрь (перорально);
- при ингаляционном введении (вдыхание паров).

## Синтез квантовых точек

Для получения квантовых точек бинарного соединения **Y** через суспензию ацетата неизвестного металла в высококипящем органическом растворителе, содержащем триоктилфосфиноксид  $(C_8H_{17})_3PO$ , пропускают ток газа **X**, плотность которого в 1.172 раза больше плотности воздуха. Газ **X** для очистки от паров воды пропускают через колонку со щелочью. Полученные таким образом квантовые точки вводят в полимерную матрицу. При действии раствором щелочи на 1.000 г безводного ацетата неизвестного металла выпадает белый осадок, при прокаливании дающий 0.476 г светло-желтого порошка. Полученные таким образом наночастицы растворяют в тетрахлорэтаноле, содержащем полиимид.

Далее проводят осаждение наночастиц и полиимида на стеклянные подложки с нанесенным слоем  $SnO_2$ , который используется в многослойных структурах в качестве прозрачного электрода. В процессе осаждения растворитель испаряется, происходит полимеризация органического полупроводника и формирование матрицы толщиной порядка 100 нм, содержащей квантовые точки.

1. Определите неизвестные вещества и напишите уравнения проведенных реакций.
2. Какую роль играет полиимид в этом эксперименте? Возможно ли заменить его на полиэтилен?
3. Какое применение находят полученные многослойные наноструктуры?
4. Как можно получить газ **X** в лаборатории? Напишите уравнения двух реакций.

## Водорастворимые фуллерены

Фуллерены совершенно не растворяются в воде. Однако, для использования в медицине их обязательно нужно перевести в водную среду! Водные растворы фуллеренов готовят двумя способами:

а) с помощью химических реакций получают производные фуллеренов, растворимые в воде;

б) при длительной ультразвуковой обработке смеси воды и толуольного раствора фуллеренов, часть фуллеренов переходит в воду, образуя устойчивый коллоидный раствор.

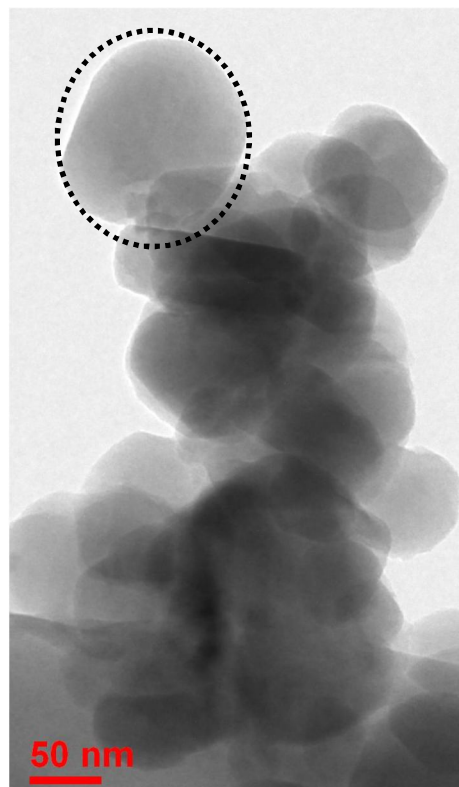
1. Хорошо растворимы в воде производные фуллерена  $C_{60}$  с брутто-формулами  $H_{18}C_{60}O_{18}$  и  $C_{69}O_{12}H_6$  (продукт присоединения двухосновной кислоты к молекуле  $C_{60}$ ). Нарисуйте их структурные формулы (вместо фуллеренового каркаса изобразите окружность!).

(2 балла).

Сколькими способами указанные функциональные группы можно разместить на поверхности фуллерена? Не думайте о возможных пространственных затруднениях при их образовании.

(3 балла).

2. В водном коллоидном растворе (пункт б)) фуллерены присутствуют в виде крупных кластеров – их изображение под электронным микроскопом показано рядом. (Внутри окружности – один кластер!). Содержание фуллерена в коллоидном растворе – 100 мкг  $C_{60}$  в 1 мл. Пользуясь фотографией, оцените, сколько штук фуллереновых кластеров находится в 1 мл раствора?



Плотность кристаллического фуллерена равна  $1.65 \text{ г/см}^3$ .

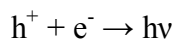
(4 балла)

3. Водные растворы фуллеренов обладают антиоксидантной активностью, т.е. способностью снижать концентрацию свободных радикалов (O, OH и т.д) в организме.

- а) Каким образом фуллерены снижают концентрацию радикалов? (2 балла)
- б) Что, по-вашему, будет лучшим антиоксидантом – отдельная молекула  $C_{60}$  или кластер, состоящий из таких молекул? (2 балла)
- в) Оцените (приблизительно!) отношение антиоксидантной активности молекул  $C_{60}$  и кластеров, описанных в пункте 2. Диаметр молекулы  $C_{60}$  равен 1 нм. (2 балла)

## Электролюминесцентные полимеры

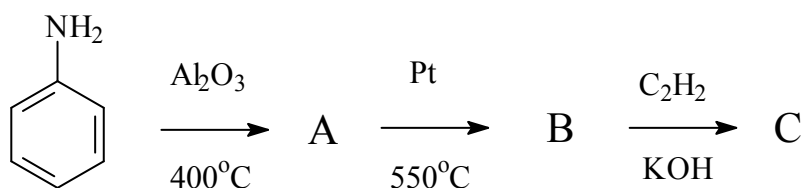
Электролюминесценция полимеров находит все большее применение в качестве основы для изготовления осветительных и индикаторных устройств. Один из способов реализации электролюминесцентного устройства состоит в следующем: в пространстве между двумя электродами (алюминиевым и изготовленным из смешанного оксида индия-олова (ИТО)) помещается слой диэлектрика и слой проводящего полимера ПВК, содержащего комплексное соединение  $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ . Приложение к такой слоистой структуре переменного электрического поля приводит к возникновению дырок  $\text{h}^+$  (вакантных мест в валентной зоне полимера) и появлению электронов  $\text{e}^-$  в зоне проводимости полимера ПВК, причем источником дырок является оксид ИТО. Миграция друг к другу электронов и дырок в полимере и их последующая рекомбинация (т.е. возвращение электрона в валентную зону) приводит к испусканию фотона, т.е. свечению полимера:



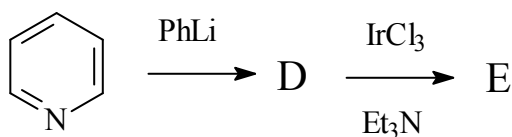
Комплексное соединение  $\text{Ir}(\text{ppy})_3$  наравне с полимером участвует в образовании валентной зоны и зоны проводимости материала и поэтому влияет на спектр излучаемого света.

Электропроводность такой слоистой структуры невелика, но значительно увеличивается при добавлении углеродных нанотрубок к ПВК, причем электропроводность, обусловленная дырками, не меняется, а электропроводность, обусловленная электронами, – возрастает.

1. Полимер ПВК получают полимеризацией соединения С, содержащего 7.25% азота по массе, и получаемого в промышленности в три стадии из анилина:



Соединение  $\text{Ir}(\text{ppy})_3$  (E на схеме), содержащее 29.4% иридия по массе, может быть получено в две стадии из пиридина:



Определите строение веществ А – Е.



2. Предположите, почему добавление к ПВК углеродных нанотрубок приводит к увеличению яркости свечения.

3. Оцените, во сколько раз добавление углеродных нанотрубок увеличивает концентрацию электронов и дырок в полимере, если яркость свечения при этом увеличивается в 2 раза. Считайте, что излучательная рекомбинация является элементарной реакцией, поэтому ее скорость подчиняется кинетическим законам.

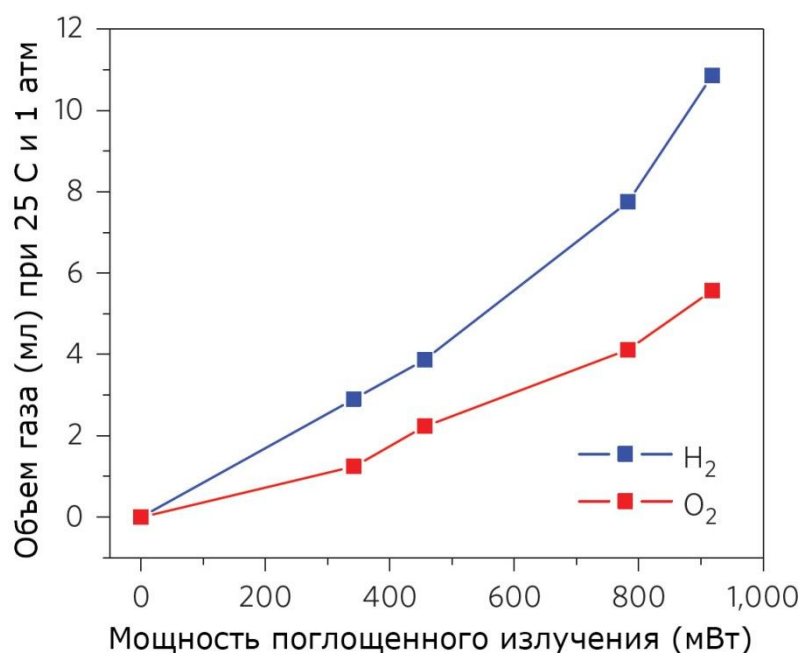
4. Юный химик предложил для увеличения светимости устройства использовать вместо ПВК полимер, получаемый аналогичным образом из *n*-третбутиланилина. Приведет ли такая замена к желаемому результату? Аргументируйте свой ответ.

## Фотокатализ наночастицами

Один из путей конверсии солнечной энергии – фотолиз воды и получение водорода. Вода не поглощает видимый свет, а непосредственное поглощение водой УФ излучения не приводит к разложению на простые вещества, поэтому применяют фотокатализаторы, среди которых есть и наноматериалы. Одно из недавних открытий в этой области – фотокаталитические свойства наночастиц оксида кобальта  $\text{CoO}$ , который способствует разложению воды под действием видимого света. Интересно, что эти свойства присущи только наночастицам, тогда как микропорошки  $\text{CoO}$  в реакции разложения воды каталитически не активны.

1. Наночастицы  $\text{CoO}$  приготовили из микропорошка  $\text{CoO}$  с помощью лазерной абляции. Микропорошок, в свою очередь, получили прокаливанием соединения кобальта **X**, содержащего 73.4% металла по массе, в токе аргона. Определите формулу **X**, напишите уравнение реакции. Предложите два других химических способа получения наночастиц оксида кобальта.

2. Водную суспензию наночастиц  $\text{CoO}$  в течение 30 мин облучали видимым светом, близким по спектру к солнечному излучению. Зависимость объема выделившихся газов от мощности поглощенного излучения приведена на графике:



Используя любую из точек на графике, рассчитайте степень конверсии световой энергии (т.е., долю энергии, израсходованной на фотолиз), если известно, что для разложения одного моля воды на простые вещества требуется 237 кДж энергии.

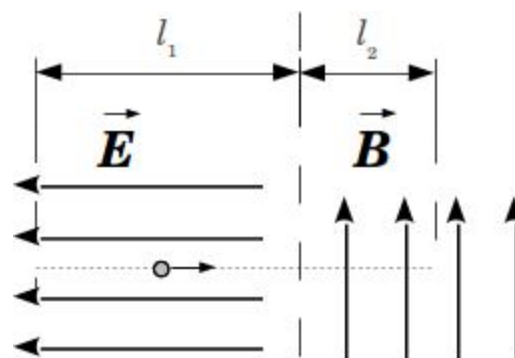
3. В этом же эксперименте проводили фотолиз суспензии  $\text{CoO}$  в тяжелой воде  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ . Как вы думаете, зачем это было нужно?

При облучении образовалась смесь газов, которая в 3 раза легче аргона. Определите качественный и количественный состав этой смеси (в мольных долях) и объясните результаты эксперимента.

## ФИЗИКА (ОЧНЫЙ ТУР)

### Электрон и мюон

Электрон и мюон (отрицательно заряженная элементарная частица) оказываются в однородном ускоряющем электрическом поле. Не имея начальной скорости, они пролетают одинаковое расстояние  $l_1$  в электрическом поле, после чего попадают в другую область, где действует только однородное магнитное поле.



Вектор индукции магнитного поля перпендикулярен вектору напряженности электрического поля, действующего в соседней области.

Какая из частиц дальше углубится во вторую область и во сколько раз? Выразить отношение  $l_2^{\text{электрона}} / l_2^{\text{мюона}}$ . Заряд электрона  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл, масса электрона  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг, масса мюона  $m = 196 m_e$ , заряд мюона  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

### Пузырь

Найдите количество вещества внутри пузыря, образовавшегося из воды. Внутри пузыря воздух. Радиус пузыря  $r = 100$  нм. Температура  $T = 300$  К. Атмосферное давление  $p_0 = 10^5$  Па. Коэффициент поверхностного натяжения воды  $\sigma = 7,2 \cdot 10^{-2}$  Н/м. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,3$  Дж/(моль·К).

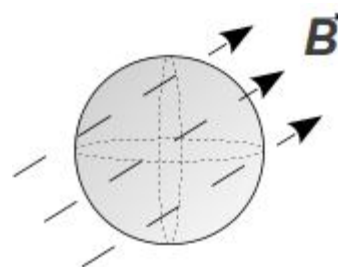
### Челябинский метеорит

Соударение Челябинского метеорита с поверхностью Земли, по заявлениям в прессе, привело к его испарению. Найденные образцы метеорита обладали следующими термодинамическими параметрами: температура кипения —  $2730$  °С, удельная теплота

парообразования — 2000 кДж/кг\*К, скорость полёта метеорита  $v = 4$  км/с. Эксперименты показали, что метеорит «возгоняется», т. е. переходит сразу из твёрдого в газообразное состояние, минуя жидкую фазу. Определите теплоёмкость метеорита, необходимую для его полного испарения.

## Нанокapsула

Для адресной доставки лекарств к больным тканям в организме человека предлагается сферическая нанокapsула, внутри которой находится лекарственный препарат. Оболочка является легкоплавкой. Внутри оболочки находятся две кольцевые взаимно перпендикулярные проводящие полоски, которые на рисунке показаны пунктиром. Полоски не имеют общих электрических контактов.



Достигнув больных тканей, оболочку капсулы необходимо расплавить, чтобы лекарство попало в ткань. Для этого тело человека помещают в переменное магнитное поле, меняющееся по закону  $B(t) = B_0 \cos(\omega t)$ .  $B_0 = 0,1$  Тл,  $\omega = 628$  рад/с. Радиус кольцевых полосок  $R = 100$  нм. Электрическое сопротивление кольцевых полосок  $r = 1$  Ом.

Как должна быть ориентирована капсула, чтобы выделилась максимальная мощность? Ответ обосновать. Расплавится ли оболочка, если плавление происходит, когда в среднем за период выделяется мощность  $P = 10^{-12}$  Вт?

## Занимательные капилляры

Как известно, в микромире действуют совершенно другие физические законы по сравнению с макромиром. Это верно и для капиллярных явлений, хотя пороговый размер капилляров, ниже которого "макроскопические" физические законы перестают действовать, составляет всего около 10 нм. Для капилляров же большего размера в случае превышения сил притяжения молекул жидкости к стенкам капилляра над силами притяжения молекул жидкости друг к другу, поверхность стенок капилляра смачивается жидкостью, и она поднимается вверх.

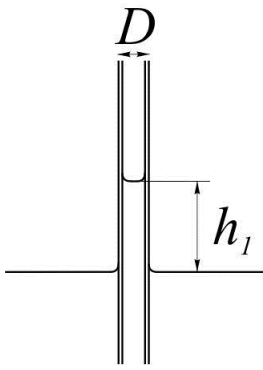


рис.1

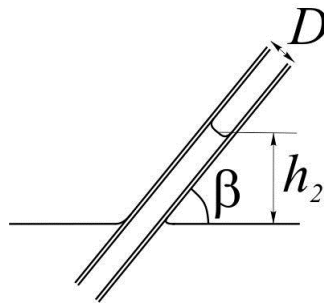


рис.2

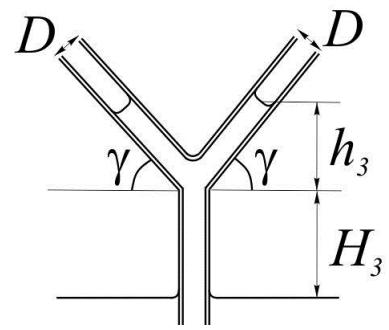


рис.3

Рассмотрим вертикальный капилляр, опущенный в смачивающую жидкость (рис. 1), и аналогичный ему капилляр, опущенный в ту же жидкость, но расположенный к ней под углом  $\beta = 45^\circ$  (рис. 2). Каково будет отношение соответствующих высот поднятия жидкости  $k = h_1/h_2$ ?

Третий капилляр представляет собой разветвленную симметричную систему, изображенную на рис. 3, причем угол  $\gamma = 60^\circ$ . Как соотносятся между собой высота поднятия жидкости в вертикальной части этого капилляра  $H_3$  и высота столба жидкости в разветвленной части этого капилляра  $h_3$ , если общий уровень жидкости в таком капилляре в  $k_2 = 1,6$  раза больше, чем уровень жидкости  $h_1$  в вертикальном капилляре?

## Электроцарапки

К Кью обратилась Манипенни с просьбой изготовить компактный и мощный электрошокер. Кью, как водится, воспринял идею с энтузиазмом и принялся конструировать устройство.

Для начала он взял полимерную подложку из литого лавсана, толщиной 0,2 мм и вырезал из неё пластинку, площадью 1 см<sup>2</sup>. Далее он поместил пластинку в камеру, где послойно напылял на неё алюминий (каждый слой – 100 нм) и алмаз (слои по 100 нм). Слои алюминия Кью соединил через один в две системы и вывел на поверхность два контакта. Наконец, на готовое изделие он приклеил ещё одну пластинку лавсана толщиной 0,2 мм. Общая толщина полученного изделия составила 1 мм. Рабочее напряжение системы составило 50 В.

Манипенни в целом была довольна полученными накладными ногтями, однако жаловалась, что при разряде они заметно нагреваются. Кью учёл это обстоятельство и заменил алюминий на серебро, что в дальнейшем позволило поднять напряжение до 70 В.

Наконец, новшество попало в поле зрения М и новые ногти получил ещё и Бонд, хотя в отличие от Манипенни, он был ими недоволен в принципе.

Какую энергию запасает шокер от Кью в первом и во втором случае?

Какой ток протекает через кожу хулигана, пристающего к Манипенни, если разряд длится 0,0001 сек, а сопротивление сухой кожи равно 50 кОм?

Как он изменится, если Манипенни глубоко процарапает кожу?

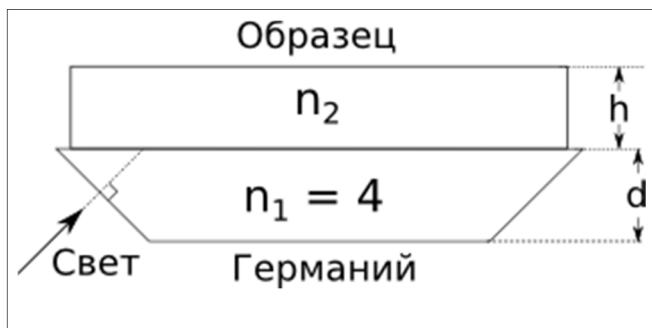
Почему Кью выбрал именно алмаз для напыления между слоями алюминия?

Отчего нагревались ногти шокера при разряде?

Почему Кью заменил алюминий на серебро?

## Спектроскопия поглощения

### Введение



Одним из методов исследования наноматериалов является инфракрасная спектроскопия. В ряде случаев, например, при исследовании суспензий наночастиц малых концентраций используются приставки, которые позволяют увеличить чувствительность

метода за счёт увеличения хода лучей через образец.

Схема приставки показана на рисунке. Она представляет из себя кристалл германия со скошенными гранями, внутрь которого попадает инфракрасное излучение. Сверху на кристалл устанавливается исследуемый образец, который может быть как твёрдым, так и жидким.

### Задача

Нарисуйте ход лучей в приставке, указав точку выхода лучей из кристалла германия, в двух случаях:

образец представляет из себя кристалл кремния с коэффициентом преломления  $n_2 = 3,4$ , либо в роли образца выступает водная прослойка ( $n_2 = 1,3$ ).

Высота кристалла германия  $d = 4$  мм, длина его нижней грани  $l = 16$  мм, высота образца (в обоих случаях)  $h = 3$  мм. Грани скошены под углом  $45^\circ$ , луч света падает по нормали к боковой грани, в точке, расположенной посередине этой боковой грани. Показатель преломления германия  $n_1 = 4,0$ . При каких показателях преломления образца  $n_2$  в нём будет наблюдаться явление преломления света?



## Ближнепольный оптический микроскоп

### Введение

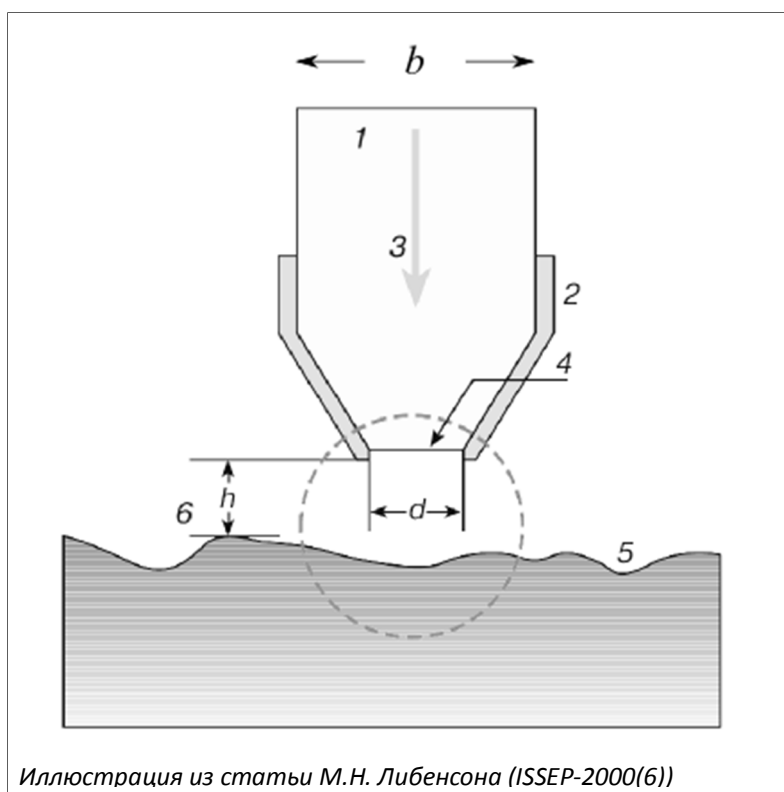


Иллюстрация из статьи М.Н. Либенсона (ISSEP-2000(6))

Для изучения наночастиц применяется метод ближнепольной оптической микроскопии, который позволяет достичь пространственного разрешения десятков нанометров, т. е. преодолеть, таким образом, оптический дифракционный предел. Схема зонда такого микроскопа изображена на рисунке. Излучение (3) проходит через оптическое волокно диаметра  $b$  (1), затем попадает на диафрагму

нанометрового размера  $d$  (4). Разумеется через такое малое отверстие электромагнитная волна свободно пройти не может, т. к. длина волны света много больше размера отверстия. Однако, часть излучения всё же проникает через отверстие, при этом его интенсивность уменьшается по экспоненциальному закону. Поле уменьшается в  $e$  раз на расстоянии  $d$ . Область проникновения света через малое отверстие называется ближним полем. Отражённый от исследуемой поверхности свет затем попадает обратно в объектив микроскопа.

### Задача

Оцените интенсивность света, который попадает на исследуемую наночастицу, находящуюся на расстоянии  $h = 50$  нм от нижней поверхности зонда. Мощность осветительной лампы  $w = 10$  Вт, диаметр оптоволокну  $b = 50$  мкм, диаметр диафрагмы  $b = 10$  нм. Сравните полученное значение с интенсивностью солнечного излучения на поверхности Земли. Можно ли не использовать осветительную лампу, пользуясь исключительно солнечным светом? Светимость Солнца равна  $3,8 \cdot 10^{26}$  Вт, расстояние до Солнца  $1,5 \cdot 10^{11}$  м.

## Дело о чёрном стрелке

Мориарти решил создать новое оружие, следы применения которого нельзя было бы обнаружить. В основу его действия он решил заложить старый добрый принцип отталкивания магнитов. Чем сильнее отталкиваются магниты – тем сильнее полетит снаряд. Сам снаряд он решил сделать исчезающим – чтобы некоторое время спустя от него оставалось только немного грязи и никаких крупных твёрдых частиц. Для этого он взял растворы  $\text{CoCl}_2$  и  $\text{FeCl}_3$ , смешал их, и по каплям внёс в горячий водный раствор гидроксида натрия. Полученный раствор он обессолил и заморозил жидким азотом в форме снаряда. Полученный снаряд обладал сильными магнитными свойствами и после таяния оставлял только небольшое количество чёрной грязи.

Далее Мориарти изготовил ускоритель на основе мощного электромагнита и зарядил в него снаряд. Однако, несмотря на многочисленные попытки стрельбы, желаемого результата он не получил. Снаряд либо летел слишком медленно и недалеко, либо не летел вообще. Тогда он утратил интерес к этой идее и выбросил остатки льда. Их нашёл Холмс и довольно быстро установил причины провала Мориарти. Потехи ради, он вырезал из них статуэтки, которые установил на подставку из высокочастотного электромагнита и плавил взглядом на публике.

Напишите уравнения реакций получения частиц, которые использовал Мориарти.

Почему снаряд обладал магнитными свойствами, хотя водный раствор в целом, мог быть маловосприимчивым к действию магнитного поля.

Объясните причину провала Мориарти. Почему снаряд либо летал медленно, либо не летал вообще. В своих опытах Мориарти варьировал только силу тока в электромагните. Укажите, что необходимо изменить в схеме установки, чтобы она всё-таки заработала как ускоритель.

Как и на каком физическом принципе работал фокус Холмса по расплавлению статуэток?

## Графеновые нановесы

Недавно учеными было предложено еще одно оригинальное применение уникального материала – графена, представляющего из себя двумерный слой графита толщиной всего в один атом. Несмотря на кажущуюся хрупкость, это чрезвычайно прочный материал. Но, кроме того, это еще и очень легкий материал, что и натолкнуло исследователей на идею создания из графена высокочувствительных весов, способных измерять массу даже отдельных атомов или молекул.

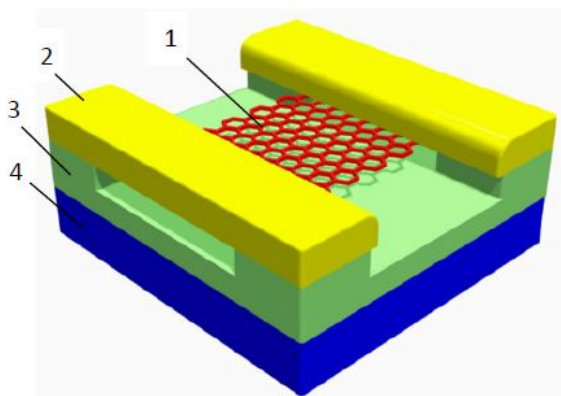


Рис. 1

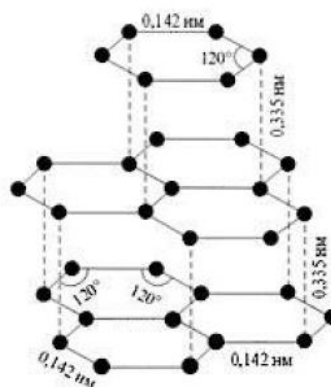


Рис. 2

Схема предложенного устройства представлена на рисунке 1. Полоска графена (1) помещается между двумя электродами (2), опирающимися на непроводящий слой (3), расположенный на кремниевой подложке (4). При подаче на электроды переменного напряжения слой графена начинает совершать колебания, частота которых зависит, в том числе, от поверхностной "эффективной" плотности графеновой полоски. Последний параметр будет определяться не только свойствами самого графена, но и зависеть от того, присутствует ли на нановесах какой-либо исследуемый объект, например, неизвестная молекула. Из теории известно, что частота колебаний такого резонатора зависит от поверхностной "эффективной" плотности графена, как  $\frac{1}{\sqrt{\rho_{эфф}}}$ . Какую наименьшую массу могут измерить такие нановесы, если известно, что площадь графеновой полоски равна  $S = 0,36 \text{ мкм}^2$ , а относительная погрешность в определении частоты колебаний составляет  $\Delta f = 0,00001 \%$ . Объемная плотность графита равна  $\rho_{\text{графита}} = 2,2 \text{ г/см}^3$ , а его параметры решетки даны на рисунке 2. Сравнить полученный результат с характерной массой молекулы ( $1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ ).

# МАТЕМАТИКА (ОЧНЫЙ ТУР)

## Гомеопатическое разведение

Для получения гомеопатического препарата Аргентум металликум Юный химик приготовил суспензию из 220 мг сферических наночастиц серебра диаметром 20 нм в 1 литре воды. Затем он разделил исходную суспензию ровно на 10 частей, в одну из частей долил воды до объема 1 литр. Эту операцию он повторил 14 раз, после чего самый последний литр разлил поровну в тысячу одинаковых пробирок.

В скольких пробирках не содержатся наночастицы серебра? Считать, что наночастицы распределены равномерно по объему.

Плотность серебра равна  $10,5 \text{ г/см}^3$ .

## Теорема Эйлера для УНТ

Закрытую одностенную углеродную нанотрубку можно рассматривать как выпуклый многогранник, в каждой вершине которого сходятся три ребра. Как и для любого выпуклого многогранника, для нее справедлива теорема Эйлера:  $V - P + G = 2$ , где  $V$ ,  $P$ ,  $G$  – это, соответственно, число вершин, ребер и граней многогранника.

Сколько пятиугольных граней  $G_5$  содержит такой многогранник, если известно, он имеет  $G_4 = 2$  четырехугольных,  $G_6 = 1000$  шестиугольных,  $G_7 = 3$  семиугольных,  $G_9 = 3$  девятиугольных граней, а других граней нет?

## Считаем узлы дендримеров

Главными характеристиками разветвленного на манер дерева полимера – дендримера (рис.1) – являются количество «ветвей»  $X$ , выходящих из каждого узлового атома, и число поколений ветвления  $G$ .

1. Выведите общие формулы, описывающие

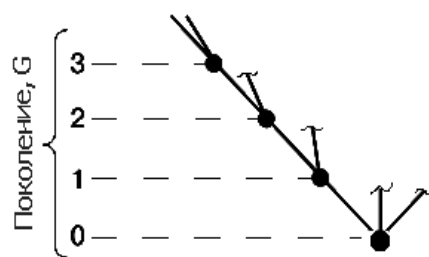


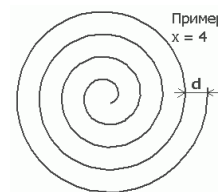
Рис. 1. Фрагмент схематического изображения дендримера. Пример с индексом ветвления  $X = 3$  и числом поколений ветвления  $G = 3$ . Темными кружками обозначены узлы ветвления (узловые атомы).

- а) число узловых атомов **M** в поколении ветвления с номером **G**;  
 б) суммарное число узловых атомов **N** во всем дендримере с **G** поколениями ветвления и  $X > 2$ .

2. Рассчитайте **M** и **N** для  $X = 4$  и  $G = 3$ .

### Свёрток

Квадратный лист двумерного наноматериала – дисульфида молибдена  $\text{MoS}_2$  – свернули в плотный сверток (рулон). Каковы диаметр этого свертка **D** (нм) и ширина исходного листа **L** (нм), если расстояние между витками в свертке равно  $d = 6,5 \text{ \AA}$ , а число витков составляет 16.



### Расшифровка ДНК

Выделенный в ходе прочтения генома вируса фрагмент одноцепочечной ДНК состоит из 10 нуклеотидов **T** и 4 нуклеотидов **G**. Рассчитайте, сколько различных вариантов нуклеотидных последовательностей отвечает такому составу фрагмента. Не забывайте, что последовательность нуклеотидов несимметрична, т.е. имеет «начало» и «конец».

## Поиск нанотрубок *in silico*: прежде, чем нажать Enter

$$D = \frac{a\sqrt{3}}{\pi} \sqrt{n^2 + nm + m^2} \quad D_1 = D_2 \Rightarrow ? \begin{matrix} (n_1, m_1) \\ (n_2, m_2) \end{matrix}$$

Юному нанохимику Полуэктору в рамках его проекта для электроники будущего потребовались пары нанотрубок одинакового диаметра, но с разными проводящими свойствами. Окрыленный возможностями компьютера, Полуэкт быстро написал программу поиска таких нанотрубок и нажал *Enter*...

Дождется ли Полуэкт результата, если он ищет две углеродные нанотрубки одинакового диаметра:

- а) одна – зигзагообразная, вторая – зубчатая;
- б) одна – с металлическим, вторая – полупроводниковым типом проводимости.

Ответы обоснуйте.

Диаметр произвольной углеродной нанотрубки с индексами хиральности  $(\mathbf{n}, \mathbf{m})$  (где  $n \in N_0$ ,  $m \in N_0$ , то есть,  $\mathbf{n}$  и  $\mathbf{m}$  – натуральные числа и ноль) задается уравнением  $a\sqrt{3}\sqrt{n^2 + nm + m^2}/\pi$ . При  $\mathbf{m} = \mathbf{n}$  нанотрубка называется зубчатой, если  $\mathbf{n} = 0$  или  $\mathbf{m} = 0$  зигзагообразной. Нанотрубка обладает металлическим типом проводимости, если  $m - n = 3k$  (где  $k \in N_0$ ), в остальных случаях она является полупроводником.

## Усеченный тетраэдр

Атомы золота могут образовывать тетраэдрические кластеры, однако с увеличением размера кластера более предпочтительной становится форма в виде усеченного тетраэдра, имеющая меньшую площадь поверхности при одинаковом с тетраэдром объеме и способе упаковки атомов. Рассмотрим усеченный тетраэдр  $Y$ , у которого все ребра равны между собой (см. рисунок).

1. а) Выведите зависимость суммарного числа атомов золота  $K(x)$  в кластере  $Y$  от числа атомов  $x$ , приходящихся на ребро, если количество атомов в тетраэдрическом кластере составляет  $T(m) = (m^3 + 3m^2 + 2m)/6$ , где  $m$  – число атомов золота, приходящихся на ребро тетраэдра.

б) Рассчитайте число атомов в кластере  $Y$  для  $x = 60$ .

в) Каково минимальное количество атомов золота в кластере такой формы? Ответ обоснуйте.

2. Выведите радиус сферы  $R$ , описанной около правильного усеченного тетраэдра с ребром  $a$ . Оцените  $R$  для кластера  $Y$  с  $x = 60$ .

Радиус атомов золота считать равным  $r \approx 0,14$  нм.

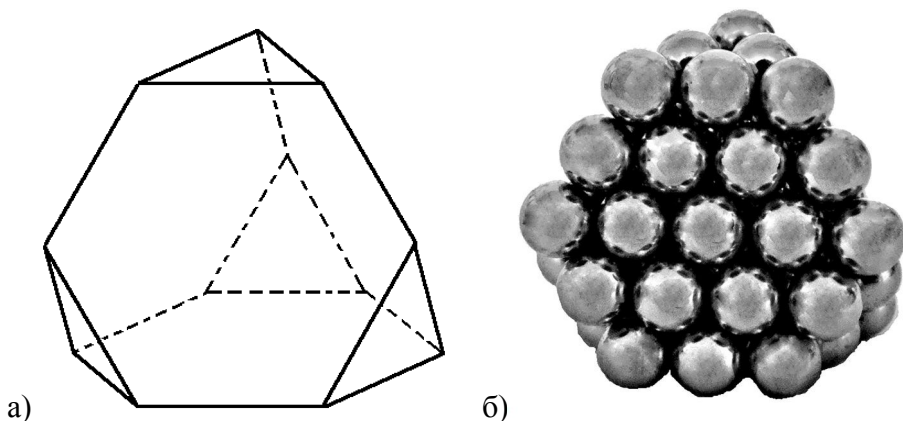


Рис. 1 а) Правильный усеченный тетраэдр  $Y$ . б) Пример золотого нанокластера с ребром, состоящим из трех атомов ( $x = 3$ ).

## Фуллереновый конструктор, часть II

Из теоремы Эйлера для выпуклых многогранников следует, что количество вершин-атомов в фуллерене  $C_n$  составляет  $n = 20 + 2n_6$ , при этом фуллерены содержат 12 пятиугольников и произвольное количество шестиугольников  $n_6$ . Но, тем не менее, фуллерен с одним шестиугольником ( $C_{22}$ ,  $n_6 = 1$ ) не существует. Поэтому интересно узнать, нет ли других «запретных» фуллеренов при  $n_6 > 1$  ( $n > 22$ ).

1. Докажите что с помощью приведенного на рис. 1 конструктора для любого  $n_6 > 1$  можно построить фуллерен. Допускаются любые комбинации элементов, приводящие к фуллеренам; количество элементов не ограничено.

2. Сколько изомеров фуллеренов  $C_{66}$  и  $C_{60}$  можно построить из такого конструктора? Есть ли среди них изомеры, отличающиеся только взаимным расположением шапочек в пространстве, например, зеркальные изомеры? Опишите строение всех изомеров.

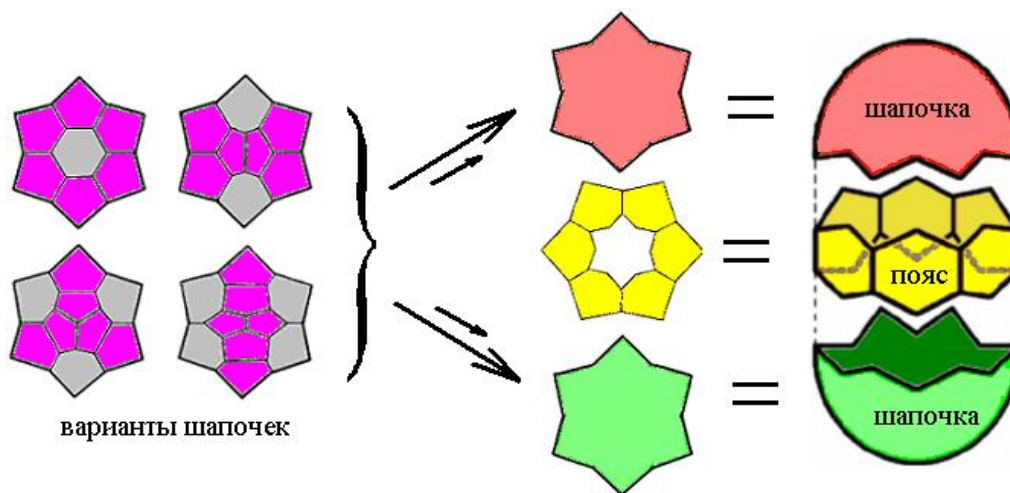


Рис. Плоские проекции элементов конструктора: «шапочек» и «пояса»; пример построения фуллерена из элементов конструктора.



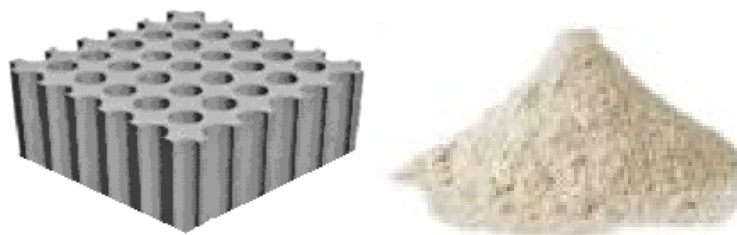
## Поры или частицы?

Из некоторого вещества с плотностью  $\rho$  получили два материала - пористый Наносорбент X и Наносорбент Y в виде порошка.

1. Рассчитайте истинную<sup>1</sup> ( $\rho$ ) и кажущуюся<sup>2</sup> ( $\rho'$ ) плотность Наносорбента X, если известно, что его пористость<sup>3</sup> составляет  $\gamma = 0,65$ , диаметр цилиндрических пор –  $d = 9$  нм, а общая удельная<sup>4</sup> длина пор –  $l_{n(\gamma d)} = 9 \cdot 10^9$  м/г.

2. Рассчитайте удельную<sup>4</sup> площадь поверхности  $S_{y\delta}$  (в м<sup>2</sup>/г) для Наносорбента X. Площадью внешней поверхности пренебречь.

3. Во сколько раз  $S_{y\delta}$  для Наносорбента Y отличается от  $S_{y\delta}$  для Наносорбента X, если известно, что Наносорбент Y состоит из одинаковых частиц, которые имеют форму:  
а) шара с диаметром  $d = 9$  нм; б) шестигранной призмы с ребром  $a = d$ ,  
в) четырехугольной пирамиды с ребром  $a = d$ .



<sup>1</sup> - Истинная плотность – это масса единичного объема сплошного материала без пор, полостей и включений.



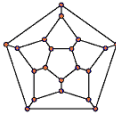
<sup>2</sup> - Кажущаяся (средняя) плотность – это масса единичного объема материала с учетом пор, полостей и включений.

<sup>3</sup> - Пористость – это величина, равная отношению суммарного объема пор к общему объему материала.

<sup>4</sup> - Удельная величина – это величина, отнесенная к единице массы образца.

## Ароматичность фуллеренов и гиперфуллеренов

В зависимости от формы замкнутой молекулы или заряженной частицы, правила ароматичности, определяющие числа обобществляемых электронов, при которых система может обладать ароматичностью, можно записать как:

Форма	плоская (окружность)	трехмерная (сфера)	четырёхмерная (гиперсфера)
Правило ароматичности	$A_{2D} = 2(2N+1)$	$A_{3D} = \sum_{N=0}^{N=M} A_{2D} = 2(M+1)^2$	$A_{4D} = \sum_{M=0}^{M=K} A_{3D} = ?$
Пример	$N = 1$ 6 электронов $C_6H_6$	$M = 2$ 18 электронов $C_{20}^{2+}$	$K = ?$ $A_{4D}(K)$ электронов додекаплекс $C_{600}^{\pm?}$
Схема молекулы			-
Проекция	-		Рис. 1а

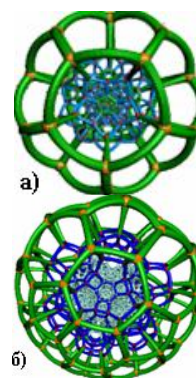


Рис.1 Трехмерные проекции четырехмерных фуллеренов:  
а) додекаплекс  $C_{600}$   
б) гипербакибол  $C_{7200}$

где  $N, M, K$  – натуральные числа и ноль (0, 1, 2, 3, ...).

1. Могут ли обладать ароматичностью *трехмерные* фуллерены  $C_{600}$  и  $C_{7200}$ ? Если нет, то определите минимальные заряды<sup>1</sup> ароматических частиц, соответствующих им. Какие значения  $M$  отвечают этим частицам?

2. Выведите правило ароматичности для гиперсферических молекул  $A_{4D}$ .

3. Могут ли *четырёхмерные* фуллерены –  $C_{600}$  (додекаплекс) и  $C_{7200}$  (гипербакибол) – обладать ароматичностью? Если нет, то определите минимальные заряды ароматических частиц, соответствующих им. Какие значения  $K$  отвечают этим частицам?

При решении можно воспользоваться методом деления отрезка пополам и очевидным неравенством  $A_{4D}(K) > A_{3D}(K)$  при  $K > 0$ .

<sup>1</sup> - Количество обобществленных электронов, как в фуллеренах, так и в их четырехмерных аналогах  $C_n$  равно количеству атомов  $n$ . Минимальный заряд  $q$  ароматической частицы  $C_n^{\pm q}$  – это минимальное число электронов, которое необходимо

забрать (заряд  $+q$ ) или добавить (заряд  $-q$ ) в молекулу фуллерена, чтобы итоговое число обобществленных электронов ( $n \mp q$ ) отвечало правилу ароматичности, соответствующему форме частицы.

---

**Вспомогательные данные к задачам по математике:**

Приближенные значения квадратных корней:

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

Формула суммы квадратов последовательности натуральных чисел 1, 2, ..., n:

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

## БИОЛОГИЯ (ОЧНЫЙ ТУР)

### Спортсмен Петя

Петя занимается в легкоатлетической секции. Уроки биологии помогли ему понять, как правильно питаться и какие биохимические процессы протекают в клетках его тела. Так, он узнал, что в шероховатом эндоплазматическом ретикулуме, при помощи рибосом, в основном осуществляется синтез белков, а в гладком осуществляется синтез различных полисахаридов, а также липидов, в том числе холестерина и его производных, а основная функция таких органелл, как митохондрии – это синтез аденозинтрифосфата. Это нуклеотид, который является универсальным источником энергии для всех биохимических процессов. Его образование происходит в процессе окислительного фосфорилирования и эффективность этого процесса определяет выносливость, что немаловажно при занятиях циклическими видами спорта. Также он узнал, что у большинства многоклеточных организмов идет наследование митохондриальной ДНК по материнской линии.

- 1) Как вы думаете, где больше шероховатого ретикулума – в клетках печени или клетках поджелудочной железы? Почему вы так думаете?
- 2) Как вы думаете, где больше митохондрий, в мышечных клетках куриц, содержащихся в клетке на птицефабрике, или у кур, живущих на дачном участке?
- 3) Как вы думаете, чей генотип важнее для спортивной формы марафонца, отца или матери?

### Детские вопросы

Маленькие дети очень любят задавать вопросы об окружающем их мире. Почувствуйте себя ненадолго родителями и ответьте на некоторые «детские» вопросы:

- почему трава зеленая?
- почему мы различаем цвета?

Ответы должны быть «взрослыми» и аргументированными.

## Транспорт в клетке

Все живые организмы (за исключением, возможно, покоящихся вирусов, которые некоторые относят к «неживым» объектам), имеют сложную пространственную организацию. Для того, чтобы организм работал, а также чтобы объединить организм под «единым управлением», необходим перенос веществ из одних участков организма в другие. Для такого транспорта в живых организмах имеются различные приспособления. Но на малых масштабах (в том числе и нанодиапазона) перенос веществ, органелл и клеток имеет свои особенности.

В нервной системе передача возбуждения от одной клетки к другой чаще всего происходит с помощью химических синапсов. Для этого пузырьки с медиатором сливаются с мембраной синаптического окончания, молекулы медиатора попадают в синаптическую щель, достигают постсинаптической мембраны, где связываются со своими рецепторами, и приводят к деполяризации постсинаптической мембраны. Однако сначала пузырьки, содержащие нейромедиатор, должны попасть от тела клетки к синаптическому окончанию.

1. Как Вы думаете, при помощи какого механизма происходит транспорт пузырьков с нейромедиатором от тела клетки к синаптическому окончанию:
  - а. Турбулентный поток жидкости
  - б. Ламинарный поток жидкости
  - в. Активный транспорт при помощи «молекулярных моторов»
  - г. За счет использования жгутиков
2. Нарисуйте схему движения пузырьков от тела клетки к синаптическому окончанию
3. Как будет влиять на скорость транспорта пузырьков температура?
4. Как будет влиять на транспорт концентрация универсальной энергетической валюты - АТФ?
5. Как Вы думаете, почему пузырьки с медиатором не могут распространяться при помощи простой диффузии?

## мРНК

Последовательность нуклеотидов мРНК содержит информацию о некоем полипептиде. Используя таблицу кодонов определите закодированный полипептид и оцените его заряд при нейтральном рН.

# SECIS



... CGAUGGAGGUUAAAGAUUUAGAGGGGAUUUGGACUGA

Таблица кодонов

1-е основание	2-е основание			
	U	C	A	G
U	<b>UUU (F)</b> Фенилаланин <b>UUC (F)</b> Фенилаланин <b>UUA (L)</b> Лейцин <b>UUG (L)</b> Лейцин	<b>UCU (S)</b> Серин <b>UCC (S)</b> Серин <b>UCA (S)</b> Серин <b>UCG (S)</b> Серин	<b>UAU (Y)</b> Тирозин <b>UAC (Y)</b> Тирозин <b>UAA</b> Стоп-кодон (Ochre) <b>UAG</b> Стоп-кодон (Amber)	<b>UGU (C)</b> Цистеин <b>UGC (C)</b> Цистеин <b>UGA</b> Стоп-кодон (Opal) <b>UGG (W)</b> Триптофан
C	<b>CUU (L)</b> Лейцин <b>CUC (L)</b> Лейцин <b>CUA (L)</b> Лейцин <b>CUG (L)</b> Лейцин	<b>CCU (P)</b> Пролин <b>CCC (P)</b> Пролин <b>CCA (P)</b> Пролин <b>CCG (P)</b> Пролин	<b>CAU (H)</b> Гистидин <b>CAC (H)</b> Гистидин <b>CAA (Q)</b> Глутамин <b>CAG (Q)</b> Глутамин	<b>CGU (R)</b> Аргинин <b>CGC (R)</b> Аргинин <b>CGA (R)</b> Аргинин <b>CGG (R)</b> Аргинин
A	<b>AUU (I)</b> Изолейцин <b>AUC (I)</b>	<b>ACU (T)</b> Треонин <b>ACC (T)</b>	<b>AAU (N)</b> Аспарагин <b>AAC (N)</b>	<b>AGU (S)</b> Серин <b>AGC (S)</b> Серин <b>AGA (R)</b> Аргинин

	<b>Изолейцин</b> <b>AUA (I)</b> <b>Изолейцин</b> <b>AUG (M)</b> <b>Метионин,</b> <b>Стартовый<sup>1</sup></b>	<b>Треонин</b> <b>ACA (T)</b> <b>Треонин</b> <b>ACG (T)</b> <b>Треонин</b>	<b>Аспарагин</b> <b>AAA (K) Лизин</b> <b>AAG (K) Лизин</b>	<b>AGG (R) Аргинин</b>
<b>G</b>	<b>GUU (V) Валин</b> <b>GUC (V) Валин</b> <b>GUA (V) Валин</b> <b>GUG (V) Валин</b>	<b>GCU (A)</b> <b>Аланин</b> <b>GCC (A)</b> <b>Аланин</b> <b>GCA (A)</b> <b>Аланин</b> <b>GCG (A)</b> <b>Аланин</b>	<b>GAU (D)</b> <b>Аспарагиновая</b> <b>кислота</b> <b>GAC (D)</b> <b>Аспарагиновая</b> <b>кислота</b> <b>GAA (E)</b> <b>Глутаминовая</b> <b>кислота</b> <b>GAG (E)</b> <b>Глутаминовая</b> <b>кислота</b>	<b>GGU (G) Глицин</b> <b>GGC (G) Глицин</b> <b>GGA (G) Глицин</b> <b>GGG (G) Глицин</b>

## Ядовитые истории

В художественной литературе, особенно в детективах, часто упоминаются отравители, которые убивают своих жертв с помощью стрихнина. Пострадавший от стрихнина умирает от остановки дыхания: у него начинаются судороги, и он не может расслабить мышцы участвующие в процессе дыхания. Какой важный процесс блокирует это вещество? На какие клеточные структуры он действует? Как это влияет на потенциал клеточной мембраны? Опишите механизм, лежащий в основе нормальной работы соответствующей системы.

## **"Найти и заменить"**

Ученые из Гарвардского университета и Массачусетского технологического института предложили новый метод работы с геномами "найти и заменить". Этот метод позволяет вносить изменения в генетический код живой клетки. Таким образом сделан еще один шаг для того, чтобы в будущем использовать живые клетки - как фабрики для производства нужных белков, ДНК-наноконструкций, а также лечить генетические заболевания. Представьте, что Вы создали нанотранспортер: комплекс ДНК с переносчиком. Но ваша клетка защищена клеточной мембраной.

1) Предложите все возможные способы, базирующиеся на современных технологиях, создания «дырок» в мембране (не летальных для клетки) через которую ваш переносчик попадет внутрь.

2) Как Вы думаете, можно ли использовать для лечения генетических заболеваний у человека нанотранспортер с бактериальной ДНК? Что отличает ДНК эукариот от ДНК прокариот?



## Передача сигнала

Простейший путь передачи сигнала от рецепторов на коже к мышцам включает в себя сенсорный, триггерный и моторный нейроны. Самым распространенным типом контакта между нейронами является химический синапс, подразумевающий передачу сигнала между нейронами с помощью некоторых химических веществ. Химический синапс представляет собой структуру, состоящую из пресинаптической мембраны (пресинаптического нервного окончания), постсинаптической мембраны (постсинаптического нервного окончания) и синаптической щели между ними. Предположим сенсорный нейрон получили сигнал от рецепторов на коже. Ему нужно послать сигнал дальше к триггерному или моторному нейрону. А теперь вопросы:

- 1) Что такое сенсорный, триггерный и моторный нейроны?
- 2) Какие вещества выделяются нейроном в синаптическую щель для передачи сигнала другим нейронам?
  - a) гормоны,
  - b) нуклеотиды,
  - c) каротиноиды
  - d) антитела
  - e) нейромедиаторы,
  - f) нейролептики
- 3) Во что эти вещества упакованы внутри клетки
  - a) пероксисомы,
  - b) везикулы
  - c) лизосомы,
  - d) цистерны комплекса гольджи
  - e) мицеллы
- 4) Как повлияет замена кальция в экстраклеточной среде на магний на «доставку сообщения»?
  - a) вещество поступит в синаптическую щель, но с рецепторами на мембране триггерного нейрона не свяжется;
  - b) выброс вещества из клетки не произойдет, т.к. на мембране сенсорного нейрона не сможет развиваться потенциал действия;
  - c) выброс вещества из клетки не произойдет, т.к. будет заблокирован транспорт вещества к плазматической мембране нейрона;

d) вещество поступит в синаптическую щель, но дальше произойдет быстрая деградация вещества.

e) никак;

5) Как повлияет введение колхицина на передачу сигнала?

a) Сигнал не будет передан, т.к. действие колхицина приведет к разрушению везикул и выбросу вещества внутри клетки;

b) Выброс вещества произойдет даже без стимуляции сенсорного нейрона;

c) Колхицин это и есть то вещество, с помощью которого передается сигнал между клетками.

d) Колхицин это фермент разрушающий вещество при попадании его в синаптическую щель.

e) Выброс вещества из сенсорного нейрона не произойдет, т.к. колхицин - блокатор сборки микротрубочек, следовательно, остановит любой внутриклеточный транспорт, в том числе и везикул с веществом.

f) никак

б) Почему вещество находящееся внутри клетки будет доставлено к плазматической мембране и выброшено в синаптическую щель, а не будет доставлено к ядру или в аппарат Гольджи? Как определяется адрес доставки?

## Цветочки

Появление цветка у покрытосеменных растений является одной из причин их широкого распространения в разных зонах Земли и их господства среди царства растений. Известно, что цвет лепестков крайне важен для растения. Выберите правильные варианты и дайте развернутые ответы на вопросы:

1. Что определяет цвет лепестков?

- а. пигментный состав
- б. Белково-липидный состав клеточной стенки
- в. рН вакуоли и/или цитоплазмы клеток лепестков
- г. освещенность лепестка

2. Какой прием можно использовать для получения цветов с новым цветом лепестков:

- а. удобрять растение
- б. добавить в воду для полива краситель, проникающий в лепестки
- в. проводить перекрестное опыление растений с лепестками нового оттенка для закрепления этого цвета в дочерних растениях;

3. Можно ли получить цветы золотого цвета, обрызгав лепестки раствором, содержащим наночастицы золота?

4. Приведите пример пигмента, влияющего на цвет лепестков. Встречается ли этот пигмент в других органах растений? Какие пигменты определяют цвет листьев? Какую роль эти пигменты там играют?

5. Представьте, что в почву попал раствор наночастиц серебра. Как и в каких тканях цветкового растения распределятся (и распределятся ли) наночастицы? Как это повлияет на жизнедеятельность растения?

6. Цветковое растение обрызгали коллоидным раствором наночастиц серебра, при этом наночастицы попали только на (а) верхние листья и цветы и (б) на самые нижние листья. В каких тканях и органах растения в каждом случае произойдет накопление наночастиц? Как это отразится на растении?

## Марафонцы

Юные кибертехники Миша и Катя решили создать робота, способного бегать многокилометровые дистанции и при этом имеющего анатомические особенности животного, являющегося лучшим ультрамарафонским бегуном. (Примечание: ультрамарафон — это бег на дистанции от 50 км и более. Многие ультрамарафоны проводятся в экстремальных условиях — при температуре выше 30°C, на высоте 2 км от уровня моря и т.п.) В поисках “биологической модели” они отправились в зоопарк, зоологический музей, но ничего так и не нашли. Зато от папы Миши, антрополога, они, к своему огромному удивлению, узнали, что одним из лучших бегунов на длинные дистанции может считаться человек! Именно у представителей вида *Homo sapiens* есть анатомические особенности, которые им позволяют пробегать сотню километров при жаре 30-50°C. Даже сейчас некоторые племена бушменов охотятся на антилоп, отбивая животное от стада и загоняя до смерти.

1. Помогите Мише и Кате, объяснив им, для чего в беге человеку нужна каждая из перечисленных ниже особенностей:

1.а. Потовые железы;

1.б. Сводообразное строение стопы, длинные кости плюсны и короткие фаланги пальцев на ногах;

1.в. Длинные ноги, относительно большая масса бедренных и ягодичных мышц по сравнению с мышцами икр;

1.г. Возможность сделать несинхронными вдох-выдох и беговые движения;

1.д. Уплощенность грудной клетки в дорзо-вентральном направлении и наличие диафрагмы;

1.е. Длинная гибкая талия.

2. Какие материалы Вы бы посоветовали использовать для создания робота-бегуна?

3. Какой должна быть правильно созданная одежда и обувь, чтобы помочь человеку в беге на длинные дистанции в экстремальных условиях? Опишите свойства материалов для предлагаемых одежды и обуви.

4. Какие особенности клеточного метаболизма и общей физиологии позволяют человеку совершать бег на длинные дистанции?

5. Предложите способы улучшения способностей человека в ультрамарафонском беге с использованием препаратов, влияющих на метаболизм? Какие это должны быть препараты? Могут ли нанотехнологии предложить свои приемы для решения поставленной задачи, в частности, для повышения эффективности действия таких препаратов (и не только).

## Плаферы с апвелами

*“...Жанна достала камеру и стала ловить в видоискатель светло-голубое пятно неправильной формы на сине-серо-зеленой поверхности океана. В этот момент Хаото коротко сказал «приготовились — снимаем» и флайка, резко повернувшись на бок, стала падать. ... Несмотря на сильное желание закрыть глаза, обхватить голову руками и сжаться в комочек, она сжала зубы и удерживала камеру, снимая быстро увеличивающиеся в размерах многокилометровые «поля», огороженные яркими цепочками буйков, небольшие почти круглые крафтеры, похожие на снегоборочные машины, неуклюжие 500-метровые танкеры, и плавучие платформы вахтового поселка... А потом исчезнувший вес резко вернулся, и Жанна чуть не уронила камеру.”*

В фантастических романах описываются планктонные фермы – “плаферы”, на которых выращиваются генно-модифицированные микроскопические водоросли для производства биотоплива. Фантастика фантастикой, но использование фитопланктона для производства биотоплива или биосинтеза полезных соединений – довольно активное направление биотехнологии и довольно важная задача для экологии. Такой интерес к биотопливу связан с тем, что запасы нефти являются исчерпаемыми и, кроме того, современные способы переработки нефти (даже с катализаторами на основе наночастиц) представляют экологическую опасность.

1. Какие факторы будут ограничивать объем производства биомассы в плаферах?
2. Какую опасность могут представлять плаферы для окружающей среды и наоборот, какую опасность окружающая среда может представлять для плаферов?
3. Какое топливо можно получать из биомассы водорослей, и как организовать его производство? Какое топливо предпочтительнее?

При описании морских ферм иногда упоминаются и длинные трубы, апвелы, уходящие глубоко в море, почти до дна.

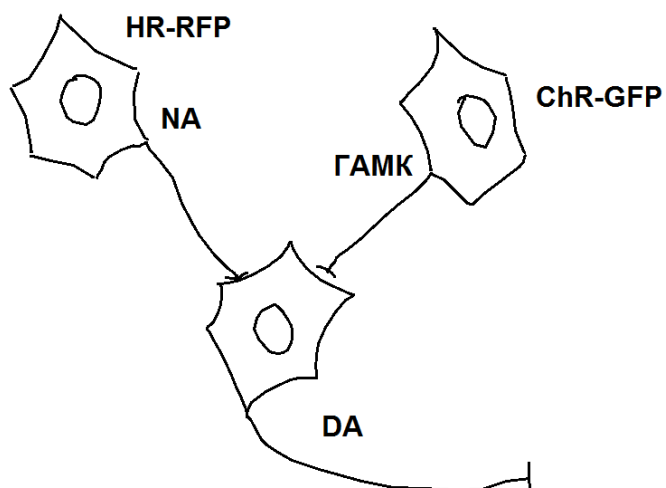
4. Что делают эти трубы, и зачем они нужны на плаферах?
5. Предложите свои соображения по улучшению продуктивности и устойчивости плаферов.
6. Сравните эффективность процессов добычи и переработки обычного топлива и биотоплива. Могут ли нанотехнологии помочь в том и другом и, если могут, то как?

## Оптогенетика

Оптогенетика – новое интересное направление изучения структур мозга. Метод основан на встраивании в мембрану нервной клетки особых белков – каналродопсинов, встречающихся у светочувствительных зеленых водорослей *Chlamydomonas reinhardtii*. При освещении таких клеток (в определенном для каждого каналродопсина диапазоне) происходит активация клетки (генерируются потенциалы действия). Если в мембрану нервных клеток встраивать другой белок – галородопсин (встречается у галобактерий), то наблюдается напротив, не активация, а торможение активности нейрона.

1. Как Вы думаете, что могут представлять из себя эти светочувствительные белки? (1 балл)
2. Какой светочувствительный пигмент входит в их состав?
3. Какие события происходят при освещении данных белков (каналродопсина и галородопсина), встроенных в мембрану нервной клетки? Какие ионы играют ведущую роль в этих событиях?
4. С помощью каких генно-инженерных подходов можно встроить эти белки в клетку *in vitro*? А в клетки мозга целого животного? Как можно обеспечить избирательную экспрессию этих белков в нейронах определенного типа?
5. Какие преимущества могут быть у такого метода исследования организации и функционирования нервной системы по сравнению с электрофизиологическими методами?
6. Часто в исследовательских работах используют химерные светочувствительные белки, к которым пришта часть, являющаяся флуоресцентным белком. Например это зеленый флуоресцирующий белок (GFP, возбуждение при длине волны 475 нм, флуоресценция – 509 нм) или красный флуоресцирующий белок (RFP, возбуждение 587 нм, флуоресценция 610 нм). Зачем это может быть нужно?
7. Важную роль в нервной системе играют дофамин-эргические нейроны, в качестве медиатора они выделяют дофамин. Нарушение (снижение) работы дофамин-эргической системы приводит к Паркинсонизму, когнитивным расстройствам, избыточная активность дофамин-эргических нейронов участвует в патогенезе шизофрении. На рисунке приведена схема нейронных связей. В данном эксперименте в организм животного были встроены 2 химерных светочувствительных белка: каналродопсин (активируется при длине волны 480 нм) с пришитым GFP (ChR-GFP)

экспрессировался в ГАМК-эргических нейронах, галородопсин (активируется при длине волны 570 нм) с пришитым RFP (HR-GFP)– в норадреналин-эргических нейронах. Что произойдет при освещении участка мозга таких животных (обычно это делают через световод) синим светом? А желтым светом? Что можно увидеть во флуоресцентном микроскопе при возбуждении синим светом? Оранжевым светом?





# РЕШЕНИЯ



## ХИМИЯ (ЗАОЧНЫЙ ТУР)

### Кот отдыхает

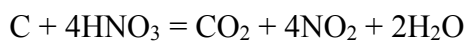
- 1) Двумерная прочность определяется по формуле  $\sigma/L = 4 \cdot 9.8/1 = 39.2 \text{ Н/м}$ .
- 2) Кот разрывает лист с силой 39.2 Н. Площадь сечения стального листа должна быть  $39.2/5 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2 = 7.84 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$ . Толщина листа равна  $7.84 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/1 \text{ м} = 7.84 \cdot 10^{-8} \text{ м}$ . Стальной лист в  $7.84 \cdot 10^{-8}/3.35 \cdot 10^{-10} = 230$  раз толще графенового.
- 3) Одностенная нанотрубка – это графеновый лист, свернутый в прямой цилиндр. 2D прочность на разрыв у трубки и графена – одинаковые. Прочность на разрыв равна 39.2 Н/м. Длина окружности трубки равна  $3.14 \cdot 1.4 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 4.4 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ . Кот может рвать трубку с силой  $1.7 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$ . Масса нанокота равна  $1.7 \cdot 10^{-7}/9.8 = 1.7 \cdot 10^{-8} \text{ кг}$ .

### Рентгенозащитные экраны и наночастицы

1. Степень поглощения рентгеновских лучей веществом зависит от заряда ядра атомов, входящих в его состав: чем заряд больше, тем сильнее вещество поглощает излучение. Поэтому для изготовления защитных экранов, фартуков и проч. используют материалы содержащие свинец, висмут и другие тяжелые металлы.
2. Защитное покрытие может стираться или трескаться при деформациях. При этом а) ослабляется защита от излучения б) частицы соединений тяжелых металлов, по большей части ядовитых, попадают в окружающую среду. Материалы с распределенными в объеме частицами практически лишены этих недостатков.

## Очистка наноалмазов

1) На 1 кг алмазов приходится 1.5 кг графита. Уравнение реакции растворения графита в азотной кислоте:



$$\nu(\text{C}) = 1500 / 12 = 125 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{HNO}_3) = 125 \times 4 = 500 \text{ моль}$$

$$m(\text{HNO}_3) = 500 \times 63 = 31500 \text{ г} = 31.5 \text{ кг}$$

$$m(68\% \text{ HNO}_3) = 31.5 / 0.68 = 46.3 \text{ кг}$$

$$V(68\% \text{ HNO}_3) = 46.3 / 1.42 = 32.6 \text{ л.}$$

2) Кислотные функциональные группы:  $-\text{OH}$ ,  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{CO}-\text{O}-\text{CO}-$ .

3) В 100 г алмазов содержится  $81.3 / 12 = 6.78$  моль С и по 1.1 моль Н и О. Соотношение Н и О говорит о том, что все поверхностные атомы углерода связаны с группами ОН. Число поверхностных атомов равно числу групп ОН:  $\nu_{\text{пов}}(\text{C}) = 1.1$  моль. Доля поверхностных атомов от общего числа атомов С составляет:  $\nu_{\text{пов}}(\text{C}) / \nu(\text{C}) = 1.1 / 6.78 = 0.16 = 16\%$ .

4) Площадь России – 17.1 млн км<sup>2</sup>. В масштабе 1 : 40 000 000 площадь карты России составляет  $17.1 \times 10^6 \times 10^6 \text{ м}^2 / (40 \times 10^6)^2 = 0.0107 \text{ м}^2 = 107 \text{ см}^2$ . Площадь сечения алмаза диаметром 5 нм равна:  $\pi d^2 / 4 = 19.6 \text{ нм}^2 = 1.96 \times 10^{-13} \text{ см}^2$ .

При максимально плотной упаковке круги заполняют 90.7% поверхности. Необходимое число наноалмазов:

$$107 / 0.907 / (1.96 \times 10^{-13}) = 6.0 \times 10^{14}.$$

$$\text{Масса одного алмаза: } m = \rho V = 3.52 \text{ г/см}^3 \times \pi \times (5 \times 10^{-7} \text{ см})^3 / 6 = 2.3 \times 10^{-19} \text{ г.}$$

$$\text{Общая масса алмазов: } 6.0 \times 10^{14} \times 2.3 \times 10^{-19} = 1.4 \times 10^{-4} \text{ г} = 0.14 \text{ мг.}$$

$$1 \text{ карат} = 200 \text{ мг. Каратов в этой карте немного: } 0.14 / 200 = 0.0007.$$

## Графеновые ленты

1. Малая диагональ шестиугольника, выраженная через его сторону, равна  $\sqrt{3}a$ .  
 $D = 3\sqrt{3}a \approx 0,73 \text{ нм}$ .

Несмотря на то, что ширина графеновой ленты меньше 1 нм, ее длина составляет 20 – 60 нм, то есть, по определению, она будет являться нанобъектом. Стоит добавить, что графен *традиционно* относят к нанобъектам, даже если его размер ни по одному из измерений не лежит в диапазоне 1-100 нм.

Мономерное звено углеродной наноленты не может содержать меньше, чем в исходной молекуле, количество атомов углерода. Значит, формула ленты –  $(C_{28}H_8)_n$ , или, если учитывать концевые атомы водорода,  $(H_2)(C_{28}H_8)_n(H_2)$ .

2. Главное преимущество таких нанолент – атомарно ровные края ленты, которые практически невозможно получить, «вырезая» ленту из листа графена методами «сверху вниз» (из-за отсутствия необходимого субнанометрового разрешения у таких методов). Второе преимущество – стабильность и предсказуемость физико-химических свойств ленты, что обусловлено ее инертными краями, защищенными атомами водорода.

3. Такие углеродные нанотрубки будут крайне напряжены и нестабильны. Лента с шириной около 0,7 нм должна получиться из углеродной нанотрубки с диаметром чуть больше 0,2 нм, что соизмеримо с длиной С-С связи (0,14 нм) и намного меньше минимального диаметра синтезируемых углеродных нанотрубок.

## Бинарные соединения

1. Определим молярную массу элемента Y, исходя из данных, приведенных для соединения C. Запишем очевидное соотношение ( $k_Y$  и  $k_K$  – соответствующие коэффициенты в структурной единице C элемента Y и калия):

$$\frac{29,44}{M_Y} : \frac{20,19}{39,10} = \frac{k_Y}{k_K} \quad \text{откуда} \quad M_Y = \frac{57,01 \cdot k_K}{k_Y}$$

Принимая во внимание данные условия, соотношение коэффициентов ( $k_K/k_Y$ ) в уравнении может быть одним из ниже перечисленных:  $1/60$ ,  $1/3$ ,  $1/2$ , 2 или 3. Перебором пяти вариантов находим, что единственный разумный ответ возникает при  $k_K/k_Y=1/3$ , когда элемент Y – фтор ( $M=19,00$  г/моль).

Легко определяем третий элемент в составе C – это платина:

$$M_{\text{Э}} = \frac{39,10 \cdot 50,37 \cdot k_K}{20,19 \cdot k_{\text{Э}}} = \frac{97,55 \cdot k_K}{k_{\text{Э}}} = 97,55 \cdot 2 = 195,09 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

Вещество C – гексафтороплатинат (IV) калия  $K_2PtF_6$ .

Теперь найдем молекулярную формулу бинарного соединения D (где n – степень окисления второго элемента):

$$\frac{49,08}{M_{\text{Эл}}} : \frac{50,92}{19,00} = \frac{1}{n} \quad \text{что приводит к зависимости } M_{\text{Эл}} = 18,31 \cdot n$$

В случае  $n = 3$  неизвестный элемент – марганец, а соединение D – фторид марганца (III). Обратим внимание, что оба вещества (C и D) являются известными фторирующими агентами.

Определим зависимость молярной массы X от соотношения числа атомов в составе искоемых бинарных соединений:

$$\frac{67,81}{M_X} : \frac{32,19}{19,00} = \frac{k_{X1}}{k_{F1}} \quad \text{и} \quad \frac{51,30}{M_X} : \frac{48,70}{19,00} = \frac{k_{X2}}{k_{F2}}$$

откуда имеем, что:

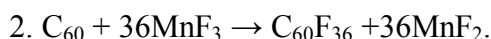
$$M_X = \frac{40 \cdot k_{F1}}{k_{X1}} = \frac{20 \cdot k_{F2}}{k_{X2}}$$

Так как по условию соотношение  $k_{F2} / k_{X2} < 1$ , то молярная масса элемента X должна быть меньше 20 г/моль. В рассмотрении оказываются восемь элементов, однако простой химический анализ позволяет существенно проредить этот список до углерода.

Итак, мы имеем дело с соединениями углерода и фтора, при этом их простейшие формулы, исходя из уравнений рассмотренных выше, составляют  $C_{30}F_9$  (A) и  $C_{15}F_9$  (E).

Очевидно, что речь в задаче идет о фторированных фуллеренах (наноразмерные объекты), поэтому имеющиеся простейшие формулы должны быть трансформированы до четных значений числа атомов фтора:  $C_{60}F_{18}$  (А) и  $C_{30}F_{18}$  (Е). Так как оба вещества образуются из одного стартового фуллерена, то его формула должна быть  $C_{60n}$ , где  $n$  – натуральное число.

В задаче рассмотрены химические превращения самого известного фуллерена –  $C_{60}$ , соответственно, искомые вещества:  $C_{60}F_{18}$  (А) и  $C_{60}F_{36}$  (Е). Однако формально условию удовлетворяют и кратные варианты, например,  $C_{120}F_{36}$  (А) и  $C_{120}F_{72}$  (Е).

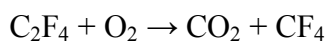


3. Наиболее информативным методом исследования структуры фторированных фуллеренов служит, несомненно,  $^{19}F$ -ЯМР-спектроскопия.

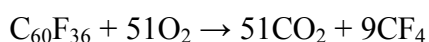
4. Так как исходные реагенты содержат три элемента (С, F и О), то продукты сгорания также очевидно должны быть образованы только тремя этими элементами.

Молекулярный фтор отпадает, так как будучи более сильным окислителем он не вытесняется кислородом из своих соединений в процессе сгорания. Оксид углерода (II) не образуется в реакциях, протекающих в избытке кислорода. Карбонилфторид,  $COF_2$  не подходит под условие задачи, так как содержит меньшее число атомов кислорода по сравнению с  $O_2$  (что критично при коэффициентах уравнения реакции, равных единице). Отсюда единственно возможная пара газообразных продуктов реакции:  $CO_2$  и  $CF_4$ .

Материальному балансу уравнения реакции, в которой все коэффициенты равны единице, отвечает соединение F – тетрафторэтилен,  $C_2F_4$ .



5. Уравнение реакции сгорания соединения Е:



## Новое об оксидах графита и графена

1. а) Количество графеновых слоев в мембране из ОГ-фита толщиной 100 нм:  $100/0.6 = 167$ . Диаметр мембраны 1 см. Площадь мембраны  $0.79 \text{ см}^2$ . Площадь шестиугольника на поверхности  $0.0516 \text{ нм}^2$ . Количество шестиугольников в 167 слоях равно  $167 * 0.79 / 0.0516 * 10^{-14} = 2.54 * 10^{17}$ .

Количество атомов углерода  $5.08 * 10^{17}$ . Число молей углерода в мембране  $5.08 * 10^{17} / (6.02 * 10^{23}) = 8.44 * 10^{-7}$  моль. Молекулярная масса  $\text{CO}_{0.25} = 16$ . Масса мембраны  $16 * 8.44 * 10^{-7} = 1.35 * 10^{-5}$  г. Масса мембраны из стекла  $0.1 * 0.79 * 2.5 = 0.198$  г. Стеклоянная мембрана тяжелее в  $0.198 / 1.35 * 10^{-5} = 1.5 * 10^4 = 15\ 000$  раз.

б) Молекулы воды попадают в межплоскостное пространство и образуют связи с атомами кислорода в эпоксидных группах. При этом межплоскостные расстояния в ОГ-фите увеличиваются и проницаемость мембраны возрастает.

2. а) ОГ-фен гидрофилен за счет расположенных на поверхности эпоксидных групп. Трубки могут закрепляться на поверхности ОГ-фена в тех местах, где эпоксидных групп нет, за счет  $\pi$ - $\pi$  связей. ОГ-фен служит платформой для переноса трубок в водную фазу.

б) Площадь поверхности одной нанотрубки:  $\pi * 1 * 800 = 2513 \text{ нм}^2$ . Нанотрубки и углерод в ОГ-фене при одинаковой площади весят одинаково. Атомы кислорода увеличивают массу ОГ-фена в 16/12 раз по сравнению с чистым графеном. Таким образом, на один фрагмент ОГ-фена в растворе приходится  $(0.02/0.1) * (0.1 * 10^6 * (16/12) / 2513) = 11$  трубок.

## Размерный эффект – как улучшить растворимость в воде и кислотах

1. При измельчении увеличивается энергия Гиббса твердого вещества, поэтому равновесие смещается вправо.

2. Молярный объем  $\text{FeS}_2$ :  $V_m = M / \rho = 120 / 5.02 = 23.9 \text{ см}^3/\text{моль}$ .

а) Если растворимость увеличилась на 1% по сравнению с объемной фазой, то

$$\exp\left(\frac{P_{\text{пов}}V_{\text{пов}}}{RT}\right) = 1,01 \quad \frac{P_{\text{пов}}V_{\text{пов}}}{RT} = \ln 1,01 \quad \frac{2\sigma V_m}{rRT} = \ln 1,01$$
$$r = \frac{2\sigma V_m}{\ln(1,01)RT} = \frac{2 \cdot 4,73 \cdot 23,9 \cdot 10^{-6}}{\ln 1,01 \cdot 8,314 \cdot 298} = 9,17 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 9,17 \text{ мкм}$$

То, что размерный эффект начинается не с нано-, а с микрометров, обусловлено большим поверхностным натяжением пирита.

б) Растворимость наночастиц – в 1000 раз больше, чем у объемной фазы. Вычисления аналогичны п. (а):

$$\exp\left(\frac{P_{\text{пов}}V_{\text{пов}}}{RT}\right) = 1000$$
$$r = \frac{2\sigma V_m}{\ln(1000)RT} = \frac{2 \cdot 4,73 \cdot 23,9 \cdot 10^{-6}}{\ln 1000 \cdot 8,314 \cdot 298} = 1,32 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 13,2 \text{ нм}$$

3. Для галогенидов серебра ПР равно квадрату растворимости: ПР =  $\mu$ раз. Следовательно, надо за счет уменьшения размера увеличить растворимость  $\text{AgBr}$  в 19 раз. Молярный объем  $\text{AgBr}$ :  $V_m^2$ , поэтому растворимость объемной фазы  $\text{AgBr}$  меньше, чем  $\text{AgCl}$ ,  $v_m = M / \rho = 188 / 6.48 = 29.0 \text{ см}^3/\text{моль}$ . Дальше – вычисления аналогичны п. 1:

$$\exp\left(\frac{P_{\text{пов}}V_{\text{пов}}}{RT}\right) = 19 \quad \frac{2\sigma V_m}{rRT} = \ln 19$$
$$r = \frac{2\sigma V_m}{\ln(19)RT} = \frac{2 \cdot 4,73 \cdot 23,9 \cdot 10^{-6}}{\ln 19 \cdot 8,314 \cdot 298} = 8,3 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 0,83 \text{ нм}$$

Частица такого размера содержит всего несколько десятков атомов.

4. Для того, чтобы серебро растворялось в кислотах с выделением водорода, стандартный электродный потенциал  $\text{Ag}^+/\text{Ag}$  должен быть меньше стандартного потенциала водородного электрода  $2\text{H}^+/\text{H}_2$ , который, по определению, равен 0 В.

$$E^\circ(\infty) - \frac{P_{\text{пов}}V_m}{nF} < 0$$

Молярный объем  $\text{Ag}$ :  $V_m = M / \rho = 108 / 10.50 = 10.3 \text{ см}^3/\text{моль}$ . Число электронов в полуреакции  $\text{Ag}^+ + e \rightarrow \text{Ag}$ :  $n = 1$ .



## Сферический кластер в вакууме

1. Магнитное квантовое число  $m$  принимает значения от  $-l, \dots, 0, \dots, +l$ , поэтому суммарное количество орбиталей, характеризующихся всеми возможными значениями  $m$  при заданном  $l$ , составит  $\Sigma -l, \dots, 0, \dots, +l = 2l+1$ . Заполненная орбиталь содержит два различающихся спином электрона, поэтому полностью заполненный подуровень атома будет содержать  $2(2l+1)$  электронов. Соответственно,  $N$ -я оболочка сферического ароматического нанокластера будет содержать  $2(2N+1)$  электронов (сравните с правилом Хюккеля).

Суммарное число электронов во всех оболочках с номерами от 0 до  $N$  составляет:

$$\sum_0^N 2(2M+1) = 4 \sum_0^N M + 2 \sum_0^N 1 = 2N(N+1) + 2(N+1) = 2(N+1)^2$$

Интересно отметить, что при суммировании по  $N$  правила Хюккеля получается его трехмерный аналог. При этом эти формулы описывают не только правила плоской и объемной ароматичности, но и, соответственно, количество электронов в подуровнях атома и в соответствующих электронных конфигурациях инертных газов.

2. Количество  $\pi$ -электронов в фуллеренах равно количеству атомов углерода. Поскольку фуллеренов меньше  $C_{20}$  не существует, то ароматичность могли бы проявлять:  $C_{32}$ ,  $C_{50}$ ,  $C_{72}$ ,  $C_{98}$ .

3.  $C_{20}^{2+}$  (18  $\pi$ -электронов) и  $C_{60}^{10+}$  (50  $\pi$ -электронов).

4. Логично попытаться связать нетипичные свойства изомеров **A** и **B** с их возможной ароматичностью и необходимой для этого геометрической формой.

Определив формулу фуллерена как  $C_{50}$  (15 шестиугольных граней или 50 вершин), можно предположить, что сферическая ароматичность *слабее* стабилизирует изомер **A** из-за его геометрических особенностей. Поскольку **A** и **B** состоят из одинакового количества атомов углерода, а радиус описанной вокруг изомера **A** окружности больше, то **A** *менее* приближен по форме к сфере (является «менее сферическим», что заметно по рисунку). Поэтому для объединения всех  $\pi$ -электронов фуллерена **A** в единую сферическую ароматическую систему создаются не такие благоприятные условия (орбитали хуже перекрываются). Таким образом, проигрыш энергии за счет сочлененных пятиугольников в изомере **B** перекрывается выигрышем из-за более удачной для возникновения сферической ароматичности геометрии.

5. Число электронов в кластере складывается из валентных электронов составляющих его элементов и заряда:  $5 + 2 - 1 = 6$ . Кластер будет плоским, поскольку количество электронов соответствует правилу Хюккеля для плоских молекул  $2(2N+1)$  при  $N = 1$ , но не может соответствовать его трехмерному аналогу  $2(N+1)^2 : 2$  (при  $N = 0$ )  $< 6 < 8$  (при  $N = 1$ ).

Значение $l$	0	1	2	3	4	5	6	$N$
Буквенное обозначение	<b>s</b>	<b>p</b>	<b>d</b>	<b>f</b>	<b>g</b>	<b>h</b>	<b>i</b>	
Число электронов в оболочке кластера	2	6	10	14	18	22	26	$2(2N+1)$
Суммарное число электронов во всех оболочках кластера	2	8	18	32	50	72	98	$2(N+1)^2$
Соответствующие фуллерены	-	-	$C_{20}^{2-}$	$C_{32}$	$C_{50}$ $C_{60}^{10+}$	$C_{72}$	$C_{98}$	

## Пептидное какуро

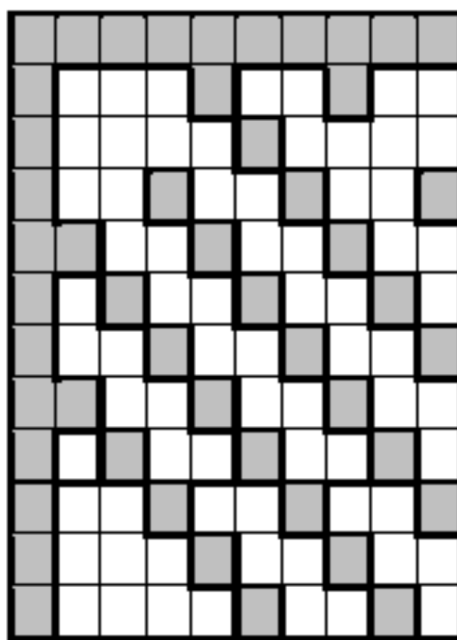
Решение данной головоломки:

	8	9	15	12				23	8
10	1	2	4(D)	3	10		10/16	9	7
35	7	6(I)	5	9	8	3/11	2	8	1
	4	1	3	6/12	2	1(F)	3	6	
		8/4	1	3	21/3	2	1	6	3
	4/11	3(V)	2	1	5	7/8	4	3	1
4	3	1	13/12	2	9	1	15/3	1	2
7	1	4	2	10/14	7(G)	4	1	2	
		24/4	1	3	15/6	2	4	11	
	17/27	8	3	7	9(E)	13/3	2	1	8
24	8(P)	9	7	16	6	4	3	2(A)	1
16	9	7			29	9	5(L)	8	7

2. Данным способом можно шифровать только:

- 1) олигопептиды, содержащие от двух до девяти аминокислотных остатков;
- 2) все аминокислотные остатки, образующие пептид, должны различаться (другими словами, не возможен дубляж какой-либо аминокислоты).

3. Максимальное число пептидов размещается в матрице 9 на 11 клеток в случае, если большинство из них будут дипептидами. Наиболее выгодное шахматное расположение серых клеток формируется с применением логического метода:



Наличие пустых клеток на верхней горизонтали и левой вертикали противоречит идеологии какуро, так как не задается сумма цифр в соответствующей группе клеток. Всего в представленном выше квадрате можно разместить 59 групп клеток, однако мы не знаем направление прочитывания (например, справа-налево или наоборот), поэтому всего прямоугольник в пределе будет содержать информацию о 118 олигопептидах.

Из этих 118 олигопептидов большинство содержит по два аминокислотных остатка.

Однако, общее число дипептидов, которое можно образовать при помощи 22-х протеиногенных аминокислот, если каждая аминокислота используется только один раз составляет:  $N = 22 \cdot 21 = 462$ , что значительно превышает число дипептидов в рассмотренной "идеальной" матрице.

4. В составе искомого пептида есть аминокислотные остатки или фенилаланина, или лейцина, или оба одновременно. Сопоставление возможных вариантов с полностью разгаданной головоломкой приводит к выявлению двух искомым пептидов, располагающихся в третьей слева вертикали (в зависимости от направления прочитывания):

D-L-V-F-A (1) и A-F-V-L-D (2)

Тетрапептид E-L-P-G, находящийся на нижней горизонтали, не подходит в виду того, что при ее ферментативном гидролизе не образуется свободных аминокислот.

## Холмс и наночастицы

*Какое вещество и в каком количестве было внесено в яйцо?*

Так как соль неизвестного металла подвергалась электролизу, то она растворима. Это отменяет варианты внесения нерастворимых сульфидов и селенидов кадмия. Был внесён нитрат или ацетат кадмия. Анион определяется из двух качественных наблюдений. Первое: барий показывает отсутствие карбонатов, сульфатов, фторидов и фосфатов. Второе – графики электролиза нитрата серебра и жижи, обработанной нитратом серебра, имеет одинаковый начальный отрезок. Это указывает на присутствие серебра в ионном виде, то есть отсутствие ионов-осадителей. Растворимыми являются нитрат серебра, серебряные соли органических кислот.

Неизвестный металл и его количество определяются из данных электролиза. Разницы в массе почти точно в два раза для электролиза серебра и неизвестного металла (на отрезках до первого излома, то есть примерно по 190 секунд каждый) указывает на различие либо атомных масс в два раза (при одинаковой валентности), либо валентности в два раза (при одинаковой или близкой атомной массе). В первом случае подходящих элементов нет. Во втором – подходят кадмий и палладий.

Количество кадмия рассчитывается из данных второго графика. Начальный отрезок (до 181 секунды) соответствует электролизу серебра, взятого в избытке. Отрезок от 181 до 567,5 секунды – электролизу кадмия. Проведём расчёт

$$m = M_r \cdot I \cdot t / 2 \cdot F = 112 \cdot 0,5 \cdot 386,5 / 2 \cdot 96484 = 0,112 \text{ г (металла)}$$

или 0,001 моль соли

Если соль – нитрат, то её масса равна 0,236 г

Если соль – ацетат, то её масса равна 0,230 г

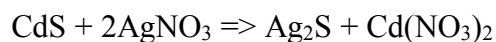
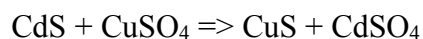
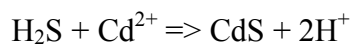
Принимаются и другие ответы, если они удовлетворяют растворимости соответствующих солей кадмия и серебра.

*Опишите процессы, происходившие в яйце. Приведите уравнения реакций.*

В яйце началось гниение белка и начал выделяться сероводород. Сероводород реагировал с ионами кадмия, образуя коллоидный сульфид кадмия, стабилизированный белком (как за счёт тиольных групп, так и за счёт вязкости раствора белка) При добавлении нитрата серебра или соли меди образовывались сульфид серебра и меди соответственно. (так как они существенно менее растворимы чем сульфид кадмия). Жижка приобретала чёрный цвет. Цинк и барий не вытесняют кадмий из его солей. Барий,

помимо прочего, свидетельствует об отсутствии карбонатов и сульфатов (а также фосфатов, фторидов и силикатов)

Белок → сероводород (приведшие реакцию распада цистеина получают дополнительный балл)



*Почему жижа светилась под действием ультрафиолета?*

Частицы сульфида кадмия – квантовые точки, способны флуоресцировать под действием ультрафиолетового излучения. Поэтому полученный раствор светился.

*Насколько однородны частицы, ответственные за свечение? Как они называются?*

Частицы называются квантовые точки. В данном случае, они скорее всего достаточно крупные и однородные. Связано это с тем, что в процессе гниения сероводород выделяется очень медленно. Поэтому вероятнее не образование новых частиц, а рост уже зародившихся. От агрегации и оседания их защищает белок яйца, содержащий множество тиольных групп.

*Удалась бы затея Мориарти, если бы он использовал соли ртути?*

Скорее всего, удалась бы. Соли ртути очень сильные консерванты и яйцо не испортится. Хотя ионы ртути прочно связываются яичным белком (сырое яйцо – первое средство при попадании солей ртути в желудок), при переваривании последнего ферментами они освободятся.

## **Выжить любой ценой... но нанотехнологически!**

### 1. Чистая вода

Вода из открытых источников вдали от цивилизации обычно загрязнена механическими примесями и болезнетворными микроорганизмами. Для их удаления можно использовать фильтрацию через нанопористые материалы. Биологи используют стерилизующие мембранные фильтры с размером пор 0,22 мкм, или 220 нм. Этого достаточно для удаления любых бактерий, большинства видов спор, фрагментов мицелия. Вирусы сквозь такую мембрану могут проходить. Для удаления вирусов необходимо уменьшить размер пор до 50-80 нм. Мембрана может быть полимерной или керамической. Она должна быть посеребрена, для уничтожения прорастающих спор грибов, нити мицелия которых способны пройти сквозь её поры. Мембрана в порах 50-80 нм фильтрует медленно, но тем не менее до 5 литров воды в день сквозь неё проходит без использования насосов повышающих давление. Мембрана не удаляет токсины, растворённые в воде соли, поэтому непригодна для очистки гниющих водоёмов и солёной воды.

### 2. Еда

Для питания нам необходимы белки и углеводы. Жиры необходимы в меньшей степени, они могут легко синтезироваться из углеводов, кроме того, любой человек имеет весьма большой запас жиров для поддержания биохимических процессов (как Вы знаете, жиры необходимы для построения клеточных мембран). Любое растение, животное, птица или насекомое состоят из тех же аминокислот и углеводов, что и необходимы нам. Основная задача состоит в их выделении и очистке от возможной инфекции и паразитов. Для этого, например, можно применить ферментные препараты, расщепляющие полисахариды и белки и фильтрующую мембрану для отделения продуктов гидролиза от нерасщеплённых материалов. Мембрана в этом случае должна иметь пористость порядка 0,5 нм и работать за счёт осмотического давления, фактически проводя диализ раствора против чистой воды, полученной ранее. Из ферментов нам потребуются целлюлазы, расщепляющие древесину (основной источник глюкозы в природе) и протеиназы, расщепляющие любые белки. Гидролиз необходимо проводить в разных ёмкостях, так как протеиназы быстро инактивируют любые другие ферменты. Мембрана устраняет опасность попадания в пищу паразитов или бактерий. Пищей в данном случае будет являться раствор аминокислот и моносахаридов в воде.

Нерасщеплённые ферментами остатки периодически вытряхиваются из гидролизного мешка. Альтернативой является гидролиз, а затем нагревание расщеплённой массы до кипения, с целью дезактивации ферментов и стерилизации раствора. В этом случае мембрана не нужна.

### 3. Огонь

Для добывания огня можно использовать пирофорные порошки металлов. В герметичной упаковке они стабильны неограниченное время. При вскрытии упаковки – самовоспламеняются на воздухе, выделяя большое количество тепла. Упаковку можно сделать сгорающей, например из полимера, тогда мы сразу будем располагать запасом горючего материала. Фактически, Гриллз и сейчас использует пирофорный сплав, вероятнее всего из мишметалла, из которого состоит его “огниво”. Сгорающая упаковка с пирофорным металлом даёт много тепла и позволяет разжечь огонь даже из сырых материалов.

### 4. Укрытие

Укрытие от непогоды такого типа – это нанопористая плёнка, пропускающая воздух и пары воды, но непроницаемая для капель. Она может состоять из ПВХ, полиэтилена и других полимерных материалов. Подобного рода плёнки сейчас используются в строительстве.

### 5. Грелка-горелка

Достаточно сложный элемент экипировки, тем не менее, уже реализованный сейчас. Грелка состоит из каталитического патрона, в котором кислородом воздуха окисляются органические вещества (обычно это бензин). Катализатор – наночастицы разной природы, нанесённые на керамический носитель. Это могут быть частицы платины, оксида хрома (III), других элементов. Наиболее активными являются металлические катализаторы, которые способны воспламенить топливо просто при контакте с воздухом. Наиболее универсальным и малочувствительным к загрязнениям – оксид хрома (III), но его предварительно необходимо “разжечь”.



## ФИЗИКА (ЗАОЧНЫЙ ТУР)

### Наноторпеда

Наноторпеда движется благодаря явлению «самоэлектрофореза»: разность потенциалов приводит к движению ионов вдоль торпеды, а следовательно и жидкости. По принципу инверсии Галилея (следствие закона сохранения импульса), если жидкость движется от медного конца к платиновому, значит, сама торпеда движется в сторону медного конца.

Для расчёта КПД посчитаем электрическую мощность, выделяемую торпедой:

$$W = V \cdot i \cdot \pi \cdot D^2 / 4 . \quad (1)$$

Теперь рассчитаем мощность силы сопротивления жидкости:

$$W_a = 3\pi \cdot D \cdot \eta_w \cdot v^2 , \quad (2)$$

где  $\eta_w$  — вязкость воды. Т.к. на механическое движение расходуется не вся мощность, найдём КПД:

$$\eta = \frac{W_a}{W} = \frac{3 \cdot 3.14 \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-10}}{1 \cdot 10 \cdot 0.8 \cdot 4 \cdot 10^{-14}} = 5 \cdot 10^{-5} , \quad (3)$$

Максимальная скорость  $v_{max}$ :

$$v_{max} = v / \sqrt{\eta} = 0.2 \text{ м/с} . \quad (4)$$

## Нанотрубчатая вода

Реальный радиус воды в нанотрубке  $d = D - 2k = 1$  нм. Чтобы найти разницу давлений воспользуемся формулой Пуазейля:

$$Q = \frac{\pi \cdot d^4}{128 \cdot \eta \cdot L} \cdot \Delta p \cdot N, \quad (1)$$

Здесь  $N$  — число нанотрубок в фильтре.

$$N = \frac{4 \cdot S \cdot \beta}{\pi \cdot D^4}, \quad (2)$$

$\beta$  — фактор плотности упаковки нанотрубок, равный примерно 0.9.

Получаем итоговую формулу:

$$\Delta p = \frac{32Q \cdot \eta \cdot L \cdot D^3}{d^4 \cdot S \cdot \beta} = \frac{32 \cdot 1.7 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-5} \cdot 1.4^2 \cdot 10^{-18}}{10^{-36} \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 0.9} = 10^9 \text{ Па} = 10000 \text{ атм.} \quad (3)$$

Высота водонапорной башни:

$$h = 100\,000 \text{ м} = 100 \text{ км.} \quad (4)$$

## Атомно-слоевое осаждение

Пусть время роста пленки  $\text{Al}_2\text{O}_3$  равно  $t$ , скорость роста  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $v_1$ , а скорость роста  $\text{TiO}_2$ :  $v_2=v_1+\Delta v$ . Тогда, учитывая, что на рост диоксида титана ушло на  $\Delta t$  секунд меньше времени, запишем систему уравнений:

$$\begin{cases} h = v_1 t \\ h = v_2 (t - \Delta t) \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} v_1 = h/t \\ h = (v_1 + \Delta v)(t - \Delta t) \end{cases} .$$

Решая систему, получаем:  $t_{1,2} = \frac{\Delta v \cdot \Delta t \pm \sqrt{(\Delta v \Delta t)^2 + 4 \Delta v h \Delta t}}{2 \Delta v}$  ,

откуда, подставляя числовые значения, получаем единственный имеющий смысл корень:  
 $t = 210 \text{ с} = 3,5 \text{ минуты}$ .

Для ответа на второй вопрос найдем скорость роста  $\text{TiO}_2$ :  $v_2 = h/(t - \Delta t) = 0,35 \text{ \AA}/\text{с} = 3,5 \cdot 10^{-5} \text{ мкм}/\text{с}$ . Т.о. для осаждения пленки толщиной 1 мкм понадобится время  $\sim 28571$  секунд или около 8 часов.

## Брэгговское зеркало

Для ответа на первый вопрос необходимо расписать условие интерференционного максимума для отраженных лучей более подробно, чем это дает условие Брэгга, а именно, учесть интерференцию при отражении от *каждой* из границ раздела, а не только от границ, определяющих период структуры (как в условии Брэгга). Без потери общности достаточно рассмотреть только одну пару слоев  $n_1/n_2$ , находящихся где-то внутри зеркала (за счет периодичности результат распространится и на всю структуру в целом). Пусть свет, прошедший очередной слой с показателем преломления  $n_2$ , падает нормально на границу раздела со слоем с показателем преломления  $n_1$  и частично отражается от нее (отраженный луч №1), проходит далее до границы  $n_1/n_2$  и снова претерпевает частичное отражение (отраженный луч №2), и, наконец, проходит полностью через слой с показателем преломления  $n_2$  и отражается от границы со следующим слоем  $n_1$  (отраженный луч №3). Обозначим толщину слоя с показателем преломления  $n_1$  ( $n_2$ ) как  $d_1$  ( $d_2$ ), соответственно. Тогда условие Брэгга, записанное фактически для интерференции лучей №1 и №3, будет иметь вид:  $2(n_1d_1+n_2d_2)=m\lambda$ .

Оно, очевидно, выполняется при значении параметра  $m=1$ , если оптические толщины слоев равны  $n_1d_1=n_2d_2=\lambda/4$ . Но, кроме того, интерференция возможна также и между лучами №1 и №2, равно как и между лучами №2 и №3. Соответствующие условия максимумов интерференции будут тогда иметь вид:

$$\begin{cases} 2n_1d_1 + \lambda/2 = m_1\lambda \\ 2n_1d_2 - \lambda/2 = m_2\lambda \end{cases} \quad (*)$$

Здесь слагаемые  $\pm \lambda/2$  отражают набег фазы равный  $\pi$  при отражении луча №2 от оптически более плотного слоя с показателем преломления  $n_2$ . И снова, очевидно, если  $n_1d_1=n_2d_2=\lambda/4$ , то равенства становятся верными при  $m_1=1$  и  $m_2=0$ . Это означает, что в конструктивной (для отраженного света) интерференции участвуют не только лучи, отразившиеся от границ раздела, определяющих период структуры  $(n_1+n_2/n_1+n_2)$ , но и от "внутренних" границ, разделяющих слои  $n_1/n_2$ . И, таким образом, результирующий эффект в этом случае максимален – отражение от такого зеркала на соответствующей длине волны будет полным (в случае идеальной структуры). Если же теперь рассмотреть случай, когда  $n_1d_1 \neq n_2d_2 \neq \lambda/4$ , но при этом сохраняется условие  $n_1d_1+n_2d_2=\lambda/2$ , то, очевидно, условие Брэгга будет всё так же выполняться, а вот условия (\*) – нет. Таким образом, конструктивная интерференция для последней структуры уже не будет такой эффективной, как в первом случае, и, следовательно, коэффициент отражения понизится (тем больше, чем больше разница между оптическими толщинами слоев).

Для ответа на второй вопрос в дополнение к условиям (\*) следует записать условия минимумов интерференции в полном соответствии с вышеприведенными рассуждениями об отраженных лучах №1, №2 и №3. Получаем систему:

$$\begin{cases} 2n_1d_1 + \lambda/2 = (2k_1 + 1)\frac{\lambda}{2} \\ 2n_1d_2 - \lambda/2 = (2k_2 + 1)\frac{\lambda}{2} \end{cases}$$

Очевидно, что в случае  $n_1d_1=n_2d_2=\lambda/4$  эти равенства не выполнялись ни при каких целых значениях  $k_1$  и  $k_2$ . Однако, при  $n_1d_1=n_2d_2=\lambda/2$  условия уже становятся верными при  $k_1=1$  и  $k_2=0$ . Это означает, что будет наблюдаться взаимное гашение лучей №1 и №2, равно как и лучей №2 и №3. Следовательно, несмотря на то, что в случае  $n_1d_1=n_2d_2=\lambda/2$  формально условие Брэгга о максимуме в интерференции отраженных лучей №1 и №3 выполняется при  $m=2$ , реально сами эти лучи оказываются уже погашены за счет "внутренней" деструктивной (по отношению к отраженному свету) интерференции. Таким образом, в случае, если оптические толщины слоев взять равными  $\lambda/2$ , вместо полного отражения от такой структуры будет наблюдаться, наоборот, полное

пропускание (для идеально прозрачных слоев): "Брэгговское зеркало" не будет зеркалом как таковым.

## Биофизика клеточных мембран

1. По формуле Нернста потенциал между внутренней и внешней сторонами клеточной мембраны равен:

В.

$$\Delta\varphi = -\frac{RT}{zF} \ln C_{\text{внут}} - \left( -\frac{RT}{zF} \ln C_{\text{внеш}} \right) = -\frac{RT}{zF} \ln \frac{C_{\text{внут}}}{C_{\text{внеш}}} = -\frac{8,31 \cdot (273 + 36)}{1 \cdot 96485} \cdot \ln \frac{92}{5} \\ = -0,0775 \text{ В.}$$

2. 1) Рассчитаем емкость липидной мембраны

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 4\pi r^2}{d} = \frac{2,3 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot (5 \cdot 10^{-6})^2}{4 \cdot 10^{-9}} = 1,60 \cdot 10^{-12} \text{ Ф.}$$

2) Тогда величина заряда каждого знака на поверхности мембраны, если рассматривать ее как плоский конденсатор, равна

$$q = C \cdot \Delta\varphi = 0,0775 \cdot 1,60 \cdot 10^{-12} = 1,24 \cdot 10^{-13} \text{ Кл.}$$

3) Что отвечает

$$\frac{q}{F} = \frac{1,24 \cdot 10^{-13}}{96485} = 1,29 \cdot 10^{-18} \text{ моль ионов.}$$

4) Тогда изменение концентрации составляет

$$\Delta C_{K^+} = \frac{q/F}{V} = \frac{q/F}{(4/3)\pi r^3} = \frac{1,24 \cdot 10^{-18}}{(4/3) \cdot 3,14 \cdot (5 \cdot 10^{-6})^3} = 2,46 \cdot 10^{-3} \text{ моль/м}^3 = 2,46 \cdot 10^{-3} \text{ ммоль/л.}$$

5) Тогда доля ионов калия, перешедшая во внешнюю среду

$$\omega = \frac{2,46 \cdot 10^{-3}}{92} \cdot 100\% = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ \%}.$$

3. Напряженность электрического поля, под действием которого находится мембрана клетки, определяется разностью потенциалов между сторонами мембраны и толщиной данной мембраны:

$$|\vec{E}| = \frac{|q|}{\varepsilon\varepsilon_0 S} = \frac{C \cdot |\Delta\varphi|}{\varepsilon\varepsilon_0 S} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S |\Delta\varphi|}{\varepsilon\varepsilon_0 S d} = \frac{|\Delta\varphi|}{d} = \frac{0,0775}{4 \cdot 10^{-9}} = 1,94 \cdot 10^7 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

(то есть 19,4 мегавольт на метр).

## Прыгающие капли

1. Слияние двух капель в одну большую по размеру сопровождается уменьшением суммарной площади поверхности, и, соответственно, уменьшением поверхностной энергии капель. Именно за счет высвобождающейся поверхностной энергии капли подпрыгивают. Рассчитаем ее величину для сливающихся капель воды радиусом 7 мкм.

Сливающиеся капли одинаковы, поэтому  $V_2=2V_1$ , то есть,  $R_2 = \sqrt[3]{2R_1}$ , где  $R_1$  и  $R_2$  – радиусы исходных и итоговой капель, соответственно.

Суммарная энергия исходных капель:  $E_1 = 2\sigma S_1 = 8\pi\sigma R_1^2$ .

Энергия новой капли:  $E_2 = \sigma S_2 = 4\pi\sigma R_2^2 = 4\sqrt[3]{4}\pi\sigma R_1^2$ .

Высвобождающаяся энергия:

$$\Delta E = E_1 - E_2 = 8\pi\sigma R_1^2 - 4\sqrt[3]{4}\pi\sigma R_1^2 = 4\pi\sigma R_1^2(2 - \sqrt[3]{4}).$$

Подставив в эту формулу справочное значение поверхностного натяжения воды ( $\sigma = 72,86 \cdot 10^{-3}$  Н/м), находим:

$$\Delta E = 4 \cdot 3,14 \cdot 72,86 \cdot 10^{-3} \cdot 72 \cdot 10^{-6} \cdot 2 (2 - \sqrt[3]{4}) = 1,85 \cdot 10^{-11} \text{ (Дж)}.$$

2. Чтобы найти максимальную теоретическую высоту, на которую подпрыгнет итоговая капля, предположим, что вся выделяющаяся энергия переходит сначала в кинетическую, а потом в потенциальную:

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

$$v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4\pi\sigma R_1^2(2 - \sqrt[3]{4})}{\rho \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot 2 \cdot R_1^3}} = \sqrt{\frac{3\sigma(2 - \sqrt[3]{4})}{\rho \cdot R_1}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 72,86 \cdot 10^{-3} (2 - \sqrt[3]{4})}{1000 \cdot 7 \cdot 10^{-6}}} = 3,59 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$$

$$E = mgh, \quad h = \frac{E}{mg} = \frac{4\pi\sigma R_1^2(2 - \sqrt[3]{4})}{\rho \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot 2 \cdot R_1^3 \cdot g} = \frac{3\sigma(2 - \sqrt[3]{4})}{2\rho g} \cdot \frac{1}{R_1} = \frac{3 \cdot 72,86 \cdot 10^{-3} (2 - \sqrt[3]{4})}{2 \cdot 1000 \cdot 9,8} \cdot \frac{1}{7 \cdot 10^{-6}} =$$

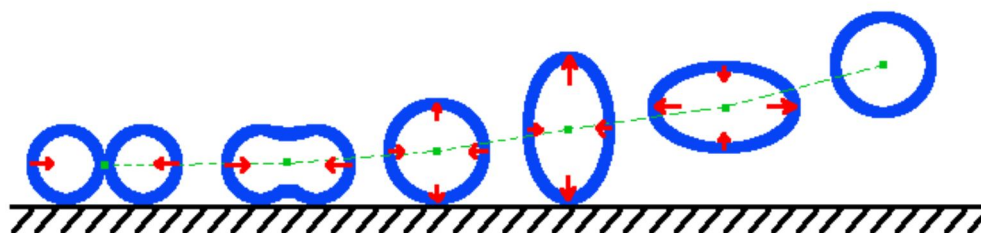
0,66 (м)



Из выведенных формул можно сделать важный вывод: чем больше радиус капель, тем меньше будет скорость и высота прыжка образующейся капли. То есть, энергия прыжка капель уменьшается с ростом радиуса, и для больших капель ее может не хватить для «отрыва» от поверхности. Поскольку реально капли подпрыгивают в среднем на несколько мм, в потенциальную энергию переходит лишь малая часть от всей высвобождающейся энергии. Куда может теряться энергия?

- Часть энергии тратится на отрыв капли от поверхности (преодоление сил адгезии);
- часть энергии рассеивается при вязком трении в сливающихся каплях, а также переходит в колебания и нагрев итоговой капли;
- механизм преобразования энергии поверхностного натяжения в кинетическую энергию капли (см. ниже) не подразумевает высокий КПД;
- часть кинетической энергии капли тратится на преодоление сопротивления воздуха;
- капля может прыгать не вертикально вверх.

### 3.



При соприкосновении двух капель образуется перемычка, объединяющая их содержимое в растущую новую каплю. «Стенки» этой капли начинают двигаться друг навстречу другу под действием силы поверхностного натяжения. Первоначально эта сила не имеет вертикальной составляющей, однако, поскольку в итоговой капле центр масс находится выше, чем в исходных каплях, под действием этой силы, стремящейся придать итоговой капле форму шара, центр масс начинает движение вверх и продолжает его по инерции после слияния капель.

Движущиеся друг навстречу другу капли сталкиваются с большой скоростью: при их столкновении возникает перпендикулярный поток, который может оттолкнуть каплю от поверхности. При этом ученые, исследовавшие феномен прыгающих капель, указывают, что растущая между каплями перемычка расширяется настолько быстро, что может отталкиваться даже от воздуха, находящегося под перемычкой.

4. На каждой стадии модификации происходит увеличение гидрофобности поверхности медной трубки. Первый этап синтеза – получение наноструктурированного «игольчатого» покрытия CuO позволяет достичь «эффекта лотоса». Вторым этапом – обработка гидрофобным фторированным силаном – приводит к формированию дополнительного гидрофобного нанопокрyтия, которое еще сильнее уменьшает смачивание.

На немодифицированной медной поверхности капли не прыгают, поскольку медь значительно сильнее смачивается водой, выделяющейся при сливании энергии недостаточно, чтобы «оторвать» каплю от поверхности.

5. Вода хуже проводит тепло, чем металл, поэтому при конденсации воды на простых медных трубках образование сплошной пленки снижает эффективность теплообмена и соответственно конденсации.

Модифицированные трубки имеют большую площадь, на которой может происходить конденсация водяного пара. Конденсации также дополнительно способствуют неровности поверхности (гетерогенная нуклеация). В то же время, растущие внутри «нанолеса» капли быстро перемещаются на кончики игл («эффект лотоса»), освобождая поверхность для дальнейшей конденсации.

На гидрофобной поверхности модифицированного теплообменника вода собирается в капли, что уменьшает площадь соприкосновения воды с трубкой – следовательно, высвобождает дополнительную поверхность теплообменника, повышая его эффективность. На гидрофобной поверхности под действием силы тяжести начинают скатываться более мелкие капли, что также дополнительно улучшает теплообмен и ускоряет конденсацию.

Поскольку капли после слияния «отскакивают» от поверхности, то этот механизм быстро освобождает охлаждающую поверхность (чтобы скатится с наклонных поверхностей, капле не нужно расти до более крупных размеров), скорость теплообмена возрастает, эффективность повышается.

## Сокровища горного тролля

1. Поскольку все драгоценности идеально смачиваемы, то они будут тонуть, а не плавать на поверхности воды, как писали некоторые участники. В тоже время, драгоценности тролля малы, поэтому объем вытесняемой ими воды тоже мал. Такие маленькие капли не могут оторваться из-за силы поверхностного натяжения (см. школьный опыт с бросанием скрепок в полный стакан воды).

2. Горный тролль решил воспользоваться методом седиментации. Этот метод основан на разделении частиц разного размера и плотности по скорости их осаждения из водной суспензии. На частицу в воде действуют три силы – сила тяжести и направленные в противоположную сторону сила Архимеда и сила вязкого трения (сила Стокса):

$mg = \rho_{H_2O}gV + 6\pi r\eta v$ . Когда силы уравниваются друг друга, частица движется с постоянной скоростью. В рамках данной задачи считаем, что равновесие наступает быстро.

3. Чем крупнее драгоценности и чем больше их плотность, тем быстрее они осаждаются на дно стакана, и наоборот.

Найдем скорость движения частиц:

$$\rho_{p-pa} \cdot \frac{4}{3}\pi r^3 g = \rho_{H_2O}g \frac{4}{3}\pi r^3 + 6\pi r\eta v, \quad 6\pi r\eta v = \frac{4}{3}\pi r^3 g(\rho_{p-pa} - \rho_{H_2O}),$$

$$v = \frac{2}{9}r^2 \frac{g(\rho_{p-pa} - \rho_{H_2O})}{\eta}.$$

Время полого осаждения – это время, необходимое для осаждения частицы с высоты всего столбы жидкости:

$$t = h/v = \frac{4,5 \cdot h \cdot \eta}{r^2 g(\rho_{p-pa} - \rho_{H_2O})} = \frac{18h\eta}{d^2 g(\rho_{p-pa} - \rho_{H_2O})}$$

Драгоценность	Диаметр d, нм	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Время t, с	Время t, сутки
алмазы	100	3,5	65681	7,6
	1000	3,5	6568	<1
	5000	3,5	263	<1
изумруды	100	2,7	96590	11,2
	1000	2,7	9659	<1

	5000	2,7	386	<1
ЗОЛОТО	100	19,5	88759	1,03
	1000	19,5	888	<1
	5000	19,5	35,5	<1

За сутки полностью осядут только частицы с размером 1 и 5 мкм.

4. Если бы у тролля была возможность попасть в лабораторию, то ему для разделения не осевших за сутки сокровищ понадобилась бы ультрацентрифуга. При больших скоростях вращения центрифуги осаждение происходит под действием центробежной силы, многократно превышающей силу тяжести.

## Физическая адсорбция

1. Физическую адсорбцию можно рассматривать как взаимодействие адсорбата и адсорбционного центра на поверхности адсорбента, протекающее с понижением энтропии. Как и при образовании любой, пусть даже самой слабой, связи, такой процесс сопровождается выделением энергии. Тепловой эффект физической адсорбции близок по величине к теплоте сжижения адсорбата.

При физической адсорбции атомы азота удерживаются на поверхности за счет сил Ван-дер-Ваальса, то есть, сил взаимодействия между диполями (постоянными и индуцированными (наведенными)).

Высокая температура способствует, благодаря увеличению энтропии, десорбции молекул газа с поверхности. Поэтому для эффективной адсорбции температура должна быть достаточно низкой, как правило, недалеко от температуры кипения. На атомы гелия будут действовать со стороны поверхности гораздо более слабые силы Ван-дер-Ваальса (температуры кипения азота и гелия составляют 77К и 4К, соответственно), поэтому для его значительной адсорбции понадобятся более низкие температуры.

Удалить адсорбированный азот можно вакуумированием Материала Икс, продуванием гелием либо нагреванием.

2. Степень заполнения поверхности, это, по определению, доля поверхности, занятая молекулами адсорбата:  $[N_2] = \theta$ .

Тогда доля свободных центров:  $[S] = 1 - \theta$  и  $K = \frac{[N_2]}{[S] \cdot p_{N_2}} = \frac{\theta}{(1-\theta)p_{N_2}}$ . Выражая  $\theta$ , получаем уравнение адсорбции  $\theta = \frac{Kp_{N_2}}{1+Kp_{N_2}}$  в общем виде (данное уравнение также носит название изотерма Ленгмюра).

Степень заполнения поверхности можно также определить как:  $n_{N_2} = n_{m(N_2)} \frac{Kp_{N_2}}{1+Kp_{N_2}}$ , где - количество (в моль) адсорбированного азота,  $n_{m(N_2)}$  - предельное количество (в моль) азота, которое может адсорбироваться на поверхности образца на поверхности образца при  $\theta = 1$ .

Тогда количество адсорбированного азота можно записать как  $n_{N_2} = n_{m(N_2)} \frac{Kp_{N_2}}{1+Kp_{N_2}}$ . Подставляя в данное уравнение значения, приведенные в условии, получаем систему из двух уравнений:

$$\begin{cases} n_1 = n_m \frac{Kp_1}{1+Kp_1} \\ n_2 = n_m \frac{Kp_2}{1+Kp_2} \end{cases}, \text{ решая которую, получаем}$$

$$K = \frac{n_2 p_1 - n_1 p_2}{p_1 p_2 (n_1 - n_2)} = \frac{(7 \cdot 1,5 - 3 \cdot 5,8) \cdot 10^{-3}}{1,5 \cdot 5,8 \cdot (3 - 7) \cdot 10^{-3}} = 0,198.$$

$$\text{То есть, } \theta = \frac{0,198 p_{N_2}}{1 + 0,198 p_{N_2}}.$$

Находим предельное количество азота  $n_{m(N_2)}$ , которое может быть адсорбировано на поверхности 5 г Материала Икс:

$$n_{m(N_2)} = \frac{n_{N_2}}{\theta} = n_{N_2} \frac{1 + K p_{N_2}}{K p_{N_2}} = 3 \cdot 10^{-3} \frac{1 + 0,198 \cdot 1,5}{0,198 \cdot 1,5} = 0,013 \text{ (моль)}$$

Удельная площадь поверхности – это общая площадь поверхности материала, отнесенная к его массе:  $S_{уд} = S / m$ .

$$\text{То есть, } S_{уд} = S'_{N_2} \cdot n_{m(N_2)} \cdot N_a / m = 16 \cdot 10^{-20} \cdot 0,013 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} / 5 = 250,5 \text{ м}^2 / \text{г}.$$

4. Реальная площадь поверхности может отличаться от рассчитанной исходя из модели обратимой физической адсорбции азота, если нарушаются допущения, сделанные в рамках данной модели:

- не вся поверхность адсорбента доступна для адсорбции (в материале присутствуют узкие по сравнению с размерами адсорбата и/или закрытые поры);

- нельзя пренебречь химическим взаимодействием адсорбата и поверхности адсорбента;

- центры адсорбции неравнозначны (например, поверхность адсорбента неоднородна);

- на одном адсорбционном центре может разместиться больше одной молекулы адсорбата (полимолекулярная адсорбция, адсорбция в несколько слоев).

5. Суммарный объем Материала Икс составляет  $V_{уд} + V_i = \frac{m}{\rho_2}$ ,

где  $V_{уд} = \frac{m}{\rho_2}$  – объем твердого вещества, а  $V_i = l_i \cdot \pi r_{cp}^2$  – суммарный объем пор в нем. Здесь:  $l_i$  – суммарная длина всех цилиндрических пор,  $r_{cp}$  – их средний радиус.

В свою очередь, удельная площадь поверхности всех пор в Материале Икс составляет  $S_{i(уд)} = \frac{2\pi l_i r_{cp}}{m} = S_{уд} - 6a^2 \approx S_{уд}$  ( $a$  – длина ребра куба из Материала Икс), поскольку площадью внешней поверхности образца Материала Икс можно пренебречь по сравнению с общей площадью поверхности пор ( $6a^2 = 6 \sqrt[3]{(5/1,1 \cdot 10^6)^2} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ ).

Таким образом, мы получаем систему из двух уравнений с двумя неизвестными:

$l_i \pi r_{\text{cp}}^2 = m \left( \frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_1} \right)$  и  $\frac{2\pi l_i r_{\text{cp}}}{m} = S_{\text{уд}}$ . Выразим из второго уравнения произведение  $l_i r_{\text{cp}} = \frac{S_{\text{уд}} m}{2\pi}$  и подставим его в первое:  $\frac{S_{\text{уд}} m}{2\pi} = m \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 \rho_2}$ . Тогда средний радиус пор в материале Икс равен  $r_{\text{cp}} = \frac{2(\rho_1 - \rho_2)}{S_{\text{уд}} \rho_1 \rho_2} = \frac{2(2,9 - 1,1)}{250,5 \cdot 2,95 \cdot 1,1 \cdot 10^6} = 4,6 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 4,6 \text{ нм}$ .

Следовательно, удельная общая длина пор в Материале Икс составляет:

$$\frac{l_i}{m} = \frac{(\rho_1 - \rho_2)}{\pi \rho_1 \rho_2 r_{\text{cp}}^2} = \frac{(2,95 - 1,1)}{3,14 \cdot 2,95 \cdot 1,1 \cdot 10^6 \cdot (4,6 \cdot 10^{-9})^2} = 8,6 \cdot 10^9 \text{ м/г}.$$

6. Материал Икс имеет большую удельную площадь поверхности и развитую систему пор нанометрового размера. Такие материалы могут найти применение для очистки и разделения газов, в качестве носителей катализаторов и хроматографических колонок, а также в качестве медицинских адсорбентов. Если все поры имеют одинаковый размер, то такой материал может быть использован в качестве молекулярного сита, как, например, цеолиты.

## Фотоионизация нанокластера: электростатическая модель

1. Работа по преодолению электростатического поля равна:

$A = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 R} = k \cdot \frac{q_1 q_2}{R}$ , где  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,99 \cdot 10^9 \text{ Н}\cdot\text{м}^2/\text{Кл}^2$  или при  $q_1 = q_2 = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$   $A = k \frac{q^2}{R} = k \frac{e^2}{R}$ . Тогда энергию отрыва одного электрона от незаряженного металлического шара можно записать как:  $E_1 = W + k \frac{e^2}{R}$ .

Энергия удаления  $m$  электронов может быть представлена как сумма энергий последовательного отрыва 1, 2, 3, 4, ...  $m$  электронов:

$$E_m = \sum_{i=1}^m (W + A_i) = \sum_{i=1}^m W + \sum_{i=1}^m A_i = mW + \sum_{i=1}^m k \frac{ie^2}{R} = mW + k \frac{m(m+1)e^2}{2R}$$

Заметим, что при  $m \gg 1$  последнее слагаемое  $k \frac{m(m+1)e^2}{2R}$  переходит в формулу для энергии заряженной сферы, известную из курса школьной физики:  $A = k \frac{m^2 e^2}{2R} = \frac{q^2}{2C}$ .

2. При выбивании электрона квантом света с длиной волны  $\lambda_{\max}$ , кинетическая энергия электрона на бесконечности будет равна нулю, то есть, энергия фотона будет равна энергии ионизации:  $E = h\nu_{\max} = \frac{hc}{\lambda_{\max}}$

$$\text{Отсюда } \lambda_{\max(cl)} = \frac{hc}{W + ke^2/R}.$$

В этой формуле слагаемое  $ke^2/R$  обратно пропорционально радиусу  $R$ . Для размеров около 1 нм оно имеет величину 1,44 эВ, что сравнимо с работой выхода  $W$ , в то время как уже для микрочастиц порядка 10 мкм его величиной ( $1,44 \cdot 10^{-4}$  эВ) по сравнению с  $W$  можно пренебречь.

Таким образом, для объемного образца  $\lambda_{\max} = hc/W$ .

1) Работа выхода для металлического натрия, по условию, составляет

$$W = 2,39 \text{ эВ} = 2,39 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 3,83 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

2) Радиус сферического кластера из  $N$  атомов можно записать как

$$R = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{3m}{4\pi\rho}} = \sqrt[3]{\frac{3NM}{4\pi\rho N_a}}$$

где  $M = 23 \text{ кг/моль}$  (молярная масса натрия в системе СИ),  $\rho = 971 \text{ кг/м}^3$  (плотность натрия в системе СИ) и  $N_a = 6,02 \cdot 10^{23}$  (число Авогадро). Тогда радиус кластера из 14000 атомов натрия равен



$$R = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 140000 \cdot 23 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 3,14 \cdot 971 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}} = 5,08 \cdot 10^{-9} \text{ (м) или } 5,08 \text{ нм}$$

3) Красная граница фотоэффекта равна

$$\lambda_{\max} = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 / 3,83 \cdot 10^{-19} = 5,19 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 519 \text{ нм.}$$

$$\lambda_{\max(\text{cl})} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3,83 \cdot 10^{-19} + 8,99 \cdot 10^9 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2 / 5,08 \cdot 10^{-9}} = 4,64 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 464 \text{ нм.}$$

Таким образом, для ионизации нанокластера требуется дополнительная энергия, тем больше, чем меньше размер кластера (что связано с маленькой электрической емкостью нанокластера).

4) Для макрообразца натрия потребуется лазер с длиной волны  $\lambda_{\max} = 519 \text{ нм}$  (зеленый), а для нанокластера  $\lambda_{\max(\text{cl})} = 464 \text{ нм}$  (синий).

3. Энергия удаления  $i$ -го электрона по уравнению  $Me_n^{(i+1)+} \rightarrow Me_n^{i+} + e^-$  (последовательная энергия ионизации) составляет разность энергий удаления  $i$  и  $i-1$  электронов

$$\begin{aligned} E'_i &= E_i - E_{i-1} = iW + k \frac{i(i+1)e^2}{2R} - (i-1)W - k \frac{(i-1)ie^2}{2R} \\ &= W + (i^2 + i - i^2 + 1) \frac{ke^2}{2R} = W + k \frac{ie^2}{R} \end{aligned}$$

4. Отрыв электронов от нанокластера будет происходить до тех пор, пока энергия квантов света лазера будет превосходить последовательный потенциал ионизации.

$$\text{То есть, } W + k \frac{i_{\max}e^2}{R} < \frac{hc}{\lambda} \text{ и } i_{\max} < \frac{R(hc/\lambda - W)}{ke^2}.$$

$$i_{\max} < \frac{5,08 \cdot 10^{-9} \left( 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot \frac{10^8}{2 \cdot 10^{-7}} - 3,83 \cdot 10^{-19} \right)}{8,99 \cdot 10^9 (1,6 \cdot 10^{-19})^2}$$

$i_{\max} < 13,50$ . Таким образом, максимальный заряд нанокластера составит 13.

## Миниатюрный радиопередатчик

Индуктивность катушки может быть оценена по формуле для бесконечно длинного соленоида:

$$L = \frac{\Phi}{I} = \mu\mu_0 n^2 V = \mu\mu_0 \frac{N^2}{l^2} S l = \mu\mu_0 \frac{N^2 \pi d^2}{l} = 1 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}} \cdot \frac{10^8 \pi \cdot 2^2 10^{-14} \text{м}}{4} \\ \approx 3,9 \cdot 10^{-12} = 3,9 \text{ пГн.}$$

где  $\mu = 1$ , т. к. стержень диэлектрический,  $S$  — площадь поперечного сечения катушки,  $l$  — длина, принятая равной 1 м.

Ёмкость цилиндрического конденсатора:

$$C = \frac{q}{U} = \frac{2 \pi \epsilon \epsilon_0 l}{\ln(2d/d)} = \frac{2 \pi \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}} \cdot 1 \text{м}}{\ln 2} \approx 80 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} = 80 \text{ пФ},$$

где  $\epsilon = 1$ , т. к. между обкладками воздух,  $l$  — длина, принятая равной 1 м.

Собственная частота колебаний

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \sqrt{\frac{\ln(2d/d)}{2 \pi \mu\mu_0 \epsilon \epsilon_0 N^2 S}} \approx 5,6 \cdot 10^{10} \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

$\nu = \frac{\omega}{2\pi} \approx 8,9 \text{ ГГц}$ . Следует обратить внимание, что  $l$  сократилась.

Максимальная плотность тока, по определению есть отношение максимальной силы тока к площади сечения провода. А максимальная сила тока в  $\omega$  раз больше максимального заряда на обкладках. Эта связь может быть получена, как из закона сохранения энергии, так и из определения силы тока, как производной заряда по времени. Окончательно:

$$j_{max} = \frac{I_{max}}{S_{проводов}} = \frac{\omega \cdot q_{max}}{S_{проводов}} = 18,7 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} = 18,7 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}.$$

## Оптическая спектроскопия наноструктур

1. Длина волны  $\lambda=1/\nu$  меняется в пределах от 833 нм, что соответствует 12000 см<sup>-1</sup>, до 1,6 мкм, что, в свою очередь, соответствует 6000 см<sup>-1</sup>. Это **ближний инфракрасный диапазон** (ИК).

2. Наблюдаемое явление называется **интерференцией** волн, которая в данном случае наблюдается в ИК области. Интерferируют когерентные лучи  $I'$  и  $I''$ , разделившиеся в тонкой пленке.

Понять, почему положение максимумов и минимумов при отражении под разными углами не совпадают можно, взглянув на схематический рисунок. **Оптическая разность**

**хода лучей  $I'$  и  $I''$**  набегают внутри пленки и в воздухе, **определяется выражением:**

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha)} = 2dn \cos \beta,$$

где  $\alpha$  — угол падения,  $\beta$  — угол преломления,  $d$  — толщина пленки,  $n$  — показатель преломления пленки.

Из приведенного выражения видно, что значение оптической разности хода меняется в зависимости от угла падения. Если для некоторой длины волны выполнялось условие максимума при падении под одним углом, то при падении под большим углом, условие максимума будет выполняться для меньшей длины волны, т. е. большего волнового числа.

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} = m \cdot \lambda = m/\nu$$

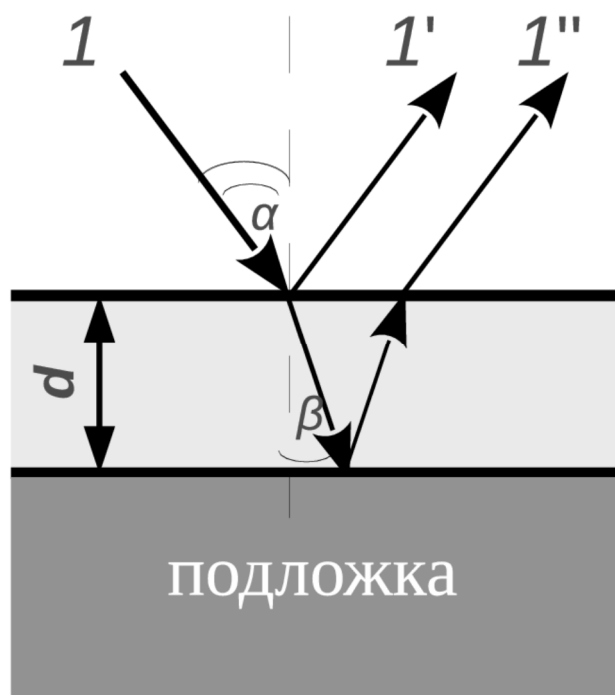
3. Для определения показателя преломления и толщины пленки удобнее всего построить зависимость порядка интерференции от волнового числа. В этих координатах зависимость носит линейный характер, а оптическая разность хода определяет коэффициент наклона прямой. Скачок фазы, который может возникнуть при отражении от оптически более плотной среды, не меняет расстояния между соседними максимумами, т. е. наклон прямой.

Обозначив наклон одной прямой за  $t_1 = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_1}$ , а за  $t_2 = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_2}$  другой, после преобразований получим выражение для показателя преломления:

$$n = \frac{t_2^2 \sin^2 \alpha_1 - t_1^2 \sin^2 \alpha_2}{t_2^2 - t_1^2}$$

Определенные из графиков  $t_1 = 5,77 \cdot 10^{-4}$  см для  $\alpha_1 = 45^\circ$ , и  $t_2 = 5,93 \cdot 10^{-4}$  см для  $\alpha_2 = 13^\circ$ , дают  $n \approx 3,1$ .

Для нахождения толщины  $d = \frac{t_2}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha_2}}$ .



## МАТЕМАТИКА (ЗАОЧНЫЙ ТУР)

### Изотопы в масс-спектре

Поскольку в масс-спектре нет пиков с массой меньше  $M$ , то этому пику соответствует самая легкая молекула полиэтиленгликоля  $\text{HO}[\text{C}_2\text{H}_4\text{O}]_n\text{-H}$ , т.е. такая, в которой все  $2n$  атомов углерода являются легкими изотопами  $^{12}\text{C}$ . Тогда пику с массой  $M+1$  соответствует молекула, в которой содержится один атом  $^{13}\text{C}$  и  $2n-1$  атомов  $^{12}\text{C}$  (аналогично, пику  $M+2$  соответствуют два атома  $^{13}\text{C}$  в молекуле, и т.д.).

Интенсивности изотопных пиков  $M$ ,  $M+1$ ,  $M+2$ ,  $M+3$ , ... в масс-спектре полиэтиленгликоля будут пропорциональны вероятностям встретить в природной смеси, соответственно, моноизотопную молекулу ПЭГ ( $M$ ), молекулы с одним ( $M+1$ ), двумя ( $M+2$ ), тремя ( $M+3$ ) и т.д. «тяжелыми» атомами углерода  $^{13}\text{C}$ . В свою очередь, соотношение интенсивностей любых двух пиков будет равно соотношению вероятностей встретить в природной смеси отвечающие им молекулы.

Вероятность того, что произвольный атом углерода окажется изотопом  $^{13}\text{C}$ , составляет 1,1% (и 98,9% того, что он окажется  $^{12}\text{C}$ ). Это же утверждение справедливо и для любого из  $2n$  атомов углерода в молекуле  $\text{HO}[\text{C}_2\text{H}_4\text{O}]_n\text{-H}$ . Таким образом, вероятность того, что молекула ПЭГ состоит только из «легких» атомов углерода  $^{12}\text{C}$ , составляет  $P(M) = (0,989)^{2n}$ .

Вероятность того, что молекула  $\text{HO}[\text{C}_2\text{H}_4\text{O}]_n\text{-H}$  содержит  $x$  атомов углерода  $^{13}\text{C}$ , составляет  $P(M+x) = (0,989)^{2n-x} (0,011)^x C_{2n}^x = (0,989)^{2n-x} (0,011)^x \frac{(2n)!}{x!(2n-x)!}$ ,

где  $C_{2n}^x$  - комбинаторное сочетание из  $2n$  элементов по  $x$  элементов, то есть, количество вариантов расположения  $x$  атомов  $^{13}\text{C}$  в цепочке из  $2n$  атомов углерода молекулы ПЭГ.

Таким образом, соотношение интенсивностей пиков  $M$  и  $M+x$  будет равно:

$$\frac{P(M+x)}{P(M)} = \left(\frac{0,011}{0,989}\right)^x \frac{(2n)!}{x!(2n-x)!}. \text{ По условию, для пиков } M \text{ и } M+1 \text{ соотношение } \frac{P(M+1)}{P(M)} = 1, \text{ то есть } \frac{0,011}{0,989} \cdot \frac{2n!}{1!(2n-1)!} = 1 \text{ или } \frac{0,011}{0,989} \cdot 2n = 1 \text{ и } n = \frac{0,989}{0,011 \cdot 2} \approx 45.$$

2) Для пиков  $M$  и  $M+2$  соотношение интенсивностей равно:

$$\frac{P(M+2)}{P(M)} = \left(\frac{0,011}{0,989}\right)^2 \frac{(2n)!}{2!(2n-2)!} = \left(\frac{0,011}{0,989}\right)^2 45(2 \cdot 45 - 1) = 0,495,$$

т.е. интенсивность пика **M+2** составляет примерно 0,495 от интенсивности пика **M**.  
Правильность данного расчета наглядно подтверждается спектром, приведенным в  
условии.

## Медная нанотрубка

Обозначим радиус атома меди  $a$ .

1. Диаметр трубки равен  $6a = 6 \cdot 0,128 = 0,768$  нм, что соответствует большой диагонали шестиугольника ( $2 \cdot 2a$ ) плюс два радиуса атома меди (рис. а) или трем диаметрам атома меди (рис. б).

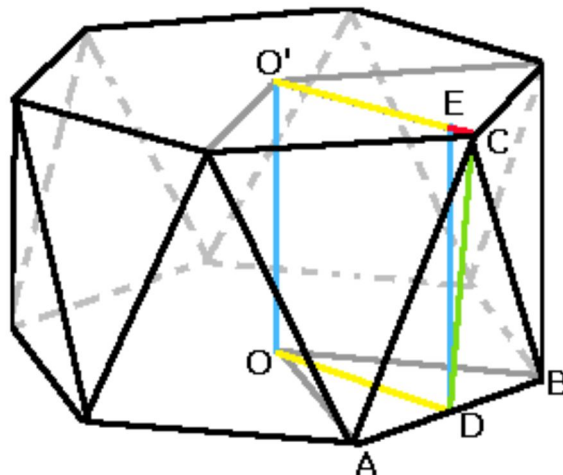
2. 1) Если мы поместим в центр трубки, полученной последовательным наложением шестиугольников из атомов меди, еще один атом, то он будет касаться первого слоя атомов на высоте  $a$ . Расстояние между центрами таких атомов, объединенных в плотно касающуюся цепочку, составит  $2a$ .

2) Вертикальное расстояние между соседними слоями атомов меди в трубке будет равно высоте  $H = OO' = ED$  шестиугольной антипризмы, вершины которой совпадают с центрами атомов меди, а ребра равны расстоянию между центрами касающихся шаров  $AB = AC = BC = O'C = 2a$ .

Рассмотрим  $\triangle CDE$ .  $DC = OD = EO' = h$ ,  $h = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2a = a\sqrt{3}$  - высота правильного треугольника со стороной  $2a$ .  $CE = O'C - EO' = 2a - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2a = a \cdot (2 - \sqrt{3}) = b$ .

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

3) Очевидно, что расстояние между слоями в трубке  $2a\sqrt{\sqrt{3} - 1}$  не имеет целочисленного общего кратного с расстоянием между атомами в центральной цепочке  $2a$ , следовательно, касание невозможно нигде, кроме первого слоя.



## Интеркаляты. Графит

1. Поскольку внедрение происходит между всеми слоями, то формула, справедливая для одного слоя, будет верна и для всего материала в целом. Рассчитаем соотношение атомов металла и углерода в одном графитовом слое.

1) Запишем выражение для нахождения длины вектора  $\vec{R} = n\vec{r}_1 + m\vec{r}_2$ :

$$\begin{aligned} |\vec{R}|^2 &= |n\vec{r}_1|^2 + |m\vec{r}_2|^2 - 2|n\vec{r}_1||m\vec{r}_2| \cos(120) = 3n^2a^2 + 3m^2a^2 - 2 \cdot 3a^2 n \cdot m(-0,5) \\ &= 3a^2(n^2 + n \cdot m + m^2), \end{aligned}$$

где длина радиус-вектора равна  $|\vec{r}_1| = |\vec{r}_2| = 2a \cos(30) = a\sqrt{3}$  ( $a$  – длина стороны шестиугольника).

2) Площадь треугольника со стороной  $|\vec{R}|$  равна  $S = 0,5|\vec{R}|^2 \sin(60)$ . На этот треугольник приходится  $3/6 = 0,5$  атома металла. Тогда один атом металла приходится на площадь, равную

$$S_{Me} = S/0,5 = 2 \cdot S = 2 \cdot 0,5|\vec{R}|^2 \sin(60) = 3a^2(n^2 + nm + m^2) \sin(60).$$

3) На шестиугольник площадью приходится  $6/3 = 2$  атома углерода. Тогда один атом углерода приходится на площадь, равную

$$S_C = \frac{S_6}{2} = \frac{3a^2 \sin(60)}{2} = 1,5a^2 \sin(60).$$

4) Соотношение атомов металла и углерода в интеркаляте обратнопропорционально соотношению площадей, приходящихся на соответствующий атом:

$$\frac{n_C}{n_{Me}} = x = \frac{S_{Me}}{S_C} = \frac{3a^2(n^2 + nm + m^2) \sin(60)}{1,5a^2 \sin(60)} = 2(n^2 + nm + m^2).$$

Таким образом, общая формула интеркалята:  $MeC_{2(n^2+nm+m^2)}$ .

2. Максимальное теоретическое содержание металла в интеркаляте соответствует минимальному значению  $x$ . Минимальное четное (так как в общей формуле присутствует множитель 2) значение  $x = 2$ . Выражение  $2(n^2 + nm + m^2) = 2$ , справедливо для двух пар индексов: (1, 0) /или, что эквивалентно (0, 1)/, что соответствует расположению атомов металла в центрах всех шестиугольников.

Ответ:  $MeC_2$ , (1, 0) или (0, 1).



3. Для соединения  $\text{LiC}_6$   $2(n^2 + nm + m^2) = 8$  и  $(n^2 + nm + m^2) = 3$ . Последнее выражение справедливо только при  $\mathbf{n} = \mathbf{m} = 1$ .

Для соединения  $\text{KC}_8$   $2(n^2 + nm + m^2) = 8$  и  $(n^2 + nm + m^2) = 4$ . Последнее выражение справедливо только при  $\mathbf{n} = 0$  или  $\mathbf{m} = 0$ . Тогда, соответственно, второй индекс равен  $\sqrt{4} = 2$ .

Ответ:  $\text{LiC}_6(1, 1)$ ;  $\text{KC}_8(2, 0)$  или  $(0, 2)$ .

4. Если внедрение металла происходит через каждые  $y$  слоев графита, то на один атом металла приходится в  $y$  раз больше атомов углерода, чем при внедрении в каждом слое, то есть  $\frac{n_c}{n_{Me}} = 2y(n^2 + nm + m^2)$  или  $\text{MeC}_{2y(n^2+nm+m^2)}$ .

## Считаем изомеры галогенфуллере́на

1. 1) В фуллере  $C_{70}$  имеется 7 неэквивалентных атомов, по 10 атомов каждого типа:

(1) атомы в вершинах торцевых пятиугольников; (2) атомы в вершинах остальных пятиугольников, соседствующие по ребру с торцевыми пятиугольниками; (3),(4) и (5),(6) две пары зеркальных изомеров, остальные атомы неторцевых пятиугольников; (7) атомы на границе трех шестиугольников, лежащие на «центральной поясе» молекулы  $C_{70}$ .

2) Число неэквивалентных атомов при галогенировании не изменится только в том случае, если атомы галогена будут присоединены ко всем атомам углерода одного из типов. То есть,  $x = 10n$ , где  $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ .

$n$	1	2	3	4	5	6	7
$C_{70}Hal_x$	$C_{70}Hal_{10}$	$C_{70}Hal_{20}$	$C_{70}Hal_{30}$	$C_{70}Hal_{40}$	$C_{70}Hal_{50}$	$C_{70}Hal_{60}$	$C_{70}Hal_{70}$
$C_7^n$	$\frac{7!}{1!6!} = 7$	$\frac{7!}{2!5!} = 21$	$\frac{7!}{3!4!} = 35$	$\frac{7!}{3!4!} = 35$	$\frac{7!}{2!5!} = 21$	$\frac{7!}{1!6!} = 7$	1

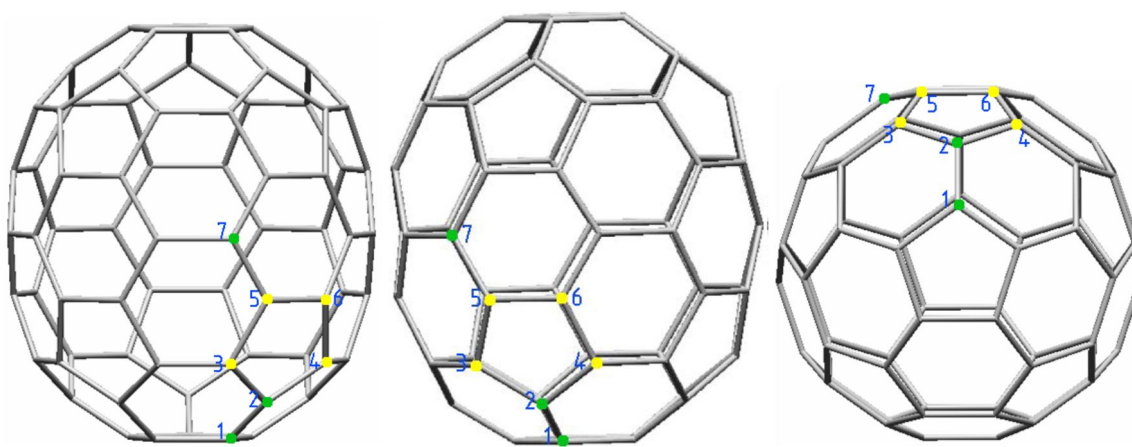


Рисунок. Вид на фуллерен  $C_{70}$  с разных направлений. Отмечены неэквивалентные атомы.

## Золотая пирамида

1. Тетраэдрический кластер с длиной ребра  $n$  атомов золота можно рассматривать как совокупность  $n$  треугольных слоев с общим числом атомов  $N(n) = \sum_1^n M(m)$ , где  $M(m)$  – число атомов в слое с номером  $m$ .

Для вывода зависимости  $M(m)$  запишем число атомов в нескольких первых слоях:

$$M(1) = 1$$

$$M(2) = 1 + 2 = 3$$

$$M(3) = 1 + 2 + 3 = 3 + 3 = 6$$

$$M(4) = 1 + 2 + 3 + 4 = 6 + 4 = 10$$

...

Как можно видеть, число атомов в слое с номером  $m$  представляет собой сумму простейшей арифметической прогрессии:

$$M(m) = M(m-1) + m = \sum_1^m k = \frac{m(m+1)}{2}$$

Тогда число атомов в кластере в зависимости от числа слоев как:

$$\begin{aligned} N(n) &= \sum_1^n \sum_1^m k = \sum_1^n \frac{m(m+1)}{2} = \frac{1}{2} \sum_1^n (m^2 + m) = \frac{1}{2} \left( \sum_1^n m^2 + \sum_1^n m \right) \\ &= \frac{1}{2} \left( \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} + \frac{n(n+1)}{2} \right) \\ N(n) &= \frac{1}{12} (n(n+1)(2n+1) + 3n(n+1)) = \frac{2n^3 + n^2 + 2n^2 + n + 3n^2 + 3n}{12} \\ &= \frac{n^3 + 3n^2 + 3n}{6} \end{aligned}$$

2. Радиус описанной вокруг тетраэдрического кластера сферы равен  $R = \frac{\sqrt{6}}{6}a + r$ , где  $a=2r(n-1)$  – длина ребра тетраэдра, вершины которого совпадают с центрами атомов, лежащих в вершинах кластера. То есть,  $R = \frac{\sqrt{6}}{2}(n-1)r + r$  и  $r = \frac{2}{\sqrt{6}} \left( \frac{R}{r} - 1 + \frac{\sqrt{6}}{2} \right)$ ,

$$n = \frac{2}{\sqrt{6}} \left( \frac{3,5}{0,144} - 1 + \frac{\sqrt{6}}{2} \right) = 20,03 \approx 20.$$

Тогда в искомом кластере  $N(20) = \frac{20^3 + 3 \cdot 20^2 + 2 \cdot 20}{6} = 1540$  атомов золота.

## Фуллереновый конструктор: низшие фуллерены

1. Теорема Эйлера для произвольного выпуклого многогранника:  $V - P + \Gamma = 2$ .

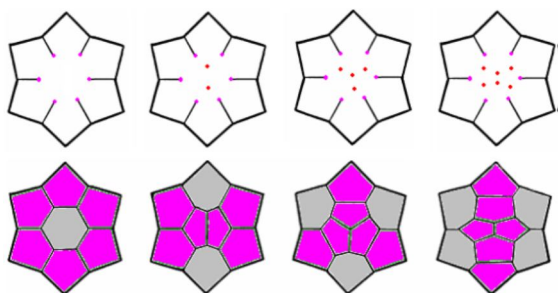
Для многогранника, состоящего из пяти- и шестиугольников, в каждой вершине которого сходятся по 3 ребра, теорему Эйлера можно записать как:  $(5*\Gamma_5 + 6*\Gamma_6)/3 - (5*\Gamma_5 + 6*\Gamma_6)/2 + \Gamma_5 + \Gamma_6 = 2$ . Упрощая, получаем  $\Gamma_5 = 12$ , то есть, число пятиугольников равно 12, а количество шестиугольников может быть произвольным.

Общее число вершин в таком выпуклом многограннике составляет  $n = (5*\Gamma_5 + 6*\Gamma_6)/3 = 20 + 2*\Gamma_6$ .

2. При приведенном в условии способе склейки шапочек по ребрам, количество пяти- и шестиугольников итогового фуллерена равно их суммарному числу в шапочках. Таким образом, соединя шапочки с 1, 2, 3 и 4 шестиугольниками, мы получим фуллерены с 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 шестиугольниками:  $C_{24}, C_{26}, C_{28}, C_{30}, C_{32}, C_{34}, C_{36}$ .

Поскольку  $n = 20 + 2*\Gamma_6$ , то, если зафиксировать одну из половинок-шапочек фуллерена и добавить один шестиугольник во вторую половинку-шапочку, в итоговый фуллерен (а значит, и внутрь шапочки) добавятся 2 вершины.

Шапочка с одним шестиугольником получится, если соединить все шесть внутренних вершин. Чтобы построить оставшиеся шапочки (с 2, 3 и 4 шестиугольниками), необходимо добавить внутрь шаблона дополнительно 2, 4 и 6 вершин, соответственно. При этом их необходимо расположить внутри шаблона так, чтобы они замкнули 6 пятиугольников и соответствующее количество шестиугольников:



Из комбинаций таких шапочек можно построить низшие фуллерены с формулами  $C_{24}$ -  $C_{36}$ .

## Капсид – белковая оболочка вируса

1. При удалении из листа протомеров двух или трех рядом лежащих секторов получаются капсиды в виде октаэдра и тетраэдра, соответственно.

Икосаэдр является более «вместительным», чем октаэдр и тетраэдр: при одинаковой площади поверхности (а значит, при равном количестве протомеров) капсид икосаэдрической формы имеет наибольший объем, то есть, наиболее приближен к сфере. То есть, вирусам октаэдрический или тетраэдрические капсиды строить невыгодно: для получения одного и того же внутреннего объема потребуется больше протомеров. К тому же, для капсидов в виде октаэдра и тетраэдра сильнее нарушается принцип однотипной упаковки капсомеров – создаются большие искажения плоской геометрии листа.

2. В самом простом икосаэдрическом капсиде треугольная грань икосаэдра состоит только из одного триангуляционного треугольника (*простейшего симметричного треугольника из трех протомеров*). Количество таких треугольников будет равно количеству граней икосаэдра, т.е. 20. Таким образом, он состоит из  $20 \cdot 3 = 60$  протомеров. Капсомерами будут 12 пентонов (по числу вершин икосаэдра).

3. Аналогом  $C_{60}$  будут вирусы с капсидом ТЗ (*то есть, на одну грань икосаэдра приходится 3 триангуляционных треугольника, каждый из которых состоит из трех протомеров, например, нодавирус из условия данной задачи*). Такой капсид состоит из 12 пентонов и 20 гексонов.

Среди капсидов вирусов аналог фуллерена  $C_{70}$  не получил распространения, поскольку, во-первых, он не состоит, как икосаэдр, из одинаковых треугольников (то есть, для его построения потребуется больше информации), и, во-вторых, менее вместителен, чем икосаэдрические капсиды.

4. Самая распространенная ошибка при подсчете протомеров – пентоны и гексоны состоят из пяти и шести протомеров, а не из пяти и шести триангуляционных треугольников (см. рис. 1 в условии задачи). Каждый протомер одновременно принадлежит и капсомеру, и триангуляционному треугольнику. В свою очередь, каждый триангуляционный треугольник объединяет три протомера из трех разных соседних капсомеров и является **наименьшей симметричной** единицей в структуре

капсида (некоторые участники при слишком тщательном анализе моделей вирусов в условии за триангуляционный треугольник принимали отдельные протомеры, но они не являются симметричной структурной единицей). Величиной триангуляции называется число триангуляционных треугольников, приходящееся на каждую из 20ти треугольных граней икосаэдра.

а) Капсид аденоассоциированного вируса можно разбить либо на 12 пентонов, либо на 20 треугольных ассоциатов (рис. 1а), то есть, всего  $12 \cdot 5 = 20 \cdot 3 = 60$  протомеров. Треугольная грань совпадает с равносторонним треугольником из трех протомеров – то есть, это простейший капсид, величина триангуляции равна 1.

60 протомеров,  $T = 1$  (рис. 2а). Пентоны – 12, гексоны – 0.

б) 1 вариант (Рис. 1б, тонкие жёлтые, оранжевые, красные линии). При разбиении капсида нодавируса на равносторонние треугольники можно заметить, что он сложен из 12 одинаковых групп, каждая из которых образована пятью равносторонними треугольниками, что дает нам  $12 \cdot 5 \cdot 3 = 180$  протомеров, образующих капсид. Число пентонов всегда равно 12-ти. Число гексонов можно рассчитать по формуле:  $(180 - 12 \cdot 5) / 6 = 20$ . Значение триангуляции –  $T = 180 / 60 = 3$ .

2 вариант (Рис. 1б, голубая линия). Выделив треугольную грань икосаэдра (треугольник, вершины которого совпадают с центрами пентонов) на поверхности капсида нодавируса, можно видеть, что на нее приходится  $6 \cdot 1/2 = 3$  равносторонних треугольника, то есть, триангуляция равна 3. Число протомеров равно  $60 \cdot T = 60 \cdot 3 = 180$ . Расчет числа пентонов и гексонов аналогичен.

180 протомеров,  $T = 3$  (рис. 2б). Пентоны – 12, гексоны – 20.

в) При выделении треугольной грани икосаэдра (треугольник, вершины которого совпадают с центрами пентонов) на поверхности капсида тогавируса можно видеть, что она состоит ровно из 4х равносторонних треугольников (рис. 1в), то есть, триангуляция равна четырём. Число протомеров  $60 \cdot 4 = 240$ . Число пентонов 12, число гексонов  $(240 - 12 \cdot 5) / 6 = 30$ .

240 протомеров,  $T = 4$  (рис. 2в). Пентоны – 12, гексоны – 30.

г) Анализируя капсид подовируса, можно заметить, что он сложен из 12 одинаковых элементов, каждый из которых представляет собой пентон, окруженный пятью гексонами (рис. 1г). Следовательно, общее число протомеров равно  $12 \cdot (5 + 5 \cdot 6) = 420$ . Триангуляция равна  $420 / 60 = 7$ . Число пентонов – 12, число гексонов  $(420 - 12 \cdot 5) / 6 = 60$ .

420 протомеров,  $T = 7$  (рис. 2г). Пентоны – 12, гексоны – 60.

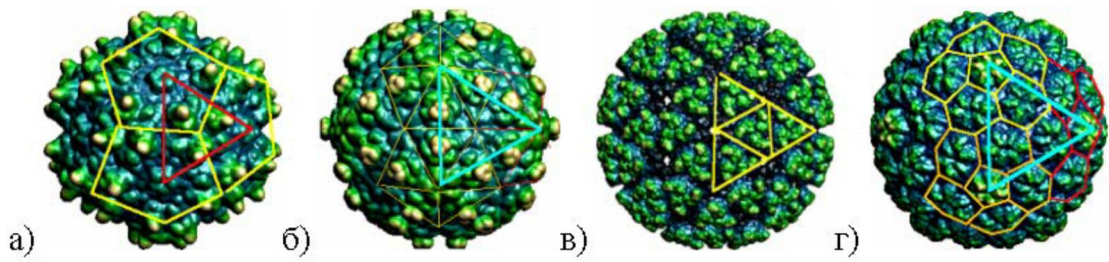


Рис 1. К решению для а) аденоассоциированного вируса, б) нодавируса, в) тогавируса, г) подовируса.

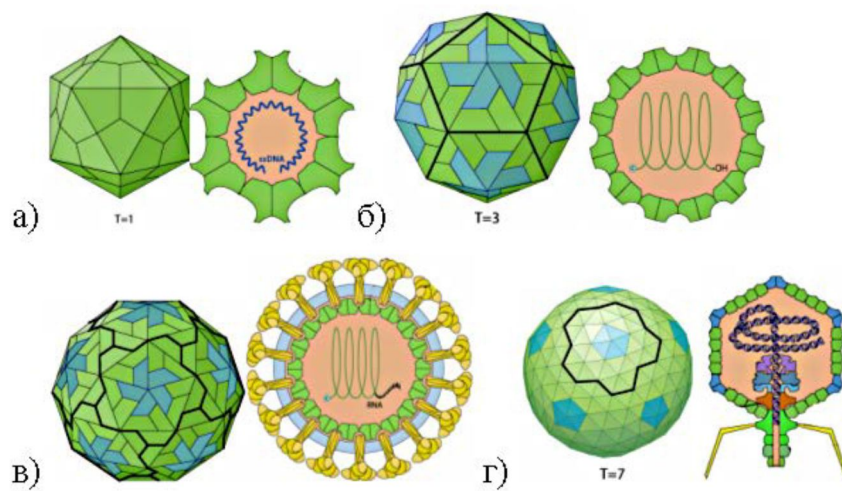


Рис. 2. Триангуляция капсидов а) аденоассоциированного вируса, б) нодавируса, в) тогавируса, г) подовируса.

## Икосаэдрическая матрешка

1. 1) Два типа икосаэдрических фуллеренов, задаваемых наборами индексов  $(x, x)$  и  $(x, 0)$ , имеют в своей структуре  $N_1 = 60x^2$  и  $N_2 = 20x^2$  атомов, соответственно.

2) Для каждого из типов запишем общую формулу как функцию от числа слоев, если в структуре присутствуют все последовательные слои:

$$N_1(x) = 60 \sum_{k=1}^x k^2 = 60 \frac{x(x+1)(2x+1)}{6} = 10x(x+1)(2x+1)$$

$$N_2(x) = 20 \sum_{k=1}^x k^2 = 20 \frac{x(x+1)(2x+1)}{6} = \frac{10}{3} x(x+1)(2x+1)$$

2. 1) Расстояние между гранями последовательно вставленных друг в друга икосаэдров – это разность между радиусами вписанных в них окружностей  $r_i = \frac{3+\sqrt{5}}{4\sqrt{3}} c$ , где  $c$  – длина ребра икосаэдра.

2) Длина ребра икосаэдра равна длине радиус-вектора, задающего икосаэдрический фуллерен  $\vec{R} = n\vec{r}_1 + m\vec{r}_2$ :

$$\begin{aligned} |\vec{R}|^2 &= |n\vec{r}_1|^2 + |m\vec{r}_2|^2 - 2|n\vec{r}_1||m\vec{r}_2| \cos(120^\circ) = 3n^2d^2 + 3m^2d^2 - 2 \cdot 3d^2n \cdot m(0,5) \\ &= 3d^2(n^2 + nm + m^2), \end{aligned}$$

где  $|\vec{r}_1| = |\vec{r}_2| = 2d \cos(30^\circ) = d\sqrt{3}$  (длина единичного вектора, равная длине малой диагонали в правильном шестиугольнике) и  $d$  – длина стороны шестиугольника.

То есть,  $c = |\vec{R}| = d\sqrt{3(n^2 + nm + m^2)}$  и

$$r_i = \frac{3+\sqrt{5}}{4\sqrt{3}} c = \frac{3+\sqrt{5}}{4\sqrt{3}} \cdot d \sqrt{3(n_i^2 + n_i m_i + m_i^2)},$$

$$\begin{aligned} r_i &= \frac{3+\sqrt{5}}{4\sqrt{3}} \cdot d \sqrt{3(n_i^2 + n_i m_i + m_i^2)} = \frac{0,142(3+\sqrt{5})}{4} \sqrt{n_i^2 + n_i m_i + m_i^2} \\ &= 0,186 \sqrt{(n_i^2 + n_i m_i + m_i^2)} \end{aligned}$$

По условию  $r_{i+1} - r_i = \text{const}$ ,

$$r_{i+1} - r_i = 0,186 \left( \sqrt{(n_{i+1}^2 + n_{i+1} m_{i+1} + m_{i+1}^2)} - \sqrt{(n_i^2 + n_i m_i + m_i^2)} \right).$$

3) Для первого типа матрешек  $r_{i+1} - r_i = 0,186\sqrt{3}(n_{i+1} - n_i) = 0,322(n_{i+1} - n_i)$ , то есть, при последовательном заполнении расстояние между треугольными гранями последовательно вложенных икосаэдрических фуллеренов в  $0,335/0,322 = 1,04$  раза меньше, чем в графите.



Для второго типа  $r_{i+1} - r_i = 0,186\sqrt{3}(n_{i+1} - n_i)$ , то есть, при последовательном заполнении расстояние между треугольными гранями последовательно вложенных икосаэдрических фуллеренов в  $0,335/0,186=1,80$  раза меньше, а при заполнении с шагом 2 по  $n - 2*0,186/0,335=1,11$  раза больше, чем в графите.

4) Поскольку расстояние между слоями в матрешке из фуллеренов первого типа наиболее приближено к расстоянию между слоями графита, то предпочтительно должен образовываться именно этот тип «луковичных» фуллеренов.

3. Углерод в состоянии гибридизации  $sp^2$  предпочитает плоское расположение всех трех связей (углы между связями 120 градусов, соответствуют углам между ребрами в сетке шестиугольников – графите). Самые маленькие фуллерены второго и первого типов –  $C_{20}$  и  $C_{60}$ . Фуллерен  $C_{20}$  состоит только из пятиугольников (сильно напряжен и неустойчив),  $C_{60}$  – первый из фуллеренов, который не содержит соединенные по граням пятиугольники (чем обуславливается его повышенная стабильность). Поэтому, логично ожидать, что матрешка будет формироваться, начиная с самого стабильного фуллерена –  $C_{60}$ .

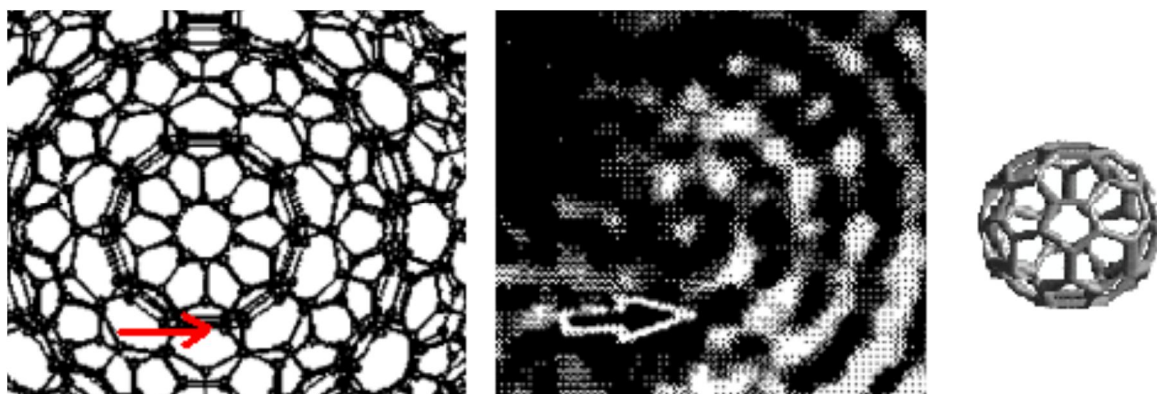
4. Сначала необходимо понять, каким образом развернут икосаэдр на двух проекциях рис.1б. По общему силуэту проекций моделей рис 1б, очевидно, что первая проекция – расположение икосаэдра на треугольной грани, вторая – на пятиугольнике. ПЭМ изображение в целом и его отдельные детали похожи на изображение проекции «луковицы» на пятиугольнике.

Зная из условия, что фуллерен в центре икосаэдрический, необходимо его установить.

а) можно примерно оценить размер внутреннего фуллерена (0,7 - 1нм), что неплохо совпадает с размерами  $C_{60}$  (от 0,7 нм между центрами атомов до Ван-дер-ваальсова радиуса 1 нм).

б) Также можно определить расстояния между слоями (порядка  $\sim 0,3$  нм), что согласуется с тем, что матрешка состоит из  $(n,n)$  икосаэдрических фуллеренов.

в) на врезке рис.1а условия видно, что стрелочкой помечены пятна муара, возникающие в местах «скоплений» атомов, если внутренний фуллерен рассматривать со стороны пятиугольника. Количество и расположение этих пятен в первом и втором слоях модели (10 и 20) неплохо соотносится со врезкой ПЭМ:



Значит, на модели и ПЭМ изображении представлены одинаковые типы икосаэдрических фуллеренов, а также одинаковы внутренние фуллерены матрешек. Из проекции модели со стороны пятиугольника (рис.1б) видно, что вершины близлежащих пятиугольников от вершин центрального пятиугольника находятся на расстоянии одной С-С связи – т.е. для этого фуллерена  $(m,n) = (1,1)$ , фуллерен  $C_{60}$ . Это можно было установить, просто сравнив проекцию внутреннего фуллерена рис. 1б с видом фуллерена  $C_{60}$  со стороны пятиугольника.

## Медно-фосфорный многогранник

1. Из строения структурных фрагментов, приведенных в условии, следует ограничение на соотношение количества атомов фосфора и меди в каркасе: на каждые 4 атома Р приходится 4/3 атома Cu, то есть,  $P:Cu = 4n:m = 3:1$  ( $m = \frac{4n}{3}$ ).

В структуре медно-фосфорного каркаса, кроме четырехугольников  $P_4$ , «доставшихся в наследство» от одного из реагентов, также должны быть многоугольники, в вершинах которых расположен не только фосфор, но и медь. Поскольку все атомы меди лежат в вершинах одинаковых правильных пирамид, то все такие многоугольники должны быть одного типа. Поскольку каждый атом меди может быть связан только с атомом фосфора, а атом фосфора может иметь только одну связь с атомом меди, то атомов фосфора в таком многоугольнике в 2 раза больше, чем меди:  $P_{2z}Cu_z$ .

Запишем теорему Эйлера для многогранника  $X$ :  $V - P + \Gamma = 2$ , где общее число вершин равно  $\hat{A} = \frac{1}{3}(4\widetilde{A}_4 + 3z\widetilde{A}_{3z}) = 4n + m = \frac{16}{3}n$  (суммарное число атомов в каркасе  $X$ ), а общее число рёбер составляет  $D = 0,5(4\widetilde{A}_4 + 3z\widetilde{A}_{3z}) = \frac{3}{2}\hat{A} = 8n$ . Выразим  $\Gamma_{3z}$  через  $n$  из  $V$ :  $\widetilde{A}_{3z} = \frac{4n}{z}$ . Тогда общее число граней  $\tilde{A} = \widetilde{A}_4 + \widetilde{A}_{3z}$  и теорему Эйлера можно записать как  $\frac{16n}{3} - 8n + n + \frac{4n}{z} = 2$ .

Преобразуя, получаем  $n(12 - 5z) = 6z$ . Поскольку  $n$  и  $z$  – натуральные числа, то  $(12 - 5z) > 0$  и  $z < 2,4$ .

Если  $z = 1$ , то  $n = 6/7$ ,  $n \notin N$ . Если  $z = 2$ , то  $n = 6$ ,  $n \in N$ .

Следовательно, медно-фосфорный каркас  $X$  состоит из 6 четырехугольников  $P_4$  и шестиугольников  $P_4Cu_2$ .

2. Общее число атомов фосфора тогда составляет  $6 \cdot 4 = 24 = 3m$ . Число атомов меди равно  $m = 24/3 = 8$ . Всего в многограннике  $X$   $24 + 8 = 32$  вершины.

В каждом шестиугольнике участвуют 2 атома меди, каждый из которых принадлежит 3 шестиугольникам, следовательно, количество шестиугольников  $8 \cdot 3/2 = 12$ .

3. Куб (в его вершинах лежат атомы меди) и октаэдр (его вершины лежат в центрах квадратов  $P_4$ ).

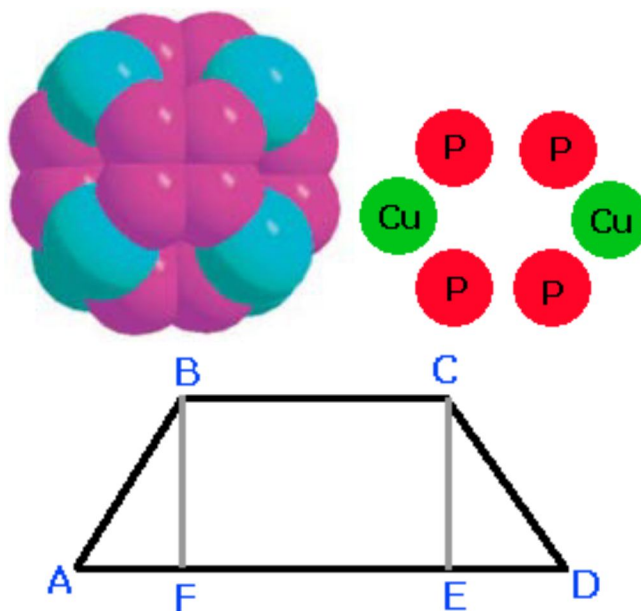
4. Оценим размеры кластера как диагональ куба, образованного атомами меди. Расстояние между атомами меди (ребро куба) равно расстоянию между атомами меди в шестиугольнике  $P_4Cu_2$ .

Считая шестиугольник  $P_4Cu_2$  плоским, рассмотрим его половину, ограниченную по линии Cu-Cu. Можно видеть, что данная фигура представляет собой трапецию **ABCD**, и искомое расстояние равно длине стороны **AD**.

Опустим из вершин **B** и **C** перпендикуляры на **AD**, тогда:  $AB + CD = r_{Cu} + r_P$ ,  $BC = FE = 2r_P$ ,  $AF = ED$ ,  $\angle BAF = \angle CDE = 110^\circ/2 = 55^\circ$  и  $AF = ED = ((r_P + r_{Cu}) \cdot \cos(55^\circ))$ .

Найдем  $AD = AF + FE + ED = 2AF + 2r_P = 2((r_P + r_{Cu}) \cdot \cos(55^\circ) + r_P)$  и  $AD = 2((0,124 + 0,109) \cdot \cos(55^\circ) + 0,109) = 0,489$  нм.

Диагональ куба тогда равна  $D = AD\sqrt{3} = 0,489 \cdot \sqrt{3} = 0,846$  нм.



## Поиск нанотрубок *in silico*

Один из очевидных способов решения – последовательный перебор всех индексов хиральности  $(n,m)$  от 0 до некоторого большого задаваемого числа  $N$  в цикле компьютерной программы. При этом каждую пройденную пару индексов хиральности  $(n,m)$  будем записывать в массив-таблицу  $M$  в строку с номером  $d = n^2 + nm + m^2$ . Затем, будем искать в  $M$  те строки, которые содержат необходимое нам количество пар индексов хиральности.

Величина  $d = n^2 + nm + m^2$ , в отличие от  $D$ , принимает только целочисленные значения, и от нее несложно перейти к  $D$ :  $D = \frac{a\sqrt{3}}{\pi} \cdot \sqrt{d} = 0,0782\sqrt{d}$ .

Для облегчения поиска необходимо наложить некоторые дополнительные ограничения на диапазон индексов хиральности  $(n,m)$  и, соответственно, величину «условного диаметра»  $d$ . Для этого будем перебирать в цикле  $n$  от 0 до  $N$ , и во вложенном цикле  $m$  от 0 до  $n$  (чтобы исключить одинаковые по условию трубки  $(n, m)$  и  $(m, n)$ ).

Массив M					
Значение d	Пары $(n,m)$ , отвечающие d				
	Первая $(n_1, m_1)$	Вторая $(n_2, m_2)$	Третья $(n_3, m_3)$	...	к-я $(n_k, m_k)$
1	1,0				
...	...	...	...	...	...
637	17,12	21,7	23,4		
2401	35,21	39,16	49,0 <i>zigzag</i>		
...	...	...	...	...	...
$D_{\max}=3N^2$	$N,N$				

Еще одно ограничение необходимо наложить на максимальное значение  $d$ . Дело в том, что, задавая поиск до максимальных индексов хиральности  $(N, N)$ , мы получим трубку с максимальным условным диаметром  $d_{(N,N)} = 3N^2$ . Однако все остальные возможные трубки с таким же диаметром окажутся за пределами рассматриваемой выборки (за пределами  $M$ ). Трубка с самым большим диаметром, для которой мы точно нашли все возможные варианты индексов хиральности – это  $(N,0)$ , которой соответствует  $d_{(N,0)} = N^2$ . Поэтому в получившемся массиве  $M$  из  $3N^2$  строк мы будем выводить информацию о количестве изомеров только для первых  $N^2$  строк.

Перед печатью строк можно дополнительно проверить, содержатся ли в них зубчатые или зигзагообразные нанотрубки, однако проще не усложнять программу, а, просмотрев первые 50 строк вывода программы, найти все нужные изомеры:

- а)  $d_{(n,m)} = 637$ : (17,12) (21,7) (23,4)  $D = 1,98$  нм  
 б)  $d_{(n,m)} = 2401$ : (35,21) (39,16) зигзагообразная (49,0)  $D = 3,84$  нм  
 в)  $d_{(n,m)} = 7203$ : зубчатая (49,49) (71,23) (77,14)  $D = 6,64$  нм  
 г)  $d_{(n,m)} = 1729$ : (25,23) (32,15) (37,8) (40,3)  $D = 3,26$  нм

---

Пример текста программы на языке Perl:

```
# задаем максимальные индексы хиральности N, до которых включительно варьируем трубки
$N = 200;
# циклы перебора индексов хиральности (n, m)
for $n (0..$N)
{
  for $m (0..$n)
  {
    # рассчитываем условный диаметр d
    $d = $n*$n+$n*$m+$m*$m;
    #определяем, является ли трубка зигзагообразной или зубчатой
    $t=""; if ( $m eq 0) {$t='zig';} if ( $n eq $m) {$t='zub';}
    # Ищем первый пустой элемент строки с номером d массива M и записываем в него индексы
    хиральности n,m и тип трубки
    $k=1; while ($M[$d][$k]) {$k++;} $M[$d][$k]="$n,$m $t";
  }
}
# перебираем строки массива M от первой до N2
for $d (1..$N*$N)
{
  # если в строке с номером d есть третий элемент (т.е. существует как минимум тройка изомеров),
  выводим на печать в строчку все элементы строки d
  if ($M[$d][3])
  {
    print "$d\t";
    $k=1; while ($M[$d][$k]) {print "$M[$d][$k] "; $k++; }
    print "\n";
  }
}
}
```

---

**первые 55 строк вывода программы:**

```
637 17,12 21,7 23,4
931 21,14 25,9 30,1
1183 26,13 29,9 31,6
1519 23,22 33,10 35,7
1729 25,23 32,15 37,8 40,3
1813 28,21 36,11 41,3
1911 31,19 35,14 41,5
2107 27,26 38,13 42,7
2401 35,21 39,16 49,0 zig
2527 31,27 38,19 47,6
2548 34,24 42,14 46,8
2793 32,29 43,16 49,7
2821 36,25 41,19 44,15 51,4
```

2989 35,28 47,13 52,5  
3211 39,26 51,10 54,5  
3283 37,29 49,14 51,11  
3367 34,33 43,23 53,9 57,2  
3549 43,25 47,20 52,13  
3577 37,32 48,19 56,7  
3724 42,28 50,18 60,2  
3871 45,26 49,21 59,6  
3913 41,31 47,24 53,16 61,3  
4123 41,33 54,17 58,11 61,6  
4459 42,35 53,22 58,15 63,7  
4557 49,28 53,23 67,1  
4693 43,36 57,19 68,1  
4732 52,26 58,18 62,12  
4753 48,31 56,21 64,9  
4921 41,40 51,29 55,24 64,11  
5047 43,39 61,17 63,14  
5187 46,37 53,29 62,17 71,2  
5239 50,33 55,27 65,13  
5341 49,35 61,20 71,4  
5439 47,38 58,25 70,7  
5551 45,41 54,31 69,10 74,1  
5719 50,37 65,18 67,15 73,5  
  
5733 51,36 63,21 69,12  
6076 46,44 66,20 70,14  
6097 57,32 61,27 64,23 72,11  
6223 49,42 69,17 74,9  
6253 52,39 73,11 77,4  
6321 56,35 64,25 79,1  
6517 52,41 59,33 63,28 77,7  
6643 51,43 59,34 71,18 81,1  
6727 57,37 62,31 81,2  
6811 54,41 70,21 74,15  
6916 50,46 64,30 74,16 80,6  
7189 60,37 68,27 73,20 75,17  
**7203 49,49 zub 71,23 77,14**  
7252 56,42 72,22 82,6  
7267 57,41 63,34 78,13  
7399 63,35 67,30 85,2  
7581 59,41 76,19 85,4  
7644 62,38 70,28 82,10  
7657 53,48 67,32 73,24 87,1

## Трубка из трубки

(4,4) $\vec{s} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2 \quad  \vec{S}  = \sqrt{3}a$		(5,0) $\vec{s} = 2\vec{r}_2 - \vec{r}_1 \quad  \vec{S}  = 3a$			
<p>Пояснение к рисункам: желтый цвет – вектора <math>\vec{R}</math>, <math>n\vec{r}_1</math> и <math>m\vec{r}_2</math> для исходных УНТ, а также линии разреза вдоль нанотрубок; красный цвет – примеры вектора <math>\vec{R}</math> для некоторых итоговых нанотрубок; зеленый цвет – примеры векторов <math>n\vec{r}_1</math> и <math>m\vec{r}_2</math> для итоговых нанотрубок с <math>k &gt; n</math>.</p>					
Число шагов k	Итоговая УНТ	Общая формула	Число шагов k	Итоговая УНТ	Общая формула
1	(5,3)	$(n+k, n-k) \quad k \leq n$	1	(4,2)	$(n-k, 2k) \quad k \leq n$
2	(6,2)		2	(3,4)	
3	(7,1)		3	(2,6)	
4	(8,0)		4	(1,8)	
5	(1,8)	$(k-n, 2n) \quad k > n$	5	(0,10)	
6	(2,8)		6	(11,1)	$(n+k, k-n) \quad k > n$
7	(3,8)		7	(12,2)	

2. Для произвольной и-УНТ (n,m) рассматриваемый подход будет реализуем в том случае, если на один виток хотя бы одной из трех спиралей будет приходиться целое четное число атомов –  $N_{L_1} = 4 \frac{n^2+nm+m^2}{2m+n}$ ,  $N_{L_2} = 4 \frac{n^2+nm+m^2}{2n+m}$  или  $N_{L_3} = 4 \frac{n^2+nm+m^2}{n-m}$

(см. задачу заочного теоретического тура Наноолимпиады-2012 «Двойная спираль... нанотрубки»). Такое условие является достаточным, чтобы при смещении вдоль края продольного «разреза» на шаг этой спирали и последующем сшивании получить новую нанотрубку без дефектов и искажений в шестиугольниках.



Например, данному условию удовлетворяет хиральная УНТ (4,1), у которой на виток спиралей, закрученных вдоль вектора  $\vec{r}_2$ , приходится  $N_{L_1} = 4 \frac{1^2+4 \cdot 1+4^2}{2 \cdot 1+4} = 14$  атомов.

Покажем, что оба типа рассмотренных в первом вопросе УНТ в общем виде удовлетворяют данному условию: для  $n = m$   $N_{L_{1,2}} = 4m$  (третья спираль вырождена в цепочки, параллельные оси УНТ); для  $m = 0$   $N_{L_1} = 4n, N_{L_2} = 2n, N_{L_3} = 4n$ .

Также для произвольной и-УНТ (n,m) рассматриваемый подход реализуем в том случае, когда существует вектор смещения  $\vec{s} = a\vec{r}_1 + b\vec{r}_2$ , такой, что  $\langle \vec{R}, \vec{s} \rangle = 0$  и a, b – целые числа. То есть,  $\frac{a}{b} = -\frac{2m+n}{2n+m}$ .

**3.** При «разрезании» и «замыкании» способом, описанным в условии, итоговые нанотрубки будут всегда иметь больший диаметр, чем и-УНТ (смещая края, мы увеличиваем длину вектора  $\vec{R}$ , то есть, увеличиваем радиус УНТ).

**4.** Произвольную и-УНТ (n,m) всегда можно разрезать вдоль направления одного из радиус-векторов:  $\vec{r}_1$ ,  $\vec{r}_2$  или  $\vec{r}_1 - \vec{r}_2$  (по спирали, вдоль «зигзагообразного» края, отсекая параллельные С-С связи). При этом тип итоговой нанотрубки с минимальным возможным радиусом будет определяться чётностью соответствующих индексов или суммы индексов (см. таблицу и рис. 2).

Также любую трубку можно разрезать вдоль направления, перпендикулярного одному из нормальных радиус-векторов  $(\vec{r}_1 + \vec{r}_2)$  и  $(\vec{r}_1 - \vec{r}_2)$  - или  $(2\vec{r}_2 - \vec{r}_1)$  и  $(\vec{r}_1)$  или  $(2\vec{r}_1 - \vec{r}_2)$  и  $(\vec{r}_2)$  - то есть, вдоль «зубчатого» края. Но данное направление не является базисным.

Таблица. Минимальные и-УНТ.

Направление разреза (вектор)	Ограничение по четности	(x,y)	Тип получаемой трубки	Рисунок
$\vec{r}_1$	m- чётное	(m/2, m/2)	зубчатая	(рис.2а)
$\vec{r}_2$	n- чётное	(n/2, n/2)		
$\vec{r}_1$	m- нечётное	(m, 0)	зигзагообразная	(рис.2б)
$\vec{r}_2$	n- нечётное	(n, 0)		

$\vec{r}_1 - \vec{r}_2$	m+n- чётное	$((n+m)/2, (n+m)/2)$	зубчатая	(рис.2в)
$\vec{r}_1 - \vec{r}_2$	m+n- нечётное	$(n+m, 0)$	зигзагообразная	(рис.2г)

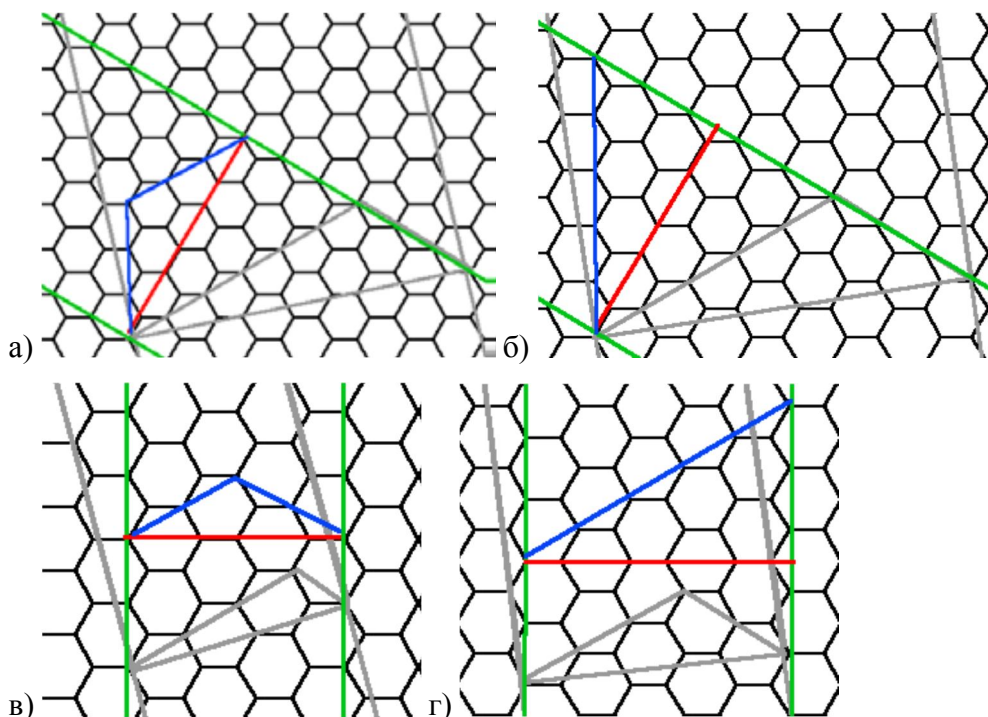


Рис. 2. Развертки УНТ при разрезании. Здесь: серые линии – исходные УНТ, зеленые – линии разреза, красные – ширина полученных разверток, синие – вектора  $n\vec{r}_1$  и  $m\vec{r}_2$  для минимальных итоговых УНТ.

а) УНТ (3,6) при разрезании вдоль вектора  $\vec{r}_1$  дает минимальную итоговую (3,3).

б) УНТ (3,5) при разрезании вдоль вектора  $\vec{r}_1$  дает минимальную итоговую (5,0).

в) УНТ (3,1) при разрезании вдоль вектора  $\vec{r}_1 - \vec{r}_2$  дает минимальную итоговую (2,2).

г) УНТ (3,2) при разрезании вдоль вектора  $\vec{r}_1 - \vec{r}_2$  дает минимальную итоговую (5,0).

## БИОЛОГИЯ (ЗАОЧНЫЙ ТУР)

### «Матрешки»

1. Клеточная мембрана, ядро, митохондрии, хлоропласты, эндоплазматический ретикулум, аппарат Гольджи, вакуоли, клеточная стенка

2. Речь идет о хлоропластах, в растительной клетке осуществляют фотосинтез – при помощи энергии солнечного света переводят углекислый газ в углеводы с выделением кислорода.

3. Основная теория происхождения хлоропластов – эндосимбиотическая, в результате захвата эукариотическим предком прокариот, способных к фотосинтезу и напоминающих современные цианобактерии.

4. Процесс появления хлоропластов происходил в течение эволюции, по-видимому, не однократно. Первичный эндосимбиоз – поглощение эукариотической клеткой фотосинтезирующего прокариота – приводит к образованию хлоропласта с 2 мембранами. В случае вторичного эндосимбиоза эукариотическая клетка захватывает другую эукариотическую клетку с уже имеющимся хлоропластом. В этом случае новый хлоропласт будет иметь 4 мембраны.

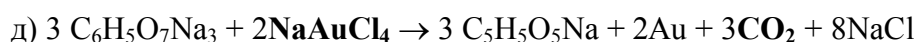
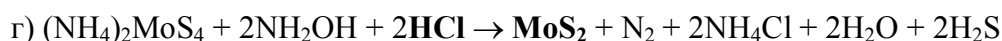
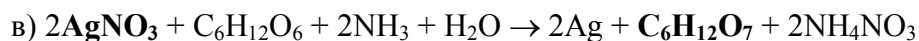
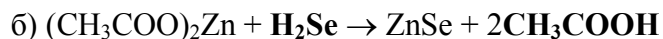
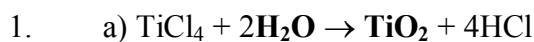
5. В случае эвгленовых происходило так: клетка захватывает эукариота, содержащего хлоропласт. Однако питание эвгленовых происходит так: поскольку глоточный аппарат имеет небольшие размеры, он не может захватить целую клетку, и перед поглощением выбрасывает пищеварительные ферменты, которые разрушают клеточную мембрану. Отдельные органеллы проходят в «глотку» в целом виде, поэтому в результате поглощенный хлоропласт имеет 3 мембраны: 2 свои и 1 эндоцитозная.

6. Устройства, позволяющие накапливать энергию солнечного света и переводить ее в «полезную» форму – солнечные батареи (фотоэлементы). Основной принцип, реализуемый и в хлоропластах, и в солнечных батареях – поглощение кванта света вызывает разделение зарядов, в результате накапливается разность потенциалов. В случае фотосинтеза она идет на синтез химических макроэргов, которые потом тратятся на аккумуляцию углерода и синтез сахаров, в случае солнечных батарей запасается в аккумуляторах. Классические фотоэлементы сделаны на основе кремния и других полупроводников, которые имеют ряд недостатков для широкого использования. Нанотехнологические подходы, используемые в разработке фотоэлементов: использование принципа печати – послойного нанесения компонентов батареи,

использование органических полупроводников – органические молекулы могут быть донорами и акцепторами электронов, также разрабатываются подходы с использованием непосредственно порфиринов (хлорофилла). Кроме того, с использованием нанотехнологий может быть снижено отражение, расширен диапазон используемых длин волн света и т.п. Ответ оценивается в основном по наличию упоминания солнечных батарей и по ясности понимая первой части (про разделение зарядов), механизмы работы солнечных батарей приветствуются, но не обязательны.

## ТРЕНИРОВОЧНЫЙ ТУР

### Простые вопросы



2.  $\nu(\text{C}) = 45 / 12 = 3.75$  моль

$$\nu(\text{XY}_2) = 3.75 / 3 = 1.25 \text{ моль}$$

$$M(\text{XY}_2) = 100 / 1.25 = 80 \text{ г/моль} - \text{TiO}_2.$$

3. Возьмем 1 моль С (12 г), тогда масса кислорода в окисленном графене составит:

$$m(\text{O}) = 12 / 88.2\% \cdot 11.8\% = 1.6 \text{ г}, \nu(\text{O}) = 0.1 \text{ моль. Каждый атом О связан с 2 атомами С, поэтому количество окисленных атомов С равно 0.2 моль, или 20\%.$$

4. Объем одной наночастицы:  $V_{\text{нч}} = \pi d^3 / 6 = 8.2 \cdot 10^{-24} \text{ м}^3$ .

$$\text{Число молей наночастиц: } \nu = cV = 0.5 \cdot 10^{-9} \text{ моль.}$$

$$\text{Общий объем золота: } V = V_{\text{нч}} \cdot \nu \cdot N_A = 2.5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3 = \mathbf{2.5 \text{ мм}^3}.$$

## Синтез наночастиц

1) Безводный карбонат, нерастворимый в воде, это, по-видимому соль двухвалентного металла. Зная массу полученных из 1 г этой соли наночастиц, получаем молярную массу металла:

$$(0.48 : 0.97)/M = 1/(M + 60), \quad M = 59 \text{ г/моль.}$$

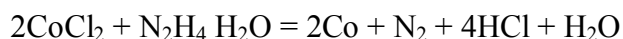
Это – кобальт или никель, но судя по цвету раствора (синий раствор в солянокислой среде, меняющий окраску при разбавлении водой) – это кобальт.

Для восстановления кобальта в методе 1 используют вещество, состоящее из водорода и двух элементов второго периода, в котором массовая доля водорода 12%. Обозначим число атомов водорода в молекуле n. Тогда, молярная масса восстановителя равна  $100n/12$ . Получаем, что при  $n = 6$ ,  $M = 50$  г/моль, что соответствует  $N_2H_6O$ . Это гидразингидрат  $N_2H_4 \cdot H_2O$

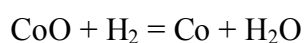
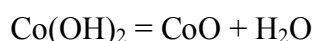
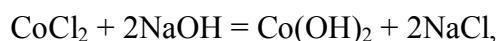
Уравнения реакций:



Синяя окраска обусловлена ионами  $CoCl_4^{2-}$ , которые образуются из  $CoCl_2$  и избытка соляной кислоты. При разбавлении водой эти ионы разрушаются, синяя окраска исчезает.



Метод 2:



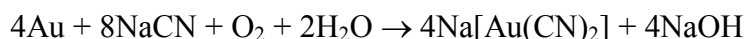
2) Наночастицы кобальта используют в качестве катализаторов, композитов, компонентов магнитных материалов, носителей биопрепаратов.

## Рога и копыта

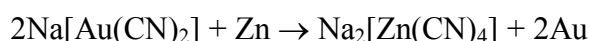
1) Не считая разработки вторичных отложений золота – россыпей, которые сейчас составляют малую долю от добываемого металла, золото добывают химически. Старый, но по-прежнему эффективный метод – собирание крупинки золота на ртути с образованием амальгамы. Несколько более новый – выщелачивание цианидами. Кроме того, немалые количества золота добываются из анодных шламов меди.

Амальгамный метод основан на смачиваемости золота металлической ртутью. Частично золото при этом растворяется, образуя амальгаму, частично образует суспензию в ртути. Амальгаму собирают и выпаривают, получая металлическое золото.

Цианидный метод основан на окислении золота кислородом воздуха в присутствии растворимых цианидов и образовании комплексного соединения золота и цианид-ионов.



Далее золото выделяют действием цинка и отправляют на рафинирование.

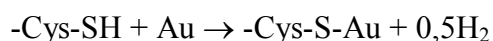


2) Амальгама непригодна, так как из-за высокого поверхностного натяжения ртути её капельки не могут проникнуть между частицами глины и смочить частицы золота. В случае применения цианидов – глинистые минералы обладают очень большой водоёмкостью (50 и более процентов по массе) и это требует очень большого расхода реагента.

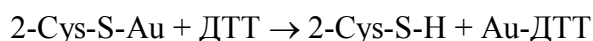
3) Суть метода Бендера – связывание золота остатками цистеина, которые содержатся в белках кератинах. На первой стадии Бендер измельчил кератин (рога и копыта) и увеличил его площадь поверхности. На второй стадии – провёл частичный гидролиз белка и активацию поверхности кислотой. На третьей – восстановил дисульфидные мостики до цистеина борогидридом натрия:



На четвёртой – прошла сорбция золота на активные сульфгидрильные группы цистеина, полученные на рогах и копытах.



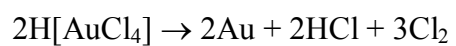
На пятой стадии Бендер смывал золото при помощи ДТТ (HSC<sub>2</sub>CH(OH)CH(OH)CH<sub>2</sub>SH)



Далее он выжигал ДТТ царской водкой (по сути – азотной кислотой)



Наконец, на последней стадии Бендер разлагал  $\text{H[AuCl}_4]$  и получал золото



4) Шерсть и перо – это по химической сути тот же кератин, только уже существенно измельчённый по сравнению с рогами и копытами. Большая площадь поверхности обеспечивает большее извлечение золота.



## Шаровая молния

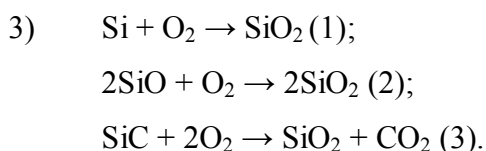
1) Бинарное соединение **B**, являющееся продуктом горения нескольких веществ на воздухе, может быть только оксидом, причем элемент **A** не является кислородом с учетом его массовой доли в соединении **X**. Тогда в общем виде формула соединения **B** –  $AO_{n/2}$ , что позволяет произвести расчет ( $n$  – натуральное число):

$$M(A) = \frac{46.7 \cdot 16.0 \cdot n}{53.3 \cdot 2} = 7.0 \cdot n$$

Перебором  $n$  получаем два возможных варианта: оксид азота (II) и оксид кремния (IV). Однако, NO не может являться конечным продуктом горения азотсодержащих веществ на воздухе, так как данное вещество само с легкостью окисляется кислородом до оксида азота (IV). Отсюда **B** –  $SiO_2$ . Тогда вещество **X** – наночастицы элементарного кремния.

При помощи расчетов, аналогичных предыдущему, легко находим формулы бинарных соединений **Y** ( $SiO$ ) и **Z** ( $SiC$ ). Механистически приведенным в условии значениям массовых долей соответствуют и более экзотические соединения, например,  $Si_2S$  (**Y**) и  $MgSi_2$  (**Z**). Однако, как покажут дальнейшие рассуждения, соединения подобного состава не могут участвовать в зарождении шаровой молнии.

2) Появление в воздухе взвешенных наночастиц кремния и его соединений с углеродом и кислородом означает, что их источником может служить только почва (содержание кремния в чистом, без примеси пыли воздухе пренебрежимо мало). С учетом того, что молния представляет собой гигантский электрический искровой разряд в атмосфере, взаимодействующий в конечном итоге с поверхностью земли, тепловая энергия, выделяющаяся на момент достижения молнией почвы, разогревает небольшой участок земной поверхности до температуры, превышающей температуру кипения кварца ( $2950^\circ C$ ) и различных силикатов, приводя к их испарению. В образующемся газе путем восстановления формируются наночастицы таких соединений как элементарный кремний, оксид кремния (II) и карбид кремния.



4) Шаровая молния представляет серьезную непосредственную угрозу жизни человека за счет воздействия в первую очередь термического фактора. Однако, ингаляции наночастиц веществ **X**, **Y** и **Z** при визуальном контакте с шаровой молнией фактически не происходит ввиду их незначительного периода жизни и единичности события, без его хронизации.

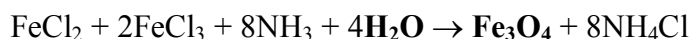
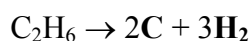
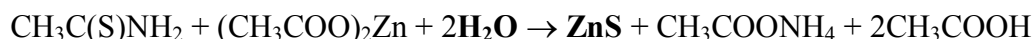
## ХИМИЯ (ОЧНЫЙ ТУР)

### Простые задачи

1. Массовая доля серы:  $\omega(\text{S}) = 1/(1+1/5) = 0.4$

Такой массовой доле соответствуют сульфиды TiS и MoS<sub>2</sub>, однако в TiS атомов серы – ровно половина, что противоречит условию. Простейшая формула – MoS<sub>2</sub> – включает 3 атома. Число формульных единиц MoS<sub>2</sub> в наночастице –  $840/3 = 280$ .

Ответ. (MoS<sub>2</sub>)<sub>280</sub>.



3. Масса одной наночастицы:  $m_{\text{нч}} = \pi d^3/6 \cdot \rho = 1.0 \cdot 10^{-17}$  г.

Число молей наночастиц:  $\nu = cV = 0.5 \cdot 10^{-9}$  моль.

Общая масса золота:  $m = m_{\text{нч}} \cdot \nu \cdot N_A = 3.0 \cdot 10^{-3}$  г = **3.0 мг**.

4.  $M(\text{X}) = 720 \cdot 1.95 = 1404$  г/моль

$M(\text{X}) - M(\text{C}_{60}) = 684$  г/моль, что соответствует 36 молям F.

Формула продукта – **C<sub>60</sub>F<sub>36</sub>**.

5. Из приведенных в задаче данных следует, что доля атомов на поверхности  $\chi$  обратно пропорциональна радиусу наночастицы:  $\chi(\%) = 96 / r(\text{нм})$ .

(При точном геометрическом рассмотрении в модели сферической наночастицы, состоящей из сферических атомов получается такой результат:

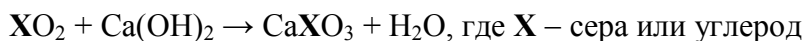
$$\chi = 1 - \left(1 - \frac{2r_{\text{ат}}}{r_{\text{нч}}}\right)^3 \approx \frac{6r_{\text{ат}}}{r_{\text{нч}}}, \text{ если } r_{\text{ат}} \ll r_{\text{нч}}.$$

$\chi = 33\%$ ,  $r = 96/33 \approx$  **3 нм**.

## Интересная химия

1. Очертим список газов, подходящих на роль **D**. Так как искомый газ образуется при сгорании в кислороде, то он, скорее всего, является оксидом. На эту роль подходят два соединения – оксиды углерода (IV) и серы (IV). В тоже время при сгорании фторсодержащих органических веществ могут образовываться фтороводород (чаще) и тетрафторид углерода (реже). Однако, первый не является газообразным при 273 К, а второй инертен по отношению к щелочам. Азот, образующийся при сгорании азотсодержащих веществ, не поглощается раствором гидроксида кальция. Галогеноводороды не могут формироваться в реакции сгорания *бинарного* соединения. (всего 3 балла, штраф 1 балл при отсутствии обоснования).

2. Уравнение реакции поглощения газа **D** в общем виде:

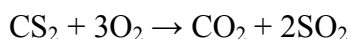


Рассчитаем молекулярную массу соединения  $\text{CaXO}_3$ :

$$M(\text{CaXO}_3) = \frac{34.0 \text{ г}}{6.72 \text{ л}} \cdot \frac{22.4 \text{ л}}{\text{моль}} = 113.3 \text{ г/моль}$$

Полученное значение больше, чем молекулярная масса карбоната кальция (100.1 г/моль), но меньше, чем молекулярная масса сульфита кальция (120.2 г/моль).

Единственным выходом из возникшего затруднения является предположение, что газ **D** – смесь оксидов углерода (IV) и серы (IV). Решение простой системы уравнений приводит к заключению, что такая смесь должна содержать  $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_2$  в молярном соотношении 1.0:2.0. Образование подобной смеси возможно при сгорании сероуглерода



или соединений состава  $(\text{CS}_2)_m\text{O}_n$ , однако последние не будут являться бинарными веществами.

Синтез **C**, протекающий в жестких условиях, – это взаимодействие простых веществ: серы и углерода, так как никаких иных веществ в ходе реакции не образуется.

Схема реакции:  $\text{C}_m + \text{S}_n \rightarrow \text{CS}_2$ . Тогда легко видеть, что зависимость  $m$  от  $n$  выглядит так:  $m = 7.5 \cdot n$ . С учетом четности и целостности значения  $m$  (для фуллеренов) условию удовлетворяют  $n$ , кратные четырем. Однако, с учетом того, что  $n$  может достигать только 20, круг возможных веществ **A** и **B** сводится к пяти парам:  $\text{C}_{30} - \text{S}_4$ ;  $\text{C}_{60} - \text{S}_8$ ;  $\text{C}_{90} - \text{S}_{12}$ ;  $\text{C}_{120} - \text{S}_{16}$ ;  $\text{C}_{150} - \text{S}_{20}$ .

Самым очевидным ответом изначально видится пара  $\text{C}_{60} - \text{S}_8$ .

(структуры **A-C** по 3 балла; 1.5 балла за множество пар **A-B**, всего 10.5 баллов)

3. Наиболее токсичным веществом из тройки фуллерен – молекулярная сера – сероуглерод выступает последнее соединение вне зависимости от пути поступления в организм человека (за правильный выбор в каждом случае – по 0.75 балла; всего 1.5 балла).

## Синтез квантовых точек

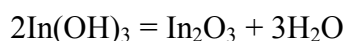
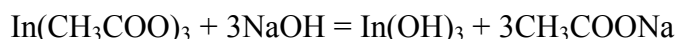
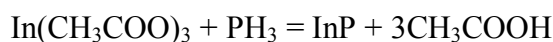
1. Газ **X** имеет молярную массу  $1.172 \cdot 29 = 34$  г/моль. Это соответствует сероводороду и фосфину, однако сероводород исключаем, так как он реагирует со щелочью. Итак, газ **X** – фосфин  $\text{PH}_3$ .

Обозначим формулу ацетата  $\text{M}(\text{CH}_3\text{COO})_n$ , где  $n$  – валентность металла. Вещество, образующееся при действии на ацетат щелочи, – вероятно, гидроксид  $\text{M}(\text{OH})_n$ , который при прокаливании переходит в оксид  $\text{MO}_{n/2}$ .

Тогда количество вещества ацетата равно количеству вещества  $\text{MO}_{n/2}$ , то есть

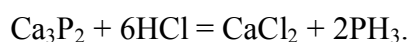
$$1.000 / (59n + M) = 0.476 / (8n + M),$$

где  $M$  – молярная масса металла. Перебором находим:  $n = 3$ ,  $M = 115$ , что соответствует индию.



2. Полиимид – органический полупроводник, а полиэтилен – диэлектрик. Такая замена невозможна.

3. Многослойные наноструктуры на базе матриц органических полупроводников с введенными полупроводниковыми наночастицами используют для создания фотовольтаических элементов нового поколения.



## Водорастворимые фуллерены

1. Первое соединение – это  $C_{60}(OH)_{18}$ , количество изомеров  $\frac{60!}{18!42!} = 925 \cdot 10^{14}$ ; второе соединение – производное малоновой кислоты  $C_{60}(C(COOH)_2)_3$ , количество изомеров  $\frac{60!}{3!57!} = 34220$  изомеров.

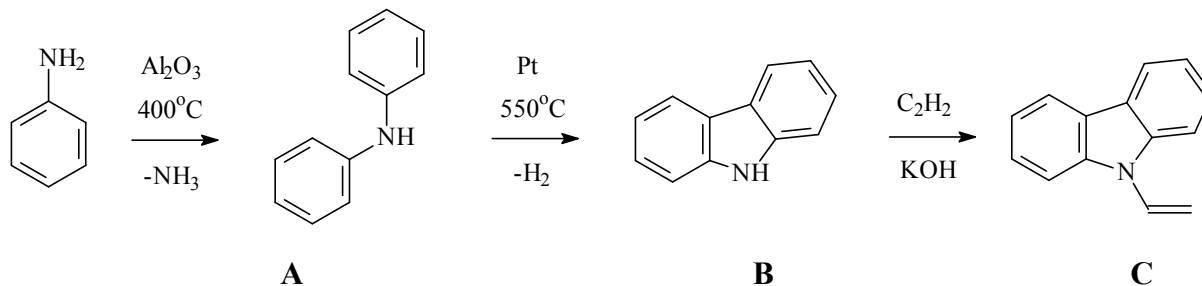
2. Размер кластера – около 100 нм в диаметре. Объем кластера  $523600 \text{ нм}^3 = 523600 \cdot 10^{-21} \text{ см}^3$ , масса кластера  $864000 \cdot 10^{-21} \text{ г}$ , количество кластеров в одном мл равно  $10^{-4} : (863938 \cdot 10^{-21}) = 1.15 \cdot 10^{11}$  штук.

3. а. Антиоксидантная активность связана со способностью присоединять свободные радикалы по двойным  $C=C$  связям. Теоретически фуллерен  $C_{60}$  способен присоединить до шестидесяти свободных радикалов.

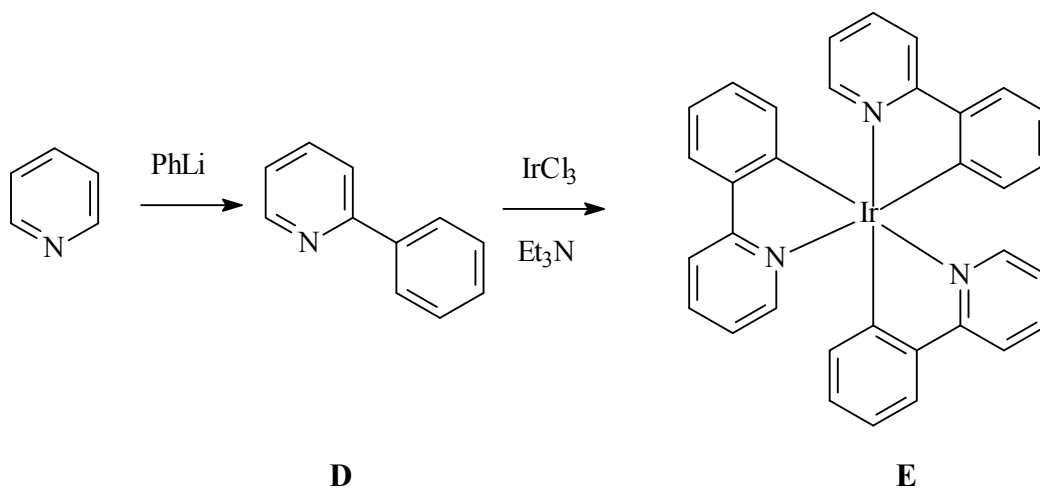
б. и в. Активность пропорциональна площади поверхности частицы. При связывании отдельных молекул в кластер активность падает. Соотношение активностей можно оценить как отношение площадей поверхности:  $(50)^2 : (0.5)^2 = 10000$ . Молекула активнее кластера!

## Электролюминесцентные полимеры

1. Схемы превращений со структурами веществ **A – E**:

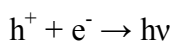


Полимер ПВК – это поливинилкарбазол.



2. Благодаря высокой подвижности  $\pi$ -электронов в углеродных нанотрубках, приложение к ним электрического поля приводит к смещению  $\pi$ -электронов к одному из ее концов, что облегчает передачу электронов от нанотрубок к полимеру. Благодаря этому увеличивается концентрация электронов в полимере и, вследствие этого, скорость рекомбинации. Это же является причиной увеличения электронной проводимости полимера с добавленными нанотрубками.

3. Процесс излучательной рекомбинации описывается уравнением:

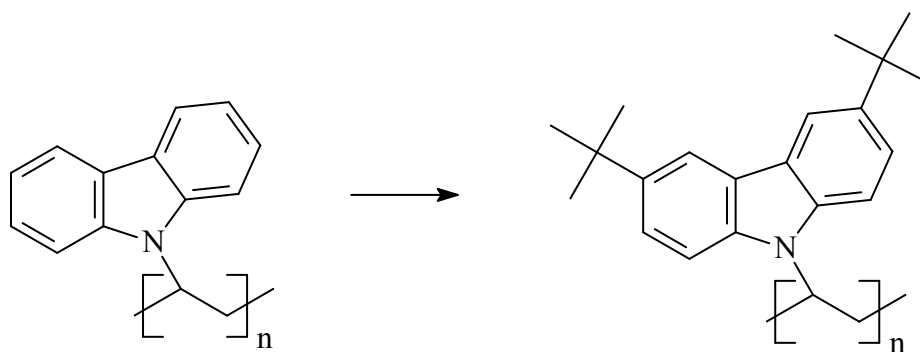


Скорость этого процесса  $r$  зависит от концентраций носителей заряда следующим образом:

$$r = k \cdot c(h^+) \cdot c(e^-)$$

Увеличение светимости в два раза означает увеличение скорости рекомбинации и, следовательно, произведения  $c(h^+) \cdot c(e^-)$  тоже в два раза. Поскольку добавление нанотрубок не влияет на дырочную проводимость полимера, ясно, что их роль сводится только к увеличению концентрации электронов. Ответ: концентрация дырок не меняется, концентрация электронов увеличивается в два раза.

4. Юный химик предлагает следующую замену:

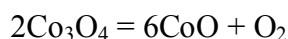


Электропроводность ПВК и прочих органических полимеров обусловлена высокой подвижностью  $\pi$ -электронов и тесными  $\pi$ - $\pi$  контактами между соседними звеньями. Введение такого объемистого заместителя как трет-бутил в состав звена винилкарбазола приведет к нарушению  $\pi$ - $\pi$  контактов и уменьшению подвижности носителей заряда – как электронов, так и дырок. Поэтому предложение юного химика можно считать неудачным.

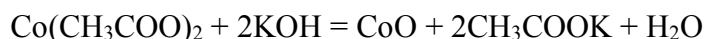


## Фотокатализ наночастицами

1. Массовой доле кобальта 73.4% соответствует смешанный оксид  $\text{Co}_3\text{O}_4$ .  
Уравнение реакции его разложения:



Другие способы получения наночастиц  $\text{CoO}$  – обменные реакции в растворе (при нагревании):



или разложение солей кобальта – нитрата:



(чтобы  $\text{CoO}$  не окислялся, реакцию проводят в восстановительной атмосфере) или комплексов – купферроната  $\text{Co}(\text{C}_6\text{H}_5\text{N}_2\text{O}_2)_2$  или ацетилацетоната  $\text{Co}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_2$ .



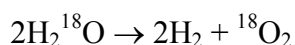
Используем наибольший объем водорода, соответствующий мощности 920 мВт.

$$V(\text{H}_2) = 11 \text{ мл}, \quad \nu(\text{H}_2) = PV / RT = 101.3 \cdot 0.011 / (8.314 \cdot 298) = 4.5 \cdot 10^{-4} \text{ моль} = \nu(\text{H}_2\text{O}).$$

Для фотолиза такого количества воды расходуется  $4.5 \cdot 10^{-4} \cdot 237000 = 107$  Дж энергии. Общее количество поглощенной энергии:  $920 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} \cdot 1800 \text{ с} = 1656$  Дж.  
Степень конверсии световой энергии:  $107/1656 = 0.065 = 6.5\%$ .

Это – отличный результат для фотокатализатора на видимом свете, т.к. лучшее из достигнутых до этого значений составляло всего 0.1%.

3. Тяжелые изотопы обычно используют для анализа механизма реакции. В данном случае изотопно-замещенную воду взяли для того, чтобы определить, происходит ли кислородный обмен между  $\text{H}_2\text{O}$  и катализатором  $\text{CoO}$  в процессе фотолиза. Если происходит, то наряду с тяжелым кислородом  $^{18}\text{O}_2$  будет выделяться обычный кислород  $^{16}\text{O}_2$ . Если нет, тогда весь кислород в газовой фазе будет только из воды –  $^{18}\text{O}_2$ :



Если выделяется только тяжелый кислород, то средняя молярная масса газовой смеси будет равна:  $M_{\text{cp}} = (2 \cdot 2 + 36) / 3 = 13.3$  г/моль, что в 3 раза легче аргона. Это как раз соответствует условию. Следовательно, весь кислород выделяется только из воды, а атомы кислорода фотокатализатора  $\text{CoO}$  в фотолизе не участвуют, кислородного обмена нет.

## ФИЗИКА (ОЧНЫЙ ТУР)

### Электрон и мюон

Изменение кинетической энергии заряженной частицы в электрическом поле:

$$\frac{mV^2}{2} = eU = eEl_1$$

В магнитном поле II закон Ньютона выглядит:  $\frac{mV^2}{l_2} = eVB$ .

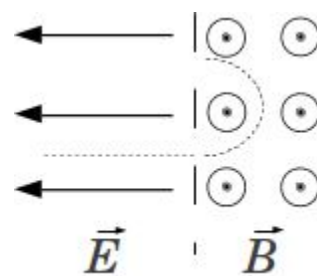
Записав 2 пары уравнений (одну для электрона, другую для мюона) находим отношение скоростей при пересечении границы областей:

$$\frac{V_{electron}}{V_{muon}} = \sqrt{\frac{m_{muon}l_1^{electron}}{m_{electron}l_1^{muon}}}$$
, а отношение глубины проникновения в одном и другом

случае есть отношение радиусов круговых траекторий.

$$\frac{l_2^{electron}}{l_2^{muon}} = \sqrt{\frac{m_{electron}l_1^{electron}}{m_{muon}l_1^{muon}}}$$

$$\frac{l_1^{electron}}{l_1^{muon}} = \frac{m_{electron}l_2^{2electron}}{m_{muon}l_2^{2muon}} = 196$$



### Пузырь

Количество вещества найдем из уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$PV = \nu RT,$$

давление внутри пузыря  $P = p_0 + \frac{2 \cdot \sigma}{r}$ , объем  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ .

Число молекул  $N = \nu N_A$ .

$$\text{Окончательно: } N = \nu N_A = N_A \frac{\left(p_0 + \frac{2 \cdot \sigma}{r}\right)V}{RT} \approx 5,8 \cdot 10^6.$$

## Челябинский метеорит

Кинетическая энергия метеорита равна энергии, которая необходима для нагрева его до температуры кипения и полного испарения.

$$\frac{mv^2}{2} = m(CT_k + \lambda) \quad (1)$$

Отсюда

$$C = \frac{V^2 / 2 - \lambda}{T_k} = 2 \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{К} \quad (2)$$

## Нанокapsула

Мощность выделяемая в кольцевой полоске может быть найдена по закону Джоуля Ленца:

$$P = \frac{\varepsilon^2}{r}$$

ЭДС индукции по закону Фарадея  $\varepsilon = \frac{-\partial\Phi}{\partial t}$ .

Магнитный поток, пронизывающий одну магнитную полоску  $\Phi = B(t)S\cos(\alpha)$ , через вторую  $\Phi = B(t)S\sin(\alpha)$ , где  $\alpha$  — угол между вектором индукции магнитного поля и нормалью к плоскости кольцевой полоски.

$$P_{\text{мгнов}} = P_1 + P_2 = \frac{1}{r} (B_0 \omega \sin(\omega t) S)^2 (\cos^2(\alpha) + \sin^2(\alpha)) = \frac{1}{r} (B_0 \omega \sin(\omega t) S)^2.$$

Максимальное значение мощности не зависит от угла.

Средняя за период мощность в 2 раза меньше амплитудной.

Окончательно,

$$P_{\text{среднее}} = \frac{1}{2r} (B_0 \omega S)^2 = \frac{1}{2r} (B_0 \omega \pi R^2)^2 \approx 1.9 \cdot 10^{-24} \text{ Вт}$$

Вывод: нет, не расплавится.

## Занимательные капилляры

Высоту подъема жидкости в вертикальном капилляре можно найти из равенства силы поверхностного натяжения и силы тяжести, действующей на этот столб жидкости:

$$\sigma\pi D = \rho h_1 \pi \frac{D^2}{4} g, \quad \text{откуда:} \quad h_1 = \frac{4\sigma}{\rho g D}$$

В случае наклонного капилляра сила поверхностного натяжения действует все так же вдоль стенок капилляра, в то время как сила тяжести – строго вниз, вследствие чего для нахождения высоты подъема жидкости силу поверхностного натяжения следует приравнять уже к проекции силы тяжести на направление наклона капилляра (пусть  $l_2$  – длина столба жидкости в наклонном капилляре):

$$\sigma\pi D = \rho l_2 \pi \frac{D^2}{4} g \sin\beta, \quad \text{откуда (учитывая } l_2 \sin\beta = h_2 \text{):} \quad h_2 = \frac{4\sigma}{\rho g D}.$$

Таким образом, ответ на первый вопрос:  $k_1 = \frac{h_2}{h_1} = 1$ .

Для ответа на второй вопрос следует расписать аналогичное равенство сил, действующих на жидкость в разветвленном капилляре (пусть  $l_3$  – длина столба жидкости в разветвленной части капилляра):

$$2\sigma\pi D = 2\rho l_3 \pi \frac{D^2}{4} g \sin\gamma + \rho H_3 \pi \frac{D^2}{4} g,$$

откуда, учитывая  $l_3 \sin\gamma = h_3$ , получаем:  $h_1 = \frac{4\sigma}{\rho g D} = h_3 + \frac{1}{2} H_3$ .

Введем коэффициент  $a$  такой, что:  $H_3 = ah_3$ . Пользуясь теперь известным условием

$$k_2 = \frac{h_3 + H_3}{h_1} = 1,6 = \frac{h_3(a+1)}{h_3\left(\frac{a}{2}+1\right)} = \frac{a+1}{\frac{a}{2}+1}, \text{ имеем: } a = 3.$$

## Электроцарапки

*Какую энергию запасает шокер от Кью в первом и во втором случае?*

Шокер от Кью – это типичный плоский конденсатор. Рассчитаем его параметры. Толщина активного слоя конденсатора равна 0,6 мм или 6000 раз по 100 нм. Это, в свою очередь, означает, что в системе по 3000 слоёв проводника и диэлектрика, а площадь одной обкладки – 1500 см<sup>2</sup>. С учётом того, что у обкладки две стороны, суммарная площадь каждой пластины конденсатора – 3000 см<sup>2</sup>. Диэлектрическая проницаемость алмаза – 5,7. Напряжение 50 и 70 Вольт. Расстояние между обкладками 10<sup>-7</sup> м.

Ёмкость рассчитывается по формуле

$$C = \varepsilon * \varepsilon_0 * S / d, \text{ где}$$

$\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость диэлектрика

$\varepsilon_0$  – электрическая постоянная  $0,885 * 10^{-11}$  Кл<sup>2</sup>/(Н\*м<sup>2</sup>)

S – площадь обкладок

d – расстояние между обкладками

Подставляя значения из задачи получим, что ёмкость конденсатора Кью равна:

$$C = 5,7 * 0,885 * 10^{-11} * 0,3 / 10^{-7} = \mathbf{151,34 \text{ мкФ}}$$

Энергия конденсатора рассчитывается по формуле:

$$W = C * U^2 / 2$$

При напряжении 50 В – это **0,189 Дж**.

При напряжении 70 В – **0,371 Дж**.

*Какой ток протекает через кожу хулигана, пристающего к Манипенни, если разряд длится 0,0001 сек, а сопротивление сухой кожи равно 50 кОм?*

$$\text{Мощность разряда равна } E/t = 0,189 \text{ Дж} / 0,0001 \text{ сек} = \mathbf{1890 \text{ Вт}}$$

По закону Ома мощность рассчитывается по формуле

$$P = I^2 * R, \text{ откуда сила тока равна } \mathbf{0,615 \text{ А}}$$

*Как он изменится, если Манипенни глубоко процарапает кожу?*

Сопротивление упадёт и ток сильно вырастет.

*Почему Кью выбрал именно алмаз для напыления между слоями алюминия?*

У алмаза весьма приличная диэлектрическая проницаемость (5,7) и максимальная известная электропрочность, то есть напряжение пробоя. Это позволяет обойтись сверхтонким слоем диэлектрика при высоком рабочем напряжении.

*Отчего нагревались ногти шокера при разряде?*

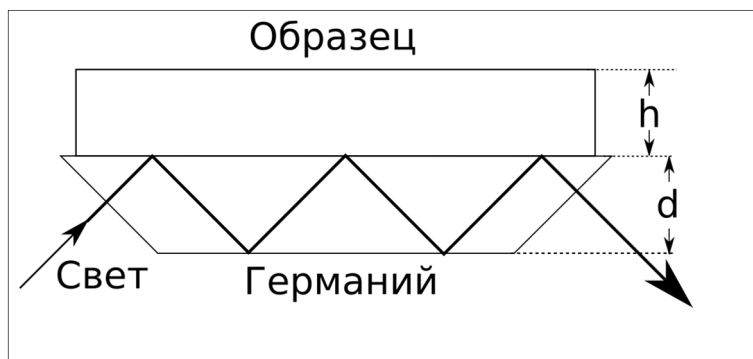
По ним протекал немалый ток, и выделялось Джоулево тепло, так как обычные металлы не являются сверхпроводниками.

*Почему Кью заменил алюминий на серебро?*

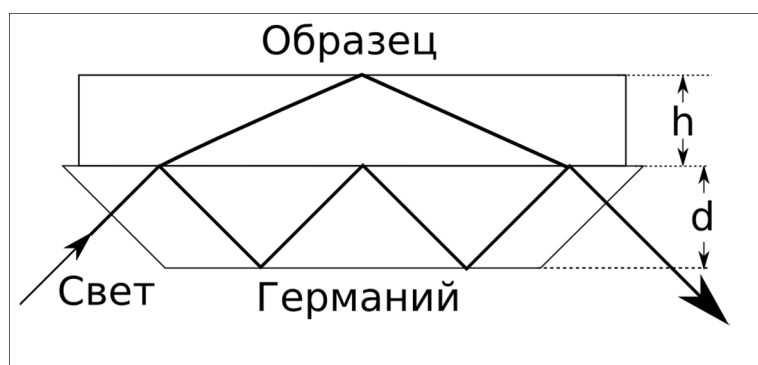
У серебра значительно лучше проводимость, чем у алюминия или меди. Это позволяет уменьшить омические потери и нагрев системы от протекания тока.

## Спектроскопия поглощения

Ход лучей: во втором случае (вода) наблюдается полное внутреннее отражение.



В первом случае (кремний) наблюдается преломление:



Лучи будут преломляться, если нет эффекта полного внутреннего отражения, т. е. если:

$$n_2 > n_1 \cdot \sin 45^\circ = n_1 / \sqrt{2} = 2.82 \quad (3)$$

Можно также отдельно отметить, что при  $n = 4$ , некорректно говорить о преломлении. В обоих случаях лучи выйдут в центре правой скошенной грани по нормали к ней.

## Ближнепольный оптический микроскоп.

Интенсивность света в оптоволокне:

$$I_{int} = \frac{4w}{\pi b^2} = 5 \cdot 10^9 \text{ Вт/м}^2 . \quad (4)$$

Искомая интенсивность:

$$I = I_{int} \cdot e^{-h/d} = \frac{4w}{\pi b^2} e^{-h/d} = 3.4 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2 \quad (5)$$

Интенсивность солнечного излучения:

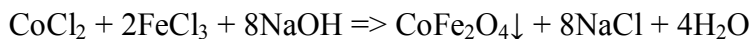
$$I_{solar} = \frac{3.8 \cdot 10^{26}}{2.8 \cdot 10^{23}} = 1361 \text{ Вт/м}^2 \quad (6)$$

Т.е. интенсивность освещения в микроскопе много больше интенсивности солнечного света, поэтому специальные осветительные приборы необходимы.



## Дело о чёрном стрелке

*Напишите уравнения реакций получения частиц, которые использовал Мориарти.*



*Почему снаряд обладал магнитными свойствами, хотя водный раствор в целом, мог быть маловосприимчивым к действию магнитного поля?*

Раствор – магнитная жидкость. Если её вязкость незначительна, или магнитной фазы мало, то частицы поворачиваются в магнитном поле не увлекая её за собой. В замороженном состоянии их вращение затруднено (либо невозможно) и они проявляют суммарные магнитные свойства, то есть ведут себя как единый магнит.

*Объясните причину провала Мориарти. Почему снаряд либо летал медленно, либо не летал вообще? В своих опытах Мориарти варьировал только силу тока в электромагните. Укажите, что необходимо изменить в схеме установки, чтобы она всё-таки заработала как ускоритель.*

Феррит кобальта, конечно, магнитожёсткий материал, однако при действии мощного поля он способен менять полярность. (подробнее см. Петля гистерезиса) В результате, мощное поле просто перемагничивает снаряд, он прилипает к электромагниту и никуда не летит. Если поле более слабое, то оно толкает его. Однако, поскольку напряжённость поля быстро убывает с расстоянием и его действие на снаряд в итоге получается незначительным. Снаряд летит медленно и недалеко. Для получения значительной скорости снаряда необходима протяжённая система сравнительно маломощных электромагнитов, которые не будут его перемагничивать, а будут только толкать.

*Как и на каком физическом принципе работал фокус Холмса по расплавлению статуэток?*

В мощном переменном магнитном поле наблюдается интенсивное поглощение энергии частицами феррита кобальта и превращение её в тепловую. Тепловая энергия вызывает плавление льда. Принцип – нагрев суперпарамагнитных частиц в высокочастотном магнитном поле.

## Графеновые нановесы

Зная объемную плотность графита  $\rho_{\text{графита}}$  и расстояние между графеновыми слоями  $h = 0,335$  нм (см. рис. 2), можно рассчитать поверхностную плотность графена:  $\rho_{\text{графена}} = \rho_{\text{графита}} \cdot h \approx 0,74 \cdot \text{мг/м}^2$ . Пусть сначала измеряется частота колебаний нановесов без "груза":

$$f_1 = \frac{1}{\sqrt{\rho_{\text{графена}}}},$$

тогда ближайшая к этой величине частота, которая может быть зафиксирована с учетом погрешности системы будет равна:

$$f_2 = f_1 - \Delta f = f_1(1 - 10^{-7}).$$

С этой частотой связана минимально измеряемая масса  $m$ :

$$f_2 = \frac{1}{\sqrt{\rho_{\text{графена}} + m/S}}.$$

Запишем отношение:  $\frac{f_2}{f_1} = \frac{\sqrt{\rho_{\text{графена}}}}{\sqrt{\rho_{\text{графена}} + m/S}} = 1 - 10^{-7}$ . Откуда, пренебрегая

малыми по порядку величины слагаемыми:

$$m \approx 2 \cdot 10^{-7}, \quad \rho_{\text{графена}} \cdot S \approx 5,3 \cdot 10^{-26} \text{ кг}.$$

Разделив полученный результат на значение 1 а.е.м. =  $1,66 \cdot 10^{-27}$  кг, получаем  $m = 32$  а.е.м., что соответствует массе молекулы кислорода.

## МАТЕМАТИКА (ОЧНЫЙ ТУР)

### Гомеопатическое разведение

1) Объем одной наночастицы равен  $V_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi \cdot 10^3 \cdot 10^{-27} = 4,19 \cdot 10^{-24} (\text{м}^3)$ .

2) Объем всех наночастиц составляет  $V = N \cdot V_1 = m/\rho$ , где

$$N = \frac{m}{V_1 \rho} = \frac{m_{\text{мг}} \cdot 10^{-6}}{4,19 \cdot 10^{-24} \cdot \rho_{\text{г/см}^3} \cdot 10^3} = \frac{m_{\text{мг}}}{4,19 \cdot \rho_{\text{г/см}^3} \cdot 10^{-15}} \approx 5 \cdot 10^{15} - \text{число всех}$$

наночастиц в исходной навеске.

3) При каждом разведении число наночастиц в 1 литре уменьшается в 10 раз. При 14-ти кратном повторении разведения оно, соответственно, уменьшится в  $10^{14}$  раз:

$$N_{14} = \frac{N}{10^{14}} = \frac{m_{\text{мг}}}{4,19 \cdot \rho_{\text{г/см}^3} \cdot 10^{-15} \cdot 10^{14}} = \frac{10m_{\text{мг}}}{4,19 \rho_{\text{г/см}^3}} = \frac{10 \cdot 220}{4,19 \cdot 10,5} \approx 50.$$

4) При равномерном распределении наночастиц в объеме суспензии в каждую из пробирок попадет максимум одна наночастица. Тогда число пробирок, в которые наночастица не попала, равно  $1000 - N_{14} = 1000 - \frac{10m_{\text{мг}}}{4,19 \rho_{\text{г/см}^3}} = 950$ .

### Теорема Эйлера для УНТ

Общее число граней для рассматриваемой трубки:  $\Gamma = \Gamma_4 + \Gamma_5 + \Gamma_6 + \Gamma_8$

Общее число рёбер:  $\mathbf{P} = \frac{1}{2} * (4\Gamma_4 + 5\Gamma_5 + 6\Gamma_6 + 8\Gamma_8)$

Общее число вершин:  $\mathbf{B} = \frac{1}{3} * (4\Gamma_4 + 5\Gamma_5 + 6\Gamma_6 + 8\Gamma_8)$

Тогда, подставляя в теорему Эйлера, получаем:

$$\frac{1}{3} * (4\Gamma_4 + 5\Gamma_5 + 6\Gamma_6 + 8\Gamma_8) - \frac{1}{2} * (4\Gamma_4 + 5\Gamma_5 + 6\Gamma_6 + 8\Gamma_8) + \Gamma_4 + \Gamma_5 + \Gamma_6 + \Gamma_8 = 2$$

Общее уравнение, связывающее число граней разного типа:  $2\Gamma_4 + \Gamma_5 = 12 + 2\Gamma_8$ .

Тогда  $\Gamma_5 = 12 + 2\Gamma_8 - 2\Gamma_4 = 12 + 2*4 - 2*2 = 16$ . Т.е.  $\Gamma_5 = \underline{16}$

### Считаем узлы дендримеров

1.  $M(G)$  представляет собой  $G$ -й член геометрической прогрессии с первым членом  $M(1) = X$  и знаменателем  $q = (X - 1)$ . Таким образом,  $M(G) = M(1)q^{G-1} = X(X - 1)^{G-1}$ .

В свою очередь,  $N(G)$  является суммой первых  $G$  членов такой геометрической прогрессии для  $q \neq 1$  и «центрального» узлового атома:

$$N(G) = 1 + \sum_{k=1}^G M(k) = 1 + \sum_{k=1}^G M(1)q^{k-1} = 1 + \frac{M(1)(1 - q^G)}{1 - q} = 1 + \frac{X(1 - (X - 1)^G)}{1 - (X - 1)} = \frac{X(X - 1)^G - 2}{X - 2}.$$

$$2. M(3) = 4(4 - 1)^{3-1} = 36, N(3) = \frac{4(4 - 1)^3 - 2}{4 - 2} = 53$$

## Сверток

Рассмотрим сверток. Его сечение можно представить как спираль расстоянием между витками  $d$ . Предположим, число витков в данном свертке равно  $x$ . Тогда, диаметр данного свертка равен  $D = 2dx = 2 \cdot 0,65 \cdot 16 = 20,8$  нм.

Рассмотрим площадь сечения свертка. С одной стороны, она равна площади окружности с радиусом  $R = dx$ ,  $S = \pi d^2 x^2$ , с другой стороны, ее можно приблизительно оценить как произведение длины развертки  $L$  на шаг спирали  $d$ .

$$\text{То есть, } Ld = \pi d^2 x^2 \text{ и } L = \pi dx^2 = 3,14 \cdot 0,65 \cdot 16^2 = 522 \text{ нм (499,2 если } \pi = 3)$$

## Расшифровка ДНК

Число вариантов структуры одноцепочечного фрагмента ДНК, составленного из 10 нуклеотидов  $T$  и 4 нуклеотидов  $G$ , равно числу возможных вариантов расположения 10 нуклеотидов в цепочке длиной в  $(10 + 4)$  нуклеотидов:

$$C_{10+4}^4 = C_{10+4}^{10} = \frac{14!}{10!4!} = \frac{11 \cdot 12 \cdot 13 \cdot 14}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} = 11 \cdot 1 \cdot 13 \cdot 7 = 1001.$$

## Поиск нанотрубок *in silico*: прежде, чем нажать Enter

Запишем условие равенства диаметров двух углеродных нанотрубок через их индексы хиральности:

$$a\sqrt{3}\sqrt{n_1^2 + n_1m_1 + m_1^2}/\pi = a\sqrt{3}\sqrt{n_2^2 + n_2m_2 + m_2^2}/\pi. \quad (1)$$

$$\text{Это равнозначно условию } n_1^2 + n_1m_1 + m_1^2 = n_2^2 + n_2m_2 + m_2^2. \quad (2)$$

**а)** Преобразуем данное равенство с учетом дополнительных условий, накладываемых на индексы хиральности нанотрубок их типами. Первая нанотрубка должна быть зубчатой ( $n_1, n_1$ ), то есть, левая часть уравнения (2) преобразуется к виду  $3n_1^2$ . Вторая нанотрубка, согласно условию – зигзагообразная ( $0, n_2$ ). С учетом данного условия уравнение (2) преобразуется к следующему виду:

$$3n_1^2 = n_2^2. \quad (3)$$

$$\text{То есть, } n_2/n_1 = \sqrt{3}.$$

Поскольку  $\sqrt{3}$  - иррациональное число (то есть оно не может быть представлено соотношением двух рациональных чисел), то зубчатая и зигзагообразная нанотрубки не могут иметь одинаковую толщину ни при каких значениях индексов хиральности.

### **б)**

1) По условию, металлическим типом проводимости обладает любая углеродная нанотрубка, для которой индексы хиральности удовлетворяют следующему условию:

$$m - n = 3k, \quad k \in N_0. \quad (4)$$

Полупроводниковыми будут все нанотрубки, не удовлетворяющие ему:

$$m - n \neq 3k \text{ или}$$

$$m - n = 3k + 1, \quad m - n = 3k + 2, \quad m - n = 3k - 1, \quad m - n = 3k - 2 \quad (5)$$

Или, в общем виде:

$$m - n = 3k \mp 1 \quad (6)$$

Вариант 1. 2) Преобразуем равенство (2) с учетом выполнения условия (4) для индексов хиральности первой нанотрубки и условия (6) для индексов хиральности второй:

$$3(n_1^2 + 3k_1n_1 + 3k_1^2) = 3(n_2^2 + 3k_2n_2 + 3k_2^2) \mp 3n_2 \mp 6k_2 + 1. \quad (7)$$

Разделив на 3, получаем

$$n_1^2 + 3k_1n_1 + 3k_1^2 = n_2^2 + 3k_2n_2 + 3k_2^2 \mp n_2 \mp 2k_2 + 1/3. \quad (8)$$

По условию,  $n \in N_0$  и  $k \in N_0$ , значит  $(n_1^2 + 3k_1n_1 + 3k_1^2) \in N$ , поскольку произведение и сумма любых натуральных чисел является натуральным числом. В то же

время,  $(n_2^2 + 3k_2n_2 + 3k_2^2 \mp n_2 \mp 2k_2 + 1/3) \notin \mathbb{N}$ , поскольку в данном выражении кроме натуральных слагаемых также присутствует нецелочисленное слагаемое  $1/3$ . Следовательно, уравнение (8) не имеет решения в натуральных числах.

Вариант 2. 2) Преобразуем равенство (2) с учетом выполнения условия (4) для индексов хиральности первой нанотрубки:

$$3(n_1^2 + 3k_1n_1 + 3k_1^2) = n_2^2 + n_2m_2 + m_2^2 \quad (9)$$

$$3(n_1^2 + 3k_1n_1 + 3k_1^2) = (m_2 - n_2)^2 + 3n_2m_2 \quad (10)$$

3) Для произвольных  $n_2, m_2 \in \mathbb{N}_0$  равенство (10) будет справедливо только при условии  $(m_2 - n_2) \vdots 3$ , что противоречит начальному условию (6) для второй нанотрубки.

Не существуют такие пары индексов хиральности  $(n_1, m_1)$  и  $(n_2, m_2)$ , которые отвечают двум нанотрубкам с одинаковыми диаметрами, но разными типами проводимости.

## Усеченный тетраэдр

1 а) Как можно видеть, на каждой треугольной грани  $Y$  можно «достроить» тетраэдры, на ребро которых приходится  $x - 1$  атом (на один меньше, чем ребро  $Y$ ). При этом  $Y$  будет дополнен до «исходного» неусеченного тетраэдра, на ребро которого придется  $x + 2(x - 1) = 3x - 2$  атома (ребро  $Y$  плюс удвоенное ребро «отсеченного» правильного тетраэдрического кластера). Таким образом, общее количество атомов в  $Y$  будет равно разности числа атомов в «исходном» тетраэдре  $T(3x - 2)$  и суммарного числа атомов в «отсеченных» тетраэдрах  $4 \cdot T(x - 1)$ :

$$K = T(3x - 2) - 4 \cdot T(x - 1) = \left( (3x - 2)^3 + 3(3x - 2)^2 + 2(3x - 2) \right) / 6 - 4 \cdot \left( (x - 1)^3 + 3(x - 1)^2 + 2(x - 1) \right) / 6$$

$$K = \left( (3x - 2)^3 + 3(3x - 2)^2 + 2(3x - 2) - 4((x - 1)^3 + 3(x - 1)^2 + 2(x - 1)) \right) / 6$$

$$K = x(23x^2 - 27x + 10) / 6$$

б) По условию,  $x = 60$ ,  $K = 60(23 \cdot 60^2 - 27 \cdot 60 + 10) / 6 = 811900$  атомов.

в) Для  $x = 1$   $K = 1(23 \cdot 1^2 - 27 \cdot 1 + 10) / 6 = 1$ , но отдельный атом не имеет форму усеченного тетраэдра. Чтобы задать форму  $Y$ , необходимо, чтобы в каждой вершине было по атому, то есть, минимум два атома на ребро. Тогда для  $x = 2$   $K = 2(23 \cdot 2^2 - 27 \cdot 2 + 10) / 6 = 16$ .

2. Выведем формулу для радиуса сферы, описанной вокруг правильного усеченного тетраэдра. Для этого построим сечение «исходного» правильного тетраэдра, проходящее через его центр и две вершины –  $\triangle ABC$  (Рис.1).

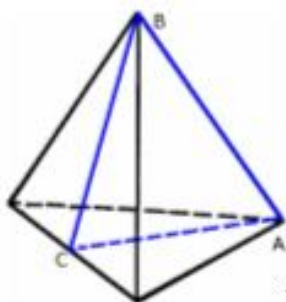


Рис. 1.

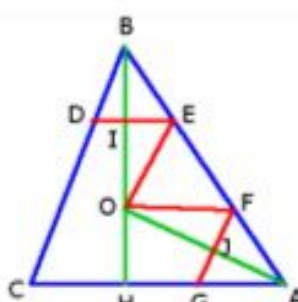


Рис. 2.

Треугольник  $ABC$  – сечение исходного правильного тетраэдра:

- $AB = A$  – ребро «исходного» тетраэдра,
- $AC = BC = \frac{\sqrt{3}}{2} A$  – высота треугольной грани «исходного» тетраэдра,
- $BO = OA = \frac{\sqrt{6}}{4} A$  – радиус сферы, описанной вокруг «исходного» тетраэдра,

- $\mathbf{OH} = \frac{\sqrt{6}}{12} \mathbf{A}$  - радиус сферы, вписанной в «исходный» тетраэдр.

По условию, все ребра усеченного тетраэдра равны между собой, одновременно, его треугольные грани совпадают с гранями «отсеченных» правильных тетраэдров с вершинами в точках  $\mathbf{A}$  и  $\mathbf{B}$ , то есть:

$$\mathbf{AB} = \mathbf{AF} + \mathbf{FE} + \mathbf{EB} = \mathbf{A} \text{ и } \mathbf{AF} = \mathbf{FE} = \mathbf{EB} = \mathbf{a}, \text{ тогда } \mathbf{A} = 3\mathbf{a}.$$

$$\text{Следовательно, } \mathbf{DE} = \mathbf{DB} = \mathbf{FG} = \mathbf{GA} = \frac{\sqrt{3}}{2} \mathbf{a} \text{ - высота грани «отсеченного»}$$

правильного тетраэдра, а  $\mathbf{BI} = \mathbf{AJ} = \sqrt{\frac{2}{3}} \mathbf{a}$  - высота «отсеченного» правильного тетраэдра,

$\mathbf{EO} = \mathbf{FO} = \mathbf{R}'$  – искомый радиус описанной сферы.

Как можно видеть по рисунку,  $\mathbf{EO} = \mathbf{R}'$  – это гипотенуза прямоугольного треугольника  $\Delta \mathbf{OIE}$ . Сначала найдем катеты данного треугольника:

$$\mathbf{EI} = \frac{2}{3} \mathbf{DE} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \mathbf{a} = \frac{\mathbf{a}}{\sqrt{3}} \text{ и } \mathbf{OI} = \mathbf{BO} - \mathbf{BI} = \frac{\sqrt{6}}{4} \mathbf{A} - \sqrt{\frac{2}{3}} \mathbf{a} = \frac{3\sqrt{6}}{4} \mathbf{a} - \sqrt{\frac{2}{3}} \mathbf{a} = \frac{5\sqrt{2}}{4\sqrt{3}} \mathbf{a}.$$

Найдем  $\mathbf{OE}$  по теореме Пифагора:

$$\mathbf{EO} = \mathbf{R}' = \sqrt{\left(\frac{5\sqrt{2}}{4\sqrt{3}} \mathbf{a}\right)^2 + \left(\frac{\mathbf{a}}{\sqrt{3}}\right)^2} = \mathbf{a} \sqrt{\frac{50}{48} + \frac{1}{3}} = \mathbf{a} \sqrt{\frac{66}{48}} = \mathbf{a} \sqrt{\frac{11}{8}} = \frac{\mathbf{a} \sqrt{22}}{4}.$$

Рассчитаем радиус кластера:  $\mathbf{a} \approx 2\mathbf{r} \cdot 60 = 120\mathbf{r} = 16,8 \text{ нм}$  и  $\mathbf{R}' = \frac{16,8\sqrt{22}}{4} = 19,7 \text{ нм}.$

Также,  $\mathbf{EO}$  можно найти по теореме Пифагора как гипотенузу прямоугольного треугольника  $\Delta \mathbf{OH'E}$  (где  $\mathbf{H}'$  – центр шестиугольной грани усеченного тетраэдра):

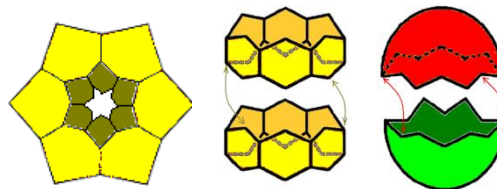
$$\mathbf{EO} = \mathbf{R}' = \sqrt{(\mathbf{OH}')^2 + (\mathbf{EH}')^2} = \sqrt{\mathbf{OH}^2 + \mathbf{a}^2} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{6}}{12} 2\mathbf{a}\right)^2 + \mathbf{a}^2} = \mathbf{a} \sqrt{\frac{6}{16} + 1} = \mathbf{a} \frac{\sqrt{22}}{4}.$$



## Фуллереновый конструктор, часть II

1. На рисунке изображены шапочки, содержащие от 1 до 4 шестиугольников. В 2-х таких шапочках может содержаться от 2 до 8 шестиугольников (соответственно, комбинируя только шапочки, можно получить фуллерены с  $2 \leq n_6 \leq 8$ ).

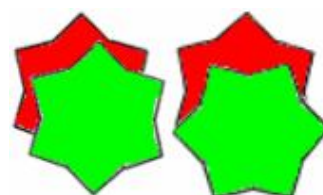
Пояса, каждый из которых содержит 6 шестиугольников, можно комбинировать не только с шапочками, но и друг с другом (см. рисунок), при этом можно получить пояса, содержащие любое количество шестиугольников, кратное шести.



Таким образом, можно предложить следующий алгоритм построения фуллерена для любого произвольного  $n_6 > 8$ . Соединим вместе количество поясов, равное целому от деления  $(n_6 - 2)$  на шесть. Поскольку остаток от деления на шесть принимает значения от 0 до 5-ти, то, таким образом, в шапочках надо будет разместить от  $0 + 2 = 2$  до  $0 + 5 = 7$  шестиугольников, что, как было показано ранее, возможно реализовать комбинацией из двух шапочек.

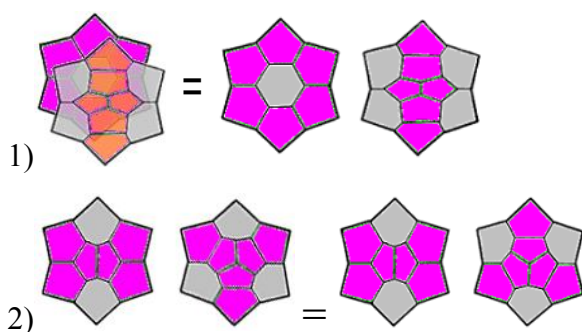
2. Необходимо найти все комбинации трех чисел  $\{1..4\}$ ,  $6m$ ,  $\{1..4\}$  которые в сумме дают содержащееся в фуллерене количество шестиугольников  $n_6$ .

Соединенные через один (а также через любое нечетное количество) поясов шапочки будут находиться друг под другом без поворота вокруг оси шапочки. Соединенные через четное количество поясов шапочки будут повернуты друг относительно друга на угол  $30^\circ$ :



а) Фуллерен  $C_{66}$  содержит 23 шестиугольника, которые можно представить из элементов конструктора двумя способами:  $23 = 1 + 6 \cdot 3 + 4 = 2 + 6 \cdot 3 + 3$

Обе комбинации шапочек фуллерена  $C_{66}$  не имеют зеркальных изомеров (содержат плоскость симметрии), казалось бы, разные расположения шапочек (2) совпадают при повороте на  $180^\circ$ :

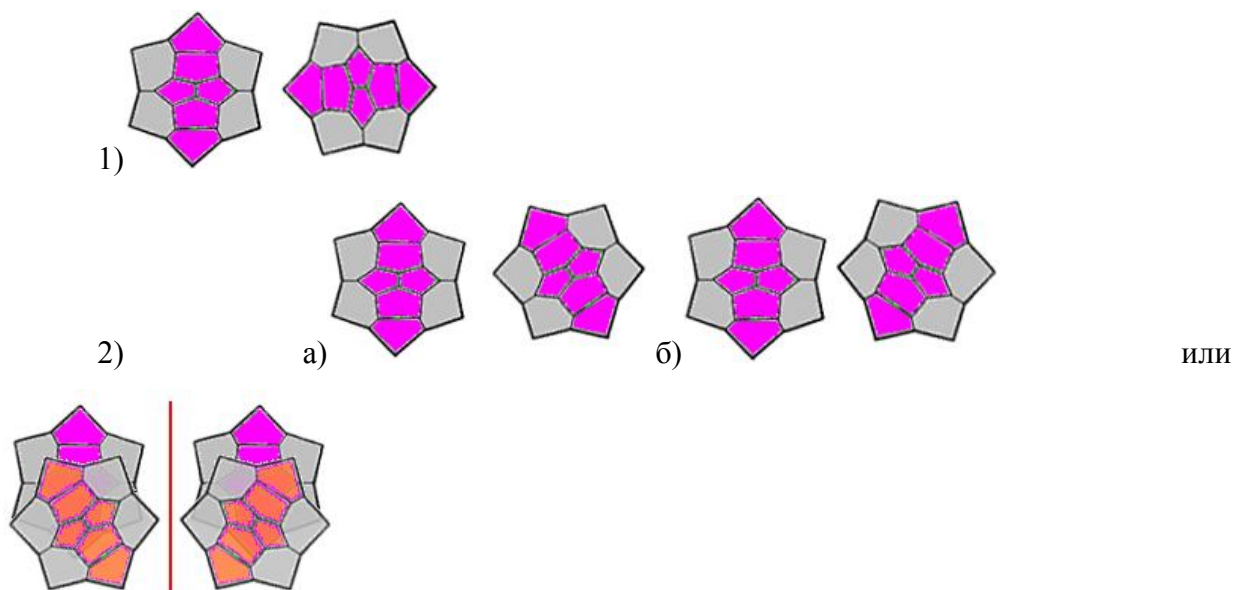


Т.е. из конструктора можно собрать два изомера фуллерена  $C_{66}$ .

б) Фуллерен  $C_{60}$  содержит 20 шестиугольников,  $20 = 1 + 6 \cdot 3 + 1 = 4 + 6 \cdot 2 + 4$

Комбинация шапочек 1+1 имеет единственный вариант взаимного расположения.

Для комбинации шапочек 4+4 возможно три варианта взаимного расположения шапочек:



Первый вариант не имеет оптических изомеров (содержится плоскость симметрии, при отражении в зеркале фуллерен совпадает сам с собой). Два оставшихся варианта являются парой стереоизомеров.

Таким образом, из конструктора можно собрать **четыре** изомера фуллерена  $C_{60}$ , два из которых являются зеркальными.

## Поры или частицы?

1. По определению, пористость равна

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

объем твердого вещества Наносорбента,  $V_n$  - суммарный объем пор,  $V_{\text{ТВ}} + V_n$  - общий объем Наносорбента.

То есть, суммарный объем пор равен  $V_n = \gamma(V_{\text{ТВ}} + V_n) = \gamma m/\rho'$ .

В то же время, по определению, суммарный объем пор равен  $V_n = \pi l_n r^2 = \frac{\pi l_n d^2}{4}$ .

Тогда кажущаяся плотность равна

$$\rho' = \frac{4\gamma m}{\pi l_n d^2} = \frac{4\gamma}{\pi l_{n(\text{уд})} d^2} = \frac{4 \cdot 0,65}{3,14 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot (9 \cdot 10^{-9})^2} = 1,14 \cdot 10^6 \text{ г/м}^3 = 1,14 \text{ г/см}^3$$

Следовательно, истинная плотность Наносорбента составляет

$$\rho = \frac{\rho'}{1 - \gamma} = \frac{1,14}{1 - 0,65} = 3,25 \text{ г/см}^3.$$

2. Суммарная площадь поверхности всех цилиндрических пор в Наносорбенте составляет:  $S_n = 2\pi l_n r = \pi l_n d$ , где  $l_n$  - суммарная длина всех цилиндрических пор.

Удельная площадь поверхности равна

$$S_{\text{уд}} = \frac{S_n}{m} = \frac{\pi l_n d}{m} = \pi l_{n(\text{уд})} d = 3,14 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 9 \cdot 10^{-9} = 254 \text{ м}^2/\text{г}.$$

3.

1) По определению,  $S_{\text{уд}} = \frac{S}{m} = \frac{S}{V\rho} = \frac{S_1 n}{V_1 n \rho} = \frac{S_1}{V_1} \cdot \frac{1}{\rho}$ , где  $S_1, V_1$  - площадь поверхности и объем одной частицы, соответственно,  $n$  - число частиц.

2) Выведем  $\frac{S_1}{V_1}$  для каждого из случаев:

а) шар:  $\frac{S_1}{V_1} = \frac{4\pi r^2}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{\pi d^2}{\pi d^3/6} = \frac{6}{d}$ ;

б) шестиугольная призма:  $\frac{S_1}{V_1} = \frac{6a^2 + 3\sqrt{3}a^2}{\left(\frac{3\sqrt{3}a^2}{2}\right)a} = \frac{2(2 + \sqrt{3})}{\sqrt{3}a} = \frac{2(2 + \sqrt{3})}{\sqrt{3}d}$ ;

в) четырехугольная пирамида:  $\frac{S_1}{V_1} = \frac{a^2 + 4 \cdot \sqrt{3}a^2/4}{a^3/(3\sqrt{2})} = \frac{3\sqrt{2}(1 + \sqrt{3})}{a} = \frac{3\sqrt{2}(1 + \sqrt{3})}{d}$ .

3) Рассчитаем  $S_{\text{уд}}$  для каждого из случаев:

а) шар:  $S_{уд} = \frac{6}{d} \cdot \frac{1}{\rho} = \frac{6}{9 \cdot 10^{-9} \cdot 3,25 \cdot 10^6} = 205 \text{ м}^2/\text{г};$

б) шестиугольная призма:  $S_{уд} = \frac{2(2+\sqrt{3})}{\sqrt{3}d} \cdot \frac{1}{\rho} = \frac{2(2+\sqrt{3})}{\sqrt{3} \cdot 9 \cdot 10^{-9} \cdot 3,25 \cdot 10^6} = 147 \text{ м}^2/\text{г};$

в) четырехугольная пирамида:  $S_{уд} = \frac{3\sqrt{2}(1+\sqrt{3})}{d} \cdot \frac{1}{\rho} = \frac{3\sqrt{2}(1+\sqrt{3})}{9 \cdot 10^{-9} \cdot 3,25 \cdot 10^6} = 396 \text{ м}^2/\text{г}.$

4) Соотношение удельных площадей поверхности для Наносорбентов **X** и **Y** составляет:

а) шар:  $\frac{S_{уд}(Y)}{S_{уд}(X)} = \frac{205}{254} \approx 0,81$  или  $\frac{S_{уд}(X)}{S_{уд}(Y)} = \frac{254}{205} \approx 1,24;$

б) шестиугольная призма:  $\frac{S_{уд}(Y)}{S_{уд}(X)} = \frac{147}{254} \approx 0,58$  или  $\frac{S_{уд}(X)}{S_{уд}(Y)} = \frac{254}{147} \approx 1,73;$

в) четырехугольная пирамида:  $\frac{S_{уд}(Y)}{S_{уд}(X)} = \frac{396}{254} \approx 1,56$  или  $\frac{S_{уд}(X)}{S_{уд}(Y)} = \frac{254}{396} \approx 0,64.$

## Ароматичность фуллеренов и гиперфуллеренов

Необходимо найти такое целочисленное значение параметра ( $M$  для  $A_{3D}$  или  $K$  для  $A_{4D}$ ), чтобы количество электронов согласно правилу ароматичности было наиболее близко к количеству электронов в молекуле  $n$ . Разность числа электронов между правилом ароматичности и количеством в нейтральной молекуле будет определять заряд ароматической частицы.

1. Предполагая нулевой заряд и приравнявая количество электронов правилу ароматичности  $A_{3D}$ :  $2(M+1)^2 = n$ , тогда  $M = \sqrt{n/2} - 1$

- для фуллерена  $C_{7200}$   $M = 59$  (т.е. удовлетворяет правилу ароматичности),

- для фуллерена  $C_{600}$   $M = 10\sqrt{3} - 1 \approx 16,3$  не удовлетворяет правилу ароматичности.

Поскольку  $A_{3D}$  монотонно возрастает, то ионы с минимальным зарядом необходимо искать при  $M = 16$  или  $17$ .  $A_{3D}(16) = 578$ ,  $q = 600 - 578 = +22$ .  $A_{3D}(17) = 648$ ,  $q = 600 - 648 = -48$ . Следовательно, минимальный заряд **+22**.

2.

$$A_{4D} = 2 \sum_{M=0}^{M=K} (M+1)^2 = 2 \sum_{L=1}^{L=K+1} L^2 = (K+1)(K+2)(2K+3)/3 = 2/3 \cdot K^3 + 3K^2 + 13/3 \cdot K + 2$$

3. Нахождение корней кубических уравнений возможно по формуле Кардано, однако расчет по ней слишком сложен без калькулятора. Проще воспользоваться указанным в условии методом деления отрезка пополам, учитывая, что  $K$  – целые числа. При этом удобнее проводить вычисления, подставляя  $K$  в разложенное на множители выражение  $A_{4D}$ .

Поскольку  $A_{4D}(16) > A_{3D}(16)$  и  $A_{4D}(59) > A_{3D}(59)$ , то без расчета точных значений  $A_{4D}$  можно предполагать, что для ароматических частиц додекаплекса  $C_{600}$  и гипербакибола  $C_{7200}$   $K < 16$  и  $K < 59$ , соответственно. Эти значения будем использовать в решении как верхние пределы.

Додекаплекс: делим отрезок  $[1;16]$  пополам, подставляем 8:  $A_{4D}(8) = 9 \cdot 10 \cdot 19 / 3 = 30 \cdot 19 = 570$  – близко, но меньше 600 ( $q = +30$ ).  $A_{4D}(9) = A_{4D}(8) + A_{3D}(9) = 570 + 2 \cdot (10)^2 = 570 + 200 = 770$ , что больше 600 ( $q = -170$ ). Значит, заряд ароматической частицы додекаплекса **+30** ( $K = 8$ ).

Гипербакибол: в качестве нижней границы можно взять уже рассчитанное  $A_{4D}(9) = 770$  и искать решение на отрезке  $[9;59]$ . Делим его пополам, подставляем 34:

$A_{4D}(34) = 35 \cdot 36 \cdot 71 / 3 = 35 \cdot 12 \cdot 71 = 29820$ , намного больше 7200, делим отрезок [9;34] пополам, подставляем 21:  $A_{4D}(21) = 22 \cdot 23 \cdot 45 / 3 = 22 \cdot 23 \cdot 15 = 7590$  – больше, но существенно ближе к 7200 ( $q = -390$ ).  $A_{4D}(20) = A_{4D}(21) - A_{3D}(21) = 7590 - 2 \cdot 22^2 = 7590 - 968 = 6622$  – меньше 7200 ( $q = +578$ ). Следовательно, минимальный заряд ароматической частицы гипербакибола составит **-390** ( $K = 21$ ).

## БИОЛОГИЯ (ОЧНЫЙ ТУР)

### Спортсмен Петя

- 1) Органелла А это гранулярный (шероховатый) эндоплазматический ретикулум, а органелла Б это комплекс Гольджи
- 2) Перенос белков в клетке осуществляется с помощью везикул
- 3) В комплексе Гольджи белки подвергаются модификации, к одним из них присоединяют углеводные молекулы с образованием гликопротеинов, у другим фосфатные и сульфатные группы, а также жирные кислоты. Также осуществляется протеолиз.
- 4) В гепатоцитах меньше шероховатого эндоплазматического ретикулума, чем в панкреотоцитах, так как в гепатоцитах производится больше гликогена, а в панкреотоцитах больше различных пищеварительных ферментов.

### Детские вопросы

- За цвет волоса отвечают клетки меланоциты, расположенные в луковице волоса. Они синтезируют волосяные пигменты: черно-коричневый эумеланин и желтый феомеланин. Их сочетание определяет цвет волос. А сами меланоциты образуются из стволовых клеток. С возрастом уменьшается количество меланоцитов и стволовых клеток. Кроме того в оставшихся меланоцитах накапливается перекись водорода, которая нарушает синтез фермента тирозиназы, отвечающей за выработку меланина. Эти же процессы происходят и при стрессе, однако процесс этот достаточно длительный, т.к. обесцвечивание волоса становится видно при его отрастании.

- кроме хлорофилла в листья содержится ряд других пигментов, таких как каротин, ксантофилл и антоцианы. При замедлении и остановке обмена веществ в листьях происходит разрушение хлорофилла, каротинов и ксантофиллов, а так же накопление антоцианов в листьях. Однако быстрее всего под действием света разрушается именно хлорофилл. Оставшиеся пигменты и придают листьям окраску от желтой до пурпурной.

## Транспорт в клетке

1. Пузырьки с медиатором при возникновении спайка сливаются с постсинаптической мембраной (важную роль играет вход кальция), происходит экзоцитоз их содержимого – медиатора - в синаптическую щель. К постсинаптической мембране транспорт происходит за счет простой диффузии.

2. г

3. При увеличении температуры скорость броуновского движения. а следовательно и скорость диффузии увеличивается.

4. АТФ здесь роли не играет.

5. Снижение концентрации происходит вследствие ферментативной деградации или обратного захвата на пресинаптической мембране (после связывания соответствующими рецепторами).

## мРНК

GAAUG GCC GAA AAC AAA ACC GAU UAU UCG GAG AUA UGA

Иницирующим кодоном является AUG, кодирующий аминокислоту метионин, найдем его (выделен желтым), после чего разделим последующие нуклеотиды на тройки и определим последовательность полипептидов:

Метионин-аланин-глутаминовая кислота-аспарагин-лизин-треонин-аспарагиновая кислота-тирозин-серин-глутаминовая кислота-изолейцин-селеноцистеин

MAENKTDYSEIU

Последний кодон является терминирующим, однако при некоторых условиях, а именно наличии особой последовательности SECIS, он кодирует аминокислоту селенцистеин. На схематическом рисунке изображена последовательность SECIS таким образом можно предположить, что данный полипептид содержит селенцистеин.

Известно, аминокислоты аспарат и глутамат несут единичный отрицательный заряд (выделено серым), а аминокислоты лизин, аргинин и гистидин несут единичный положительный заряд (подчеркнуто). Таким образом, заряд полипептида при нейтральном рН составляет -2.



## **Ядовитые истории**

Кураре (то есть курарины, входящие в его состав) блокируют никотиновые ацетилхолиновые рецепторы, препятствуя связыванию ацетилхолина с ними. Возбуждение, приходящее по нервным волокнам к мышцам вызывает выброс ацетилхолина, но он не связывается с рецепторами на мембране мышечных клеток, не развивается деполяризация мембраны мышечных клеток, не происходит сокращения. Т.е. возбуждение от нервной системы не передается на мышцы. Работа сердца регулируется вегетативной нервной системой. В вегетативной нервной системе ацетилхолин действует через мускариновые рецепторы, а соответственно кураре на них никак не влияет.

## “Найти и заменить”

1. Для создания пор в мембране существует много способов:

- 1) электропорация,
- 2) ультразвук (сонопорация),
- 3) оптическая трансфекция (лазером),
- 4) с помощью магнитных наночастиц (под воздействием магнитного поля),
- 5) сшивка вектора с нанопроволокой, с помощью расстрела клетки из генной пушки вектором с пришитыми наночастицами золота

2. ДНК прокариот от ДНК эукариот по составу нуклеотидов не отличается, для ДНК эукариот характерна большая доля незначимых избыточных последовательностей нуклеотидов, которые не играют роли в кодировании белков и РНК. В связи с этим, по-видимому, в составе нанотранспортера можно использовать и бактериальную ДНК.

## Передача сигнала

1) Сенсорный нейрон – это нейрон отростки которого образуют рецепторы на кожи и внутренних органах и тканях, функцией его является детектирование изменений и передача информации на другие типы нейронов. Триггерный или вставочный нейрон получает информацию от одного или нескольких сенсорных нейронов, а так же от других триггерных нейронов, модифицирует приходящие сигнал, и передает его на моторные нейроны или на другие триггерные. Моторные нейроны имеют окончания своих аксонов в мышцах, сигнал от моторных нейронов заставляет мышцу сокращаться или расслабляться.

2) е

3) b

4) с

5) е

6) Существует система белков работающих по принципу лиганд-рецептор, которые определяют, в какое место клетки должна быть доставлена везикула.

## Цветочки

1 а, в, г.

2 б и в.

3 нельзя. Прежде всего, раствор наночастиц серебра имеет не золотой цвет, а следовательно, простого “золотого” окрашивания получить не удастся. Даже если в каких-то условиях получится покрытие цветка тонким слоем золота приведет к закупорке устьиц и гибели клеток.

4. Например, каротиноиды, дающие желто-оранжевый цвет. Каротиноиды также содержатся в листьях в фотосинтетическом аппарате – в хлоропластах, а также в корнеплоде моркови. Цвет листьев (подавляющего большинства) – зеленый – определяет пигмент хлорофилл, содержащийся в хлоропластах и необходимый для протекания световой фазы фотосинтеза. Другой пигмент листьев – это каротиноиды, также содержащиеся в хлоропластах в так называемых свето-собирающих комплексах или антеннах, необходимых для собирания и передачи энергии первой и второй фотосистемам. Возможны и другие примеры.

5. В экспериментах с металлическими наночастицами показано, что при попадании наночастиц в землю, в первую очередь накопление наночастиц будет происходить в пучках флоэмы — сосудистых элементах, обеспечивающих транспорт воды и солей к стеблю, листьям и цветам. При длительном «поливе» растений коллоидным раствором наночастицы будут обнаруживаться в стволе/стебле и листьях/цветах, при этом концентрация наночастиц будет падать в ряду корни>стебель/ствол>листья/цветы. При опрыскивании растений коллоидным раствором сверху, напротив, наночастицы в первую очередь будут накапливаться в листьях и цветах и, возможно, потом плодах. И в меньшей степени в стволе/стебле и корнях. 6. Если наночастицы в относительно небольшом количестве попали только на верхние листья и цветы, то более вероятно, что они останутся там и в верхних побегах, к которым верхние листья транспортируют синтезированные углеводы. При попадании наночастиц на самые нижние листья возможно накопление наночастиц в этих листьях, нижних побегах и корнях. (Такое распределение наночастиц связано с тем, что листья «обслуживают» преимущественно те части растения, которые к ним расположены. Так, верхние листья транспортируют углеводы к верхним побегам и плодам, нижние листья — нижние побеги и корни. Распределение наночастиц в растениях еще мало изучено, однако можно предположить, что наночастицы могут переноситься от листьев к другим

органам растения с током углеводов по ксилемме). Длительный полив растения наночастицами может вызвать замедление роста, закупоривание проводящих элементов корней, ствола, стеблей и листьев крупными агрегатами наночастиц. Кроме того, возможно изменение функционирования многих ферментных систем клеток растений, например, систем защиты клеток от активных форм кислорода, образующихся при фотосинтезе.

## Марафонцы

1. а. Многочисленные потовые железы позволяют охлаждать весь организм, избегая перегрева и теплового удара.

б. Арочное строение стопы, длинные кости плюсны и короткие фаланги пальцев на ногах создают “пружинистость” при беге, которая смягчает удар ноги о землю и позволяет избежать травм коленных суставов и позвоночника от “сотрясений” при беге.

1.в. Такое распределение длины костей конечностей+массы мышц позволяет делать максимально длинный шаг в беге при минимально возможной затрате усилий.

1.г. Несинхронность беговых и дыхательных движений позволяет человеку варьировать частоту дыхания и, тем самым, регулировать метаболизм в зависимости от своего состояния.

1.д. Это позволяет сделать несинхронными беговые и дыхательные движения.

1.е. Длинная гибкая талия позволяет человеку шевелить торсом при беге и совершать движения руками в такт бегу.

2. При описании возможных материалов, которые могли бы использовать Миша и Катя, оценивается развернутость и аргументированность ответа. Очевидно, что должны использоваться легкие и прочные материалы, а также элементы, уменьшающие трение “костей” при движении робота.

3. Идеальная одежда должна обеспечивать быстрое выведение пота, чтобы способствовать охлаждению организма, но при этом должна сохранять тепло при понижении температуры окружающей среды (во многих ультрамарафонах бег растягивается на ночь и день и поэтому одежда должна обеспечивать комфортные условия при высоких и при достаточно низких температурах). В настоящее время оптимальными для этой цели являются так называемые мембранные ткани, в которых переплетение синтетических нитей создает своеобразные «воронки», быстро выводящие влагу наружу. При этом тонкие мембранные ткани сохраняют тепло даже при низких температурах при условии, что человек активно двигается. Естественно, покрой одежды должен обеспечивать свободу движений. Одно из основных требований к обуви — это не препятствовать собственному «пружинному» движению стопы при беге. За последние десятилетия было проведено много исследований, показавших, что обувь со сложными супинаторами, подпяточниками, защитой лодыжек от подворачивания может приводить к травмам и повреждениям стопы, коленей и позвоночника, что в особенности проявляется при длительном беге (например, см. Lieberman D.E. et.al, Nature 2010, v.463,

531-535. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot runners versus shod runners). В связи с этим, оптимальной обувью является та, которая создает эффект «босых ног», повторяя анатомические особенности стопы, обеспечивает защиту от механических повреждений кожи стопы грунтом при беге, способствует быстрому выведению пота и любой жидкости наружу и сделана из легких материалов. Фантазируя, можно еще предложить особые носки, пропитанные наночастицами серебра и каким-нибудь лекарственным препаратом, которые будут обладать антибактериальным эффектом (наночастицы серебра) и будут способствовать быстрому заживлению натертых участков кожи.

4. Из особенностей метаболизма следует выделить способность организма при длительных нагрузках расщеплять запасы гликогена, использование окислительного фосфорилирования и гликолиза для синтеза АТФ, активное удаление продуктов распада не только через почки, но и через пот. Высокоразвитая ЦНС позволяет принимать решение о правильном распределении усилий, скорости бега, технике движения рук и ног в разные периоды бега.

5. Такими препаратами могут быть капсулы, гели, батончики, содержащие молекулы, активно используемые в мышцах при сокращении. Например, карнитин — вещество, синтезирующееся в человеческом организме в печени и почках и транспортирующееся во все органы. Карнитин транспортирует жирные кислоты в митохондрии и тем самым способствует синтезу NADH и АТФ. Потребление карнитина увеличивает устойчивость организма к стрессам и увеличивает физическую активность. Инъекция раствора АТФ также будет повышать физическую активность. Однако следует отметить, что в большинстве соревнований использование подобных веществ запрещается. В качестве правильного ответа также можно засчитать вариант с использованием препаратов, способствующих выведению продуктов распада белков из организма при активных нагрузках.

## Плаферы с апвелами

Производство фитопланктона на плаферах будет ограничиваться мощностью светового потока от солнца, растворимостью в воде кислорода, необходимого для дыхания, и углекислого газа, необходимого для темновых реакций фотосинтеза. Кроме того, продуктивность будет ограничена количеством растворенных минеральных веществ, прежде всего азота и фосфора. Растворимость газов в воде обратно зависит от температуры, поэтому с этой точки зрения плаферы выгоднее устраивать там, где вода холодная, например в высоких широтах, однако значительную часть года инсоляция там будет низкая. С другой стороны, солнечного света много вблизи экватора, но там слишком теплая вода. Поэтому оптимальный выбор – тропические широты, вблизи холодных течений или на них.

Опасности плаферов для окружающей среды: неконтролируемое разрастание высокопродуктивных водорослевых культур (“цветение”), обеднение морской воды кислородом и минеральными веществами т.п. Можно упомянуть о вторичной опасности, создаваемой уже установками по ферментации биомассы и производства топлива. Опасности со стороны окружающей среды: поедание водорослей зоопланктоном, течения и штормы, стремящиеся размыть ферму, и т.п. В обоих случаях принимаются во внимание любые не лишённые смысла версии.

Производство топлива можно условно разделить на два варианта: (1) сами водоросли производят почти готовое топливо и (2) топливо получается ферментацией концентрированной биомассы водорослей. В первом случае – это, например, синтез и накопление жирных кислот (масла) водорослями. В результате получается биодизель. Возможен крекинг с получением и бензина. Не исключена возможность создания генно-модифицированных организмов, синтезирующих относительно нетоксичный и легко сепарируемый более низкомолекулярный продукт, например изобутанол, который может использоваться напрямую вместо бензина. Во втором случае – это либо сбраживание дрожжами и производства топливного этанола, либо производство биогаза, либо производство смеси бутанола, спирта и ацетона при т.н. А.В.Е.-ферментации биомассы бактериями рода *Clostridium*. Предпочтительность топлива определяется задачами: если требуется быстрый цикл производства, то ферментировать биомассу предпочтительнее, поскольку культуры, синтезирующие масло растут медленнее. С другой стороны, не любые двигатели могут работать на топливном спирте. Например, для дизельных



двигателей предпочтительнее “масличные” культуры водорослей. Так что выбор должен определяться потребностями близлежащих потребителей топлива.

Как видно из названия, эти трубы нужны для upwelling’a — поднимания ближе к поверхности холодных глубинных вод, богатых минеральными веществами.

Для сравнения эффективности современного топлива и биотоплива необходимо сравнить следующие факторы: затраты на добычу, возобновляемость топлива, удельные теплоты сгорания топлив и экологическую опасность/безопасность продуктов переработки топлива.

Полная свобода ответа – принимаются любые идеи, ненарушающие физических принципов. Например, разведение не одноклеточных, а многоклеточных нитчатых водорослей, которые будут прикрепляться к предоставленному субстрату в виде решеток, или разведение рыбы, поедающей зоопланктон, и т. п.



## Оптогенетика

1. Белки – светоактивируемые белковые каналы, проводящие ионы.  
Подсказка в слове «каналродопсин»

2. Светочувствительный пигмент – вариации ретиналя, подсказка - «родопсин»

3. При освещении и активации каналродопсина – вход катионов (неспецифический), т.к. известно, что начинают генерироваться ПД, необходима деполяризация. При активации галородопсина – вход анионов – в данном случае хлора, как основного потенциалобразующего аниона, гиперполяризация мембраны, снижение способности генерировать ПД.

4. *In vitro* – могут быть различные варианты, например электропорация. В живом организме, например у мышей, используют вирусные векторы. Для избирательной экспрессии пришивают различные промоторы.

5. Основное преимущество - это возможность избирательного возбуждения только определенного типа клеток, в которых избирательно экспрессируется данный белок (например, серотонин-эргических нейронах и т.п.), при электрическом возбуждении активируются все нейроны, расположенные поблизости от электрода (при опытах на целых животных). Кроме того, можно (на мелких животных) бесконтактно возбуждать клетки, если покровы животного проницаемы для света.

6. Флуоресцентные белки пришивают как правило для того, чтобы в последующих исследованиях срезов мозга локализовать модифицированные нейроны. Кроме того, возможен вариант, когда длина волны флуоресценции химерного белка является возбуждающей для другого светочувствительного белка, что дает дополнительные возможности по постановке эксперимента.

7. При освещении синим светом активируются ГАМК-эргические нейроны, которые подавляют активность DA -эргических нейронов. Нейрон 1 – выключится. При включении желтого света откроются каналы галородопсина в NA-эргических нейронах, активность их упадет, снизится активация DA-эргического нейрона, он также перестанет генерировать ПД – результат тот же, что и в 1 случае. Во флуоресцентном микроскопе при возбуждении синим цветом видим все ГАМК-эргические нейроны (в которых экспрессируется химерный белок ChR-GFP), они окрашены в сине-зеленый цвет. При возбуждении оранжевым светом видим все NA-эргические-нейроны, в которых экспрессирован белок HR-GFP, они окрашены красным.

# КОПИИ ЗАДАНИЙ ОЧНОГО ТУРА ОЛИМПИАДЫ

## Химия

VI Всероссийская олимпиада "Нанотехнологии - прорыв в будущее!"

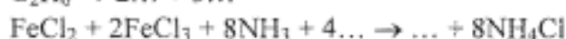
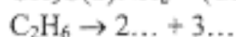
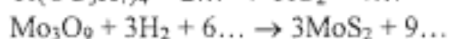
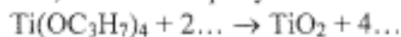
### Химия

#### Вариант 3

#### Простые задачи

1. Наночастица состоит из 840 атомов, больше половины которых составляет сера, а остальные – другой элемент. Масса всех атомов серы – в 1.5 раза меньше массы всех атомов другого элемента. Установите молекулярную формулу наночастицы.

2. Ниже приведены уравнения реакций получения различных наночастиц. Все коэффициенты расставлены, для наночастиц приведены простейшие (брутто) формулы. Завершите эти уравнения, заполнив пропуски.



3. Сколько миллиграммов золота надо взять, чтобы приготовить 500 мл коллоидного раствора наночастиц золота диаметром 10 нм с концентрацией 1 нМ (нМ – наномоль/л)? Плотность золота 19.3 г/см<sup>3</sup>.

4. В реакции фуллерена C<sub>60</sub> с избытком дифторида ксенона XeF<sub>2</sub> образовалось вещество, молекула которого тяжелее исходного фуллерена на 95.0%. Установите формулу продукта реакции.

5. В наночастице серебра радиусом 12 нм на поверхности находится 8% атомов, а в наночастице радиусом 16 нм – 6%. На основе этих данных предложите эмпирическую формулу, описывающую зависимость доли атомов серебра на поверхности от радиуса наночастицы. Каков должен быть радиус, чтобы на поверхности находилась треть атомов серебра?

## Более сложные задачи

### Задача 1. Интересная химия

Взаимодействие в жестких условиях 1.00 моля вещества **A** и 15.0 молей вещества **B** приводит к образованию единственного продукта – бинарного соединения **C**.

Сгорание некоторого количества **C** в большом избытке кислорода приводит к образованию только 6.72 л (при н.у.) бесцветного газа **D**. Пропускание газа **D** через избыток раствора гидроксида кальция приводит к его полному поглощению с образованием 34.0 г осадка.

1. Установите, какие газы могут подходить на роль **D**, исходя из условия задачи. Обоснуйте свой выбор.
2. Определите молекулярные формулы веществ **A-C**, если размеры молекул как минимум одного из них находятся в нанодиапазоне.
3. Укажите, какое из веществ **A-C** наиболее токсично для человека:
  - при приеме внутрь (перорально);
  - при ингаляционном введении (вдыхание паров).

### Задача 2. Синтез квантовых точек

Для получения квантовых точек бинарного соединения **Y** через суспензию ацетата неизвестного металла в высококипящем органическом растворителе, содержащем триоктилфосфиноксид ( $C_8H_{17}$ )<sub>3</sub>PO, пропускают ток газа **X**, плотность которого в 1.172 раза больше плотности воздуха. Газ **X** для очистки от паров воды пропускают через колонку со щелочью. Полученные таким образом квантовые точки вводят в полимерную матрицу. При действии раствором щелочи на 1.000 г безводного ацетата неизвестного металла выпадает белый осадок, при прокаливании дающий 0.476 г светло-желтого порошка. Полученные таким образом наночастицы растворяют в тетрагидрофуране, содержащем полиимид.

Далее проводят осаждение наночастиц и полиимида на стеклянные подложки с нанесенным слоем SnO<sub>2</sub>, который используется в многослойных структурах в качестве прозрачного электрода. В процессе осаждения растворитель испаряется, происходит полимеризация органического полупроводника и формирование матрицы толщиной порядка 100 нм, содержащей квантовые точки.

1. Определите неизвестные вещества и напишите уравнения проведенных реакций.
2. Какую роль играет полиимид в этом эксперименте? Возможно ли заменить его на полиэтилен?
3. Какое применение находят полученные многослойные наноструктуры?
4. Как можно получить газ **X** в лаборатории? Напишите уравнения двух реакций.

### Задача 3. Водорастворимые фуллерены

Фуллерены совершенно не растворяются в воде. Однако, для использования в медицине их обязательно нужно перевести в водную среду! Водные растворы фуллеренов готовят двумя способами:

а) с помощью химических реакций получают производные фуллеренов, растворимые в воде;

б) при длительной ультразвуковой обработке смеси воды и толуольного раствора фуллеренов, часть фуллеренов переходит в воду, образуя устойчивый коллоидный раствор.

1. Хорошо растворимы в воде производные фуллерена  $C_{60}$  с брутто-формулами  $H_{18}C_{60}O_{18}$  и  $C_{69}O_{12}H_6$  (продукт присоединения двухосновной кислоты к молекуле  $C_{60}$ ). Нарисуйте их структурные формулы (вместо фуллеренового каркаса изобразите окружность!). (2 балла).

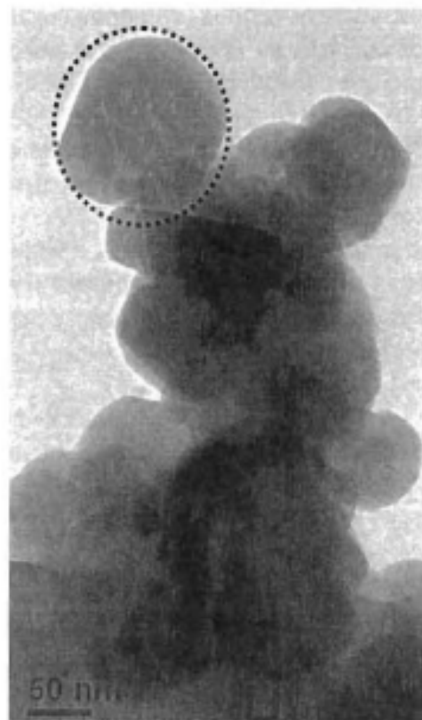
Скокими способами указанные функциональные группы можно разместить на поверхности фуллерена? Не думайте о возможных пространственных затруднениях при их образовании.

(3 балла).

2. В водном коллоидном растворе (пункт б)) фуллерены присутствуют в виде крупных кластеров – их изображение под электронным микроскопом показано рядом. (Внутри окружности – один кластер!). Содержание фуллерена в коллоидном растворе – 100 мкг  $C_{60}$  в 1 мл. Пользуясь фотографией, оцените, сколько штук фуллереновых кластеров находится в 1 мл раствора?

Плотность кристаллического фуллерена равна  $1.65 \text{ г/см}^3$ .

(4 балла)



3. Водные растворы фуллеренов обладают антиоксидантной активностью, т.е. способностью снижать концентрацию свободных радикалов (O, OH и т.д) в организме.

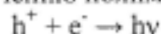
а) Каким образом фуллерены снижают концентрацию радикалов? (2 балла)

б) Что, по-вашему, будет лучшим антиоксидантом – отдельная молекула  $C_{60}$  или кластер, состоящий из таких молекул? (2 балла)

в) Оцените (приблизительно!) отношение антиоксидантной активности молекул  $C_{60}$  и кластеров, описанных в пункте 2. Диаметр молекулы  $C_{60}$  равен 1 нм. (2 балла)

#### Задача 4. Электролюминесцентные полимеры

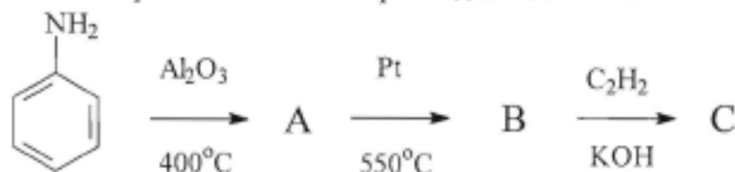
Электролюминесценция полимеров находит все большее применение в качестве основы для изготовления осветительных и индикаторных устройств. Один из способов реализации электролюминесцентного устройства состоит в следующем: в пространстве между двумя электродами (алюминиевым и изготовленным из смешанного оксида индия-олова (ITO)) помещается слой диэлектрика и слой проводящего полимера ПВК, содержащего комплексное соединение  $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ . Приложение к такой слоистой структуре переменного электрического поля приводит к возникновению дырок  $h^+$  (вакантных мест в валентной зоне полимера) и появлению электронов  $e^-$  в зоне проводимости полимера ПВК, причем источником дырок является оксид ITO. Миграция друг к другу электронов и дырок в полимере и их последующая рекомбинация (т.е. возвращение электрона в валентную зону) приводит к испусканию фотона, т.е. свечению полимера:



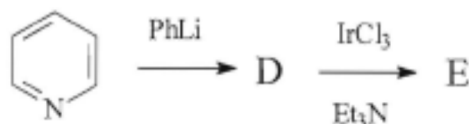
Комплексное соединение  $\text{Ir}(\text{ppy})_3$  наравне с полимером участвует в образовании валентной зоны и зоны проводимости материала и поэтому влияет на спектр излучаемого света.

Электропроводность такой слоистой структуры невелика, но значительно увеличивается при добавлении углеродных нанотрубок к ПВК, причем электропроводность, обусловленная дырками, не меняется, а электропроводность, обусловленная электронами, – возрастает.

1. Полимер ПВК получают полимеризацией соединения С, содержащего 7.25% азота по массе, и получаемого в промышленности в три стадии из анилина:



Соединение  $\text{Ir}(\text{ppy})_3$  (E на схеме), содержащее 29.4% иридия по массе, может быть получено в две стадии из пиридина:



Определите строение веществ А – Е.

2. Предположите, почему добавление к ПВК углеродных нанотрубок приводит к увеличению яркости свечения.

3. Оцените, во сколько раз добавление углеродных нанотрубок увеличивает концентрацию электронов и дырок в полимере, если яркость свечения при этом увеличивается в 2 раза. Считайте, что излучательная рекомбинация является элементарной реакцией, поэтому ее скорость подчиняется кинетическим законам.

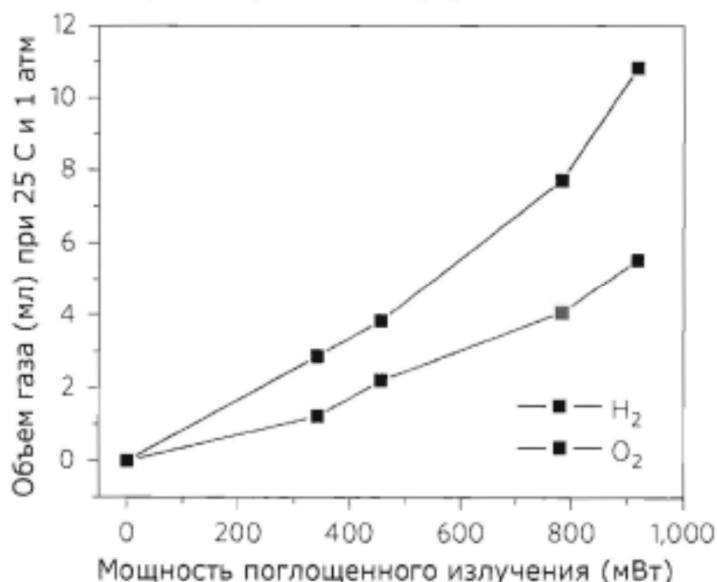
4. Юный химик предложил для увеличения светимости устройства использовать вместо ПВК полимер, получаемый аналогичным образом из *l*-третбутиланилина. Приведет ли такая замена к желаемому результату? Аргументируйте свой ответ.

### Задача 5. Фотокатализ наночастицами

Один из путей конверсии солнечной энергии – фотолиз воды и получение водорода. Вода не поглощает видимый свет, а непосредственное поглощение водой УФ 2излучения не приводит к разложению на простые вещества, поэтому применяют фото-катализаторы, среди которых есть и наноматериалы. Одно из недавних открытий в этой области – фотокаталитические свойства наночастиц оксида кобальта  $\text{CoO}$ , который способствует разложению воды под действием видимого света. Интересно, что эти свойства присущи только наночастицам, тогда как микропорошки  $\text{CoO}$  в реакции разложения воды каталитически не активны.

1. Наночастицы  $\text{CoO}$  приготовили из микропорошка  $\text{CoO}$  с помощью лазерной абляции. Микропорошок, в свою очередь, получили прокаливанием соединения кобальта  $\text{X}$ , содержащего 73,4% металла по массе, в токе аргона. Определите формулу  $\text{X}$ , напишите уравнение реакции. Предложите два других химических способа получения наночастиц оксида кобальта.

2. Водную суспензию наночастиц  $\text{CoO}$  в течение 30 мин облучали видимым светом, близким по спектру к солнечному излучению. Зависимость объема выделившихся газов от мощности поглощенного излучения приведена на графике:



Используя любую из точек на графике, рассчитайте степень конверсии световой энергии (т.е., долю энергии, израсходованной на фотолиз), если известно, что для разложения одного моля воды на простые вещества требуется 237 кДж энергии.

3. В этом же эксперименте проводили фотолиз суспензии  $\text{CoO}$  в тяжелой воде  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ . Как вы думаете, зачем это было нужно?

При облучении образовалась смесь газов, которая в 3 раза легче аргона. Определите качественный и количественный состав этой смеси (в мольных долях) и объясните результаты эксперимента.

# Физика

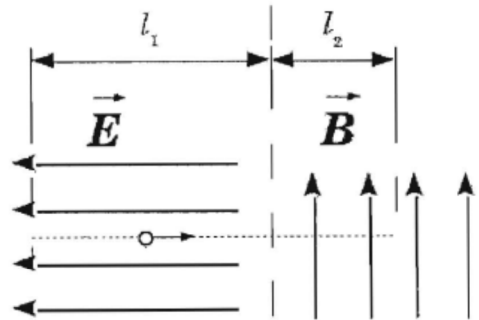
## VIII Всероссийская олимпиада "Нанотехнологии - прорыв в будущее!"

### Физика

#### Вариант 3

##### 1. Электрон и мюон

Две элементарные отрицательно заряженные частицы мюон и электрон оказываются в однородном ускоряющем электрическом поле. Не имея начальной скорости, они пролетают разные расстояния  $l_1$  в электрическом поле, после чего оказываются в другой области, где действует только однородное магнитное поле. Вектор индукции магнитного поля перпендикулярен вектору напряженности электрического поля, действующего в соседней области.



Какая из частиц прошла большее расстояние  $l_1$  в первой области и во сколько раз, если  $l_2^{\text{электрона}} = l_2^{\text{мюона}}$ ? Выразить отношение  $l_1^{\text{электрона}} / l_1^{\text{мюона}}$  (5 баллов). Заряд электрона  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл, масса электрона  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг, масса мюона  $m = 196 m_e$ , заряд мюона  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

##### 2. Пузырь

Найдите количество вещества внутри пузыря, образовавшегося из воды. Внутри пузыря воздух. Радиус пузыря  $r = 100$  нм. Температура  $T = 300$  К. Атмосферное давление  $p_0 = 10^5$  Па. Коэффициент поверхностного натяжения воды  $\sigma = 7,2 \cdot 10^{-2}$  Н/м. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,3$  Дж/(моль·К). (5 баллов)

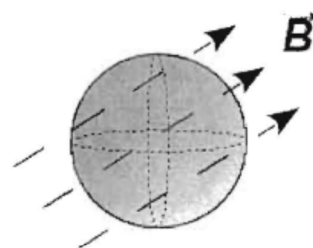
##### 3. Челябинский метеорит

Соударение Челябинского метеорита с поверхностью Земли, по заявлениям в прессе, привело к его испарению. Найденные образцы метеорита обладали следующими термодинамическими параметрами: температура кипения —  $2730$  °С, удельная теплота парообразования —  $2000$  кДж/кг·К, скорость полёта метеорита  $v = 4$  км/с. Эксперименты показали, что метеорит «возгоняется», т. е. переходит сразу из твёрдого в газообразное состояние, минуя жидкую фазу. Определите теплоёмкость метеорита, необходимую для его полного испарения (5 баллов).



#### 4. Нанокapsула

Для адресной доставки лекарств к больным тканям в организме человека предлагается сферическая нанокapsула, внутри которой находится лекарственный препарат. Оболочка является легкоплавкой. Внутри оболочки находятся две кольцевые взаимно перпендикулярные проводящие полоски, которые на рисунке показаны пунктиром. Полоски не имеют общих электрических контактов.



Достигнув больных тканей, оболочку капсулы необходимо расплавить, чтобы лекарство попало в ткань. Для этого тело человека помещают в переменное магнитное поле, меняющееся по закону  $B(t) = B_0 \cos(\omega t)$ .  $B_0 = 0,1$  Тл,  $\omega = 628$  рад/с. Радиус кольцевых полосок  $R = 100$  нм. Электрическое сопротивление кольцевых полосок  $r = 1$  Ом.

Как должна быть ориентирована капсула, чтобы выделилась максимальная мощность? Ответ обосновать (2 балла). Расплавится ли оболочка, если плавление происходит, когда в среднем за период выделяется мощность  $P = 10^{-12}$  Вт. (3 балла)?

#### 5. Занимательные капилляры

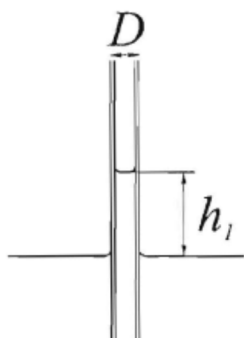


рис.1

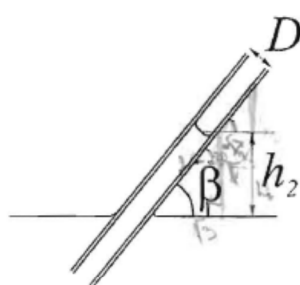


рис.2

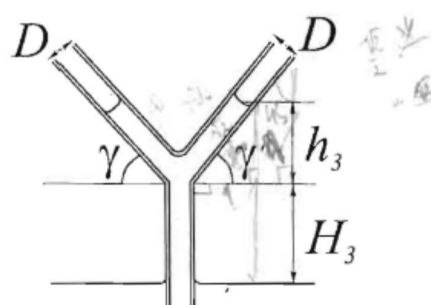


рис.3

Как известно, в микромире действуют совершенно другие физические законы по сравнению с макромиром. Это верно и для капиллярных явлений, хотя пороговый размер капилляров, ниже которого "макроскопические" физические законы перестают действовать, составляет всего около 10 нм. Для капилляров же большего размера в случае превышения сил притяжения молекул жидкости к стенкам капилляра над силами притяжения молекул жидкости друг к другу, поверхность стенок капилляра смачивается жидкостью, и она поднимается вверх.

Рассмотрим вертикальный капилляр, опущенный в смачивающую жидкость (рис. 1), и аналогичный ему капилляр, опущенный в ту же жидкость, но расположенный к ней под углом  $\beta = 30^\circ$  (рис. 2). Каково будет отношение соответствующих высот поднятия жидкости  $k = h_1/h_2$ ? (2 балла). Третий капилляр представляет собой разветвленную симметричную систему, изображенную на рис. 3, причем угол  $\gamma = 45^\circ$ . Как соотносятся между собой высота поднятия жидкости в разветвленной части этого капилляра  $h_3$  и высота столба жидкости в вертикальной части этого капилляра  $H_3$ , если уровень жидкости  $h_1$  в вертикальном капилляре на  $\Delta h = 40\%$  меньше, чем общий уровень жидкости в разветвленном капилляре? (3 балла).

## 5. Графеновые нановесы

Недавно учеными было предложено еще одно оригинальное применение уникального материала – графена, представляющего из себя двумерный слой графита толщиной всего в один атом. Несмотря на кажущуюся хрупкость, это чрезвычайно прочный материал. Но, кроме того, это еще и очень легкий материал, что и натолкнуло исследователей на идею создания из графена высокочувствительных весов, способных измерять массу даже отдельных атомов или молекул.

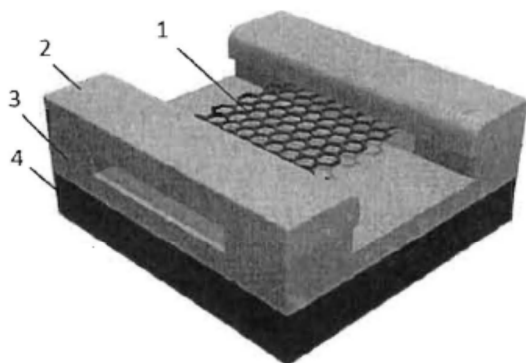


Рис. 1

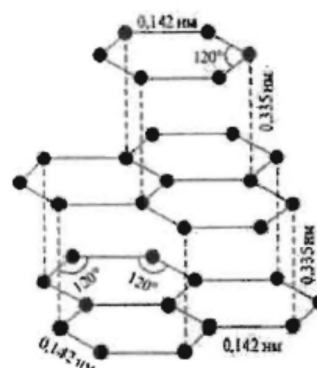


Рис. 2

Схема предложенного устройства представлена на рисунке 1. Полоска графена (1) помещается между двумя электродами (2), опирающимися на непроводящий слой (3), расположенный на кремниевой подложке (4). При подаче на электроды переменного напряжения слой графена начинает совершать колебания, частота которых зависит, в том числе, от поверхностной "эффективной" плотности графеновой полоски. Последний параметр будет определяться не только свойствами самого графена, но и зависеть от того, присутствует ли на нановесах какой-либо исследуемый объект, например, неизвестная молекула. Из теории известно, что частота колебаний такого резонатора зависит от

поверхностной "эффективной" плотности графена, как  $\frac{1}{\sqrt{\rho_{эфф}}}$ . Какую наименьшую массу

могут измерить такие нановесы, если известно, что площадь графеновой полоски равна  $S = 0,36 \text{ мкм}^2$ , а относительная погрешность в определении частоты колебаний составляет  $\Delta f = 0,00001 \%$ . Объемная плотность графита равна  $\rho_{\text{графита}} = 2,2 \text{ г/см}^3$ , а его параметры решетки даны на рисунке 2. **(10 баллов)**. Сравнить полученный результат с характерной массой молекулы ( $1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ ). **(5 баллов)**.

## Более сложные задачи.

### 1. Электроцарапки

К Кью обратилась Манипенни с просьбой изготовить компактный и мощный электрошокер. Кью, как водится, воспринял идею с энтузиазмом и принялся конструировать устройство.

Для начала он взял полимерную подложку из литого лавсана, толщиной 0,2 мм и вырезал из неё пластинку, площадью 1 см<sup>2</sup>. Далее он поместил пластинку в камеру, где послойно напылял на неё алюминий (каждый слой – 100 нм) и алмаз (слои по 100 нм). Слои алюминия Кью соединил через один в две системы и вывел на поверхность два контакта. Наконец, на готовое изделие он приклеил ещё одну пластинку лавсана толщиной 0,2 мм. Общая толщина полученного изделия составила 1 мм.

Рабочее напряжение системы составило 50 В.

Манипенни в целом была довольна полученными накладными ногтями, однако жаловалась, что при разряде они заметно нагреваются. Кью учёл это обстоятельство и заменил алюминий на серебро, что в дальнейшем позволило поднять напряжение до 70 В.

Наконец, новшество попало в поле зрения М и новые ногти получил ещё и Бонд, хотя в отличие от Манипенни, он был ими недоволен в принципе.

Какую энергию запасает шокер от Кью в первом и во втором случае? (6 баллов)

Какой ток протекает через кожу хулигана, пристающего к Манипенни, если разряд длится 0,0001 сек, а сопротивление сухой кожи равно 50 кОм? (4 балла)

Как он изменится, если Манипенни глубоко процарапает кожу? (1 балл)

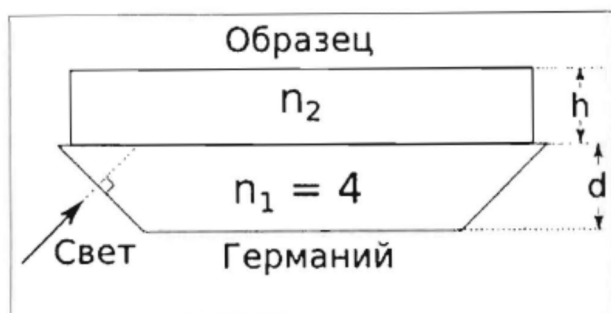
Почему Кью выбрал именно алмаз для напыления между слоями алюминия? (2 балла)

Отчего нагревались ногти шокера при разряде? (1 балл)

Почему Кью заменил алюминий на серебро? (1 балл)

## 2. Спектроскопия поглощения.

### Введение.



Одним из методов исследования наноматериалов является инфракрасная спектроскопия. В ряде случаев, например, при исследовании суспензий наночастиц малых концентраций используются приставки, которые позволяют увеличить чувствительность метода за счёт увеличения хода лучей через образец.

Схема приставки показана на рисунке. Она представляет из себя кристалл германия со скошенными гранями, внутрь которого попадает инфракрасное излучение. Сверху на кристалл устанавливается исследуемый образец, который может быть как твёрдым, так и жидким.

### Задача.

Нарисуйте ход лучей в приставке, указав точку выхода лучей из кристалла германия, в двух случаях:

- 1) образец представляет из себя кристалл кремния с коэффициентом преломления  $n_2 = 3,4$ ,
- 2) либо в роли образца выступает водная прослойка ( $n_2 = 1,3$ ) (10 баллов).

Высота кристалла германия  $d = 4$  мм, длина его нижней грани  $l = 16$  мм, высота образца (в обоих случаях)  $h = 3$  мм. Грани скошены под углом  $45^\circ$ , луч света падает по нормали к боковой грани, в точке, расположенной посередине этой боковой грани. Показатель преломления германия  $n_1 = 4,0$ . При каких показателях преломления образца  $n_2$  в нём будет наблюдаться явление преломления света? (5 баллов)

### 3. Ближнепольный оптический микроскоп.

Введение.

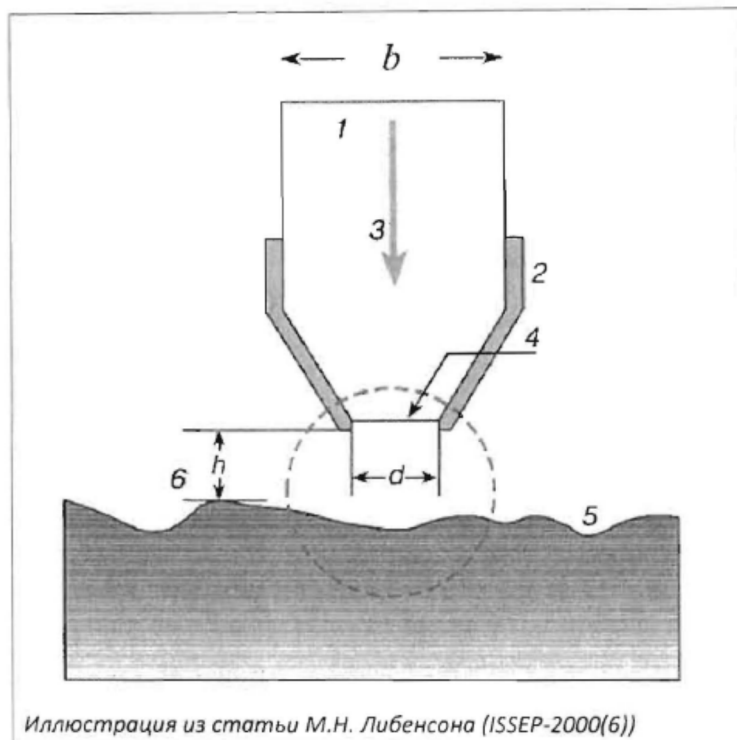


Иллюстрация из статьи М.Н. Либенсона (ISSEP-2000(6))

Для изучения наночастиц применяется метод ближнепольной оптической микроскопии, который позволяет достичь пространственного разрешения десятков нанометров, т. е. преодолеть, таким образом, оптический дифракционный предел. Схема зонда такого микроскопа изображена на рисунке. Излучение (3) проходит через оптическое волокно диаметра  $b$  (1), затем попадает на диафрагму нанометрового размера  $d$  (4). Разумеется через такое малое отверстие электромагнитная волна свободно пройти не может, т. к. длина волны света много

больше размера отверстия. Однако, часть излучения всё же проникает через отверстие, при этом его интенсивность уменьшается по экспоненциальному закону. Поле уменьшается в  $e$  раз на расстоянии  $d$ . Область проникновения света через малое отверстие называется ближним полем. Отражённый от исследуемой поверхности свет затем попадает обратно в объектив микроскопа.

Задача.

Оцените интенсивность света, который попадает на исследуемую наночастицу, находящуюся на расстоянии  $h = 50$  нм от нижней поверхности зонда. Мощность осветительной лампы  $w = 10$  Вт, диаметр оптоволокну  $b = 50$  мкм, диаметр диафрагмы  $d = 10$  нм (10 баллов). Сравните полученное значение с интенсивностью солнечного излучения на поверхности Земли. Можно ли не использовать осветительную лампу, пользуясь исключительно солнечным светом? Светимость Солнца равна  $3,8 \cdot 10^{26}$  Вт, расстояние до Солнца  $1,5 \cdot 10^{11}$  м (5 баллов).

#### 4. Дело о чёрном стрелке

Мориарти решил создать новое оружие, следы применения которого нельзя было бы обнаружить. В основу его действия он решил заложить старый добрый принцип отталкивания магнитов. Чем сильнее отталкиваются магниты – тем сильнее полетит снаряд. Сам снаряд он решил сделать исчезающим – чтобы некоторое время спустя от него оставалось только немного грязи и никаких крупных твёрдых частиц. Для этого он взял растворы  $\text{CoCl}_2$  и  $\text{FeCl}_3$ , смешал их, и по каплям внёс в горячий водный раствор гидроксида натрия. Полученный раствор он обессолил и заморозил жидким азотом в форме снаряда. Полученный снаряд обладал сильными магнитными свойствами и после таяния оставлял только небольшое количество чёрной грязи.

Далее Мориарти изготовил ускоритель на основе мощного электромагнита и зарядил в него снаряд. Однако, несмотря на многочисленные попытки стрельбы, желаемого результата он не получил. Снаряд либо летел слишком медленно и недалеко, либо не летел вообще. Тогда он утратил интерес к этой идее и выбросил остатки льда. Их нашёл Холмс и довольно быстро установил причины провала Мориарти. Потехи ради, он вырезал из них статуэтки, которые установил на подставку из высокочастотного электромагнита и плавил взглядом на публике.

Напишите уравнения реакций получения частиц, которые использовал Мориарти. (2 балла)

Почему снаряд обладал магнитными свойствами, хотя водный раствор в целом, мог быть маловосприимчивым к действию магнитного поля. (3 балла)

Объясните причину провала Мориарти. Почему снаряд либо летал медленно, либо не летал вообще. В своих опытах Мориарти варьировал только силу тока в электромагните. Укажите, что необходимо изменить в схеме установки, чтобы она всё-таки заработала как ускоритель. (7 баллов)

Как и на каком физическом принципе работал фокус Холмса по расплавлению статуэток? (3 балла)

# Математика

## Вариант 1

### 1. Гомеопатическое разведение

Для получения гомеопатического препарата Аргентум металликум Юный химик приготовил суспензию из 220 мг сферических наночастиц серебра диаметром 20 нм в 1 литре воды. Затем он разделил исходную суспензию ровно на 10 частей, в одну из частей долил воды до объема 1 литр. Эту операцию он повторил 14 раз, после чего самый последний литр разлил поровну в тысячу одинаковых пробирок.

В скольких пробирках не содержатся наночастицы серебра? Считать, что наночастицы распределены равномерно по объему.

Плотность серебра равна  $10,5 \text{ г/см}^3$ .

### 2. Теорема Эйлера для УНТ

Закрытую одностенную углеродную нанотрубку можно рассматривать как выпуклый многогранник, в каждой вершине которого сходятся три ребра. Как и для любого выпуклого многогранника, для нее справедлива теорема Эйлера:  $V - P + G = 2$ , где  $V$ ,  $P$ ,  $G$  – это, соответственно, число вершин, ребер и граней многогранника.

Сколько пятиугольных граней  $G_5$  содержит такой многогранник, если известно, он имеет  $G_4 = 2$  четырехугольных,  $G_6 = 1000$  шестиугольных,  $G_8 = 4$  восьмиугольных граней, а других граней нет?

### 3. Считаем узлы дендримеров

Главными характеристиками разветвленного на манер дерева полимера – дендримера (рис.1) – являются количество «ветвей»  $X$ , выходящих из каждого узлового атома, и число поколений ветвления  $G$ .

1. Выведите общие формулы, описывающие

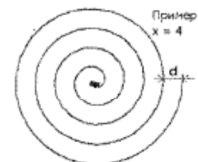
а) число узловых атомов  $M$  в поколении ветвления с номером  $G$ ;

б) суммарное число узловых атомов  $N$  во всем дендримере с  $G$  поколениями ветвления и  $X > 2$ .

2. Рассчитайте  $M$  и  $N$  для  $X = 4$  и  $G = 3$ .

### 4. Свёрток

Квадратный лист двумерного наноматериала – дисульфида молибдена  $\text{MoS}_2$  – свернули в плотный сверток (рулон). Каковы диаметр этого свертка  $D$  (нм) и ширина исходного листа  $L$  (нм), если расстояние между витками в свертке равно  $d = 6,5 \text{ \AA}$ , а число витков составляет 16.



### 5. Расшифровка ДНК

Выделенный в ходе прочтения генома вируса фрагмент одноцепочечной ДНК состоит из 10 нуклеотидов Т и 4 нуклеотидов Г. Рассчитайте, сколько различных вариантов нуклеотидных последовательностей отвечает такому составу фрагмента. Не забывайте, что последовательность нуклеотидов несимметрична, т.е. имеет «начало» и «конец».

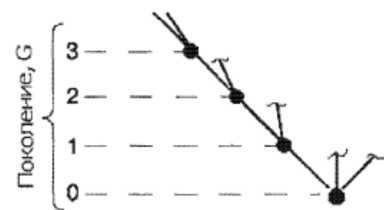


Рис. 1. Фрагмент схематического изображения дендримера. Пример с индексом ветвления  $X = 3$  и числом поколений ветвления  $G = 3$ . Темными кружками обозначены узлы ветвления (узловые атомы).

**6. Поиск нанотрубок *in silico*: прежде, чем нажать Enter (10 баллов)**

$$D = \frac{a\sqrt{3}}{\pi} \sqrt{n^2 + nm + m^2} \quad D_1 = D_2 \Rightarrow ? \begin{pmatrix} n_1, m_1 \\ n_2, m_2 \end{pmatrix}$$

Юному нанохимику Полуэтку в рамках его проекта для электроники будущего потребовались пары нанотрубок одинакового диаметра, но с разными проводящими свойствами. Окрыленный возможностями компьютера, Полуэкт быстро написал программу поиска таких нанотрубок и нажал *Enter*...

Дождется ли Полуэкт результата, если он ищет две углеродные нанотрубки одинакового диаметра:

- а) одна – зигзагообразная, вторая – зубчатая (3 балла);
- б) одна – с металлическим, вторая – полупроводниковым типом проводимости (7 баллов).

Ответы обоснуйте.

Диаметр произвольной углеродной нанотрубки с индексами хиральности ( $n, m$ ) (где  $n \in N_0, m \in N_0$ , то есть,  $n$  и  $m$  – натуральные числа и ноль) задается уравнением  $a\sqrt{3}\sqrt{n^2 + nm + m^2}/\pi$ . При  $m = n$  нанотрубка называется зубчатой, если  $n = 0$  или  $m = 0$  зигзагообразной. Нанотрубка обладает металлическим типом проводимости, если  $m - n = 3k$  (где  $k \in N_0$ ), в остальных случаях она является полупроводником.

**7. Усеченный тетраэдр (16 баллов)**

Атомы золота могут образовывать тетраэдрические кластеры, однако с увеличением размера кластера более предпочтительной становится форма в виде усеченного тетраэдра, имеющая меньшую площадь поверхности при одинаковом с тетраэдром объеме и способе упаковки атомов. Рассмотрим усеченный тетраэдр **Y**, у которого все ребра равны между собой (см. рис 1а).

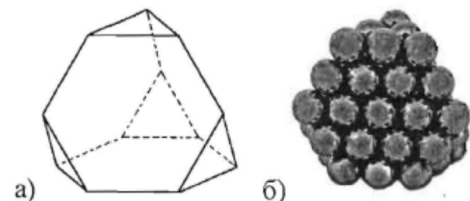


Рис. 1 а) Правильный усеченный тетраэдр **Y**. б) Пример золотого нанокластера с ребром, состоящим из трех атомов ( $x = 3$ ).

1. а) Выведите зависимость суммарного числа атомов золота  $K(x)$  в кластере **Y** от числа атомов  $x$ , приходящихся на ребро, если количество атомов в тетраэдрическом кластере составляет  $T(m) = (m^3 + 3m^2 + 2m)/6$ , где  $m$  – число атомов золота, приходящихся на ребро тетраэдра (5 баллов).

б) Рассчитайте число атомов в кластере **Y** для  $x = 60$  (1 балл).

в) Каково минимальное количество атомов золота в кластере такой формы? Ответ обоснуйте (2 балла).

2. Выведите радиус сферы **R**, описанной около правильного усеченного тетраэдра с ребром **a**. Оцените **R** для кластера **Y** с  $x = 60$  (9 баллов).

Радиус атомов золота считать равным  $r \approx 0,14$  нм.



## 8. Фуллереновый конструктор, часть II (17 баллов)

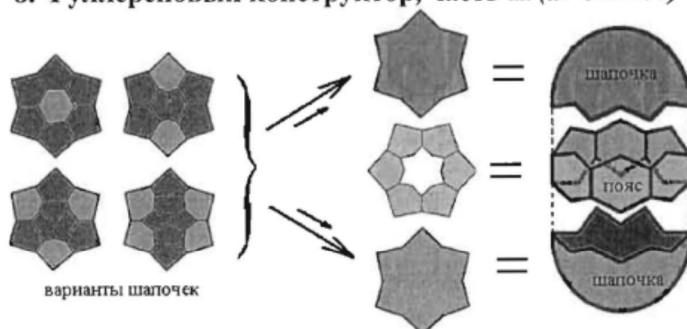


Рис.1 Плоские проекции элементов конструктора: «шапочек» и «пояса»; пример построения фуллерена из элементов конструктора.

Из теоремы Эйлера для выпуклых многогранников следует, что количество вершин-атомов в фуллерене  $C_n$  составляет  $n = 20 + 2n_6$ , при этом фуллерены содержат 12 пятиугольников и произвольное количество шестиугольников  $n_6$ . Но, тем не менее, фуллерен с одним шестиугольником ( $C_{22}$ ,  $n_6 = 1$ ) не существует. Поэтому интересно узнать, нет ли других «запретных» фуллеренов при  $n_6 > 1$  ( $n > 22$ ).

1. Докажите что с помощью приведенного на рис. 1 конструктора для любого  $n_6 > 1$  можно построить фуллерен. Допускаются любые комбинации элементов, приводящие к фуллеренам; количество элементов не ограничено. (4 балла)

2. Сколько изомеров фуллеренов  $C_{66}$  и  $C_{60}$  можно построить из такого конструктора? Есть ли среди них изомеры, отличающиеся только взаимным расположением шапочек в пространстве, например, зеркальные изомеры? Опишите строение всех изомеров (13 баллов).

## 9. Поры или частицы? (17 баллов)

Из некоторого вещества с плотностью  $\rho$  получили два материала - пористый Наносорбент X и Наносорбент Y в виде порошка.



1. Рассчитайте истинную<sup>1</sup> ( $\rho$ ) и кажущуюся<sup>2</sup> ( $\rho^*$ ) плотность Наносорбента X, если известно, что его пористость<sup>3</sup> составляет  $\gamma = 0,65$ , диаметр цилиндрических пор –  $d = 9$  нм, а общая удельная<sup>4</sup> длина пор –  $l_{n(yd)} = 9 \cdot 10^9$  м/г (5 баллов).

2. Рассчитайте удельную<sup>4</sup> площадь поверхности  $S_{y\partial}$  (в  $m^2/g$ ) для Наносорбента X. Площадью внешней поверхности пренебречь (1 балл).

3. Во сколько раз  $S_{y\partial}$  для Наносорбента Y отличается от  $S_{y\partial}$  для Наносорбента X, если известно, что Наносорбент Y состоит из одинаковых частиц, которые имеют форму: а) шара

с диаметром  $d = 9$  нм (3 балла); б) шестигранной призмы с ребром  $a = d$  (4 балла),  
в) четырехугольной пирамиды с ребром  $a = d$  (4 балла).

<sup>1</sup> - Истинная плотность – это масса единичного объема сплошного материала без пор, полостей и включений.



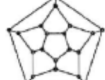
<sup>2</sup> - Кажущаяся (средняя) плотность – это масса единичного объема материала с учетом пор, полостей и включений.

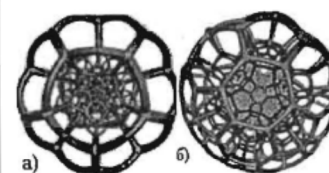
<sup>3</sup> - Пористость – это величина, равная отношению суммарного объема пор к общему объему материала.

<sup>4</sup> - Удельная величина – это величина, отнесенная к единице массы образца.

### 10. Ароматичность фуллеренов и гиперфуллеренов (15 баллов)

В зависимости от формы замкнутой молекулы или заряженной частицы, правила ароматичности, определяющие числа обобществляемых электронов, при которых система может обладать ароматичностью, можно записать как:

Форма	плоская (окружность)	трехмерная (сфера)	четырёхмерная (гиперсфера)
Правило ароматичности	$A_{2D} = 2(2N+1)$	$A_{3D} = \sum_{N=0}^{N=M} A_{2D} = 2(M+1)^2$	$A_{4D} = \sum_{M=0}^{M=K} A_{3D} = ?$
Пример	$N = 1$ 6 электронов $C_6H_6$	$M = 2$ 18 электронов $C_{20}^{2+}$	$K = ?$ $A_{4D}(K)$ электронов додекаплекс $C_{600}^{\pm 2}$
Схема молекулы			-
Проекция	-		Рис. 1а



а) Рис.1 Трехмерные проекции  
четырёхмерных фуллеренов:  
а) додекаплекс  $C_{600}$   
б) гипербакибол  $C_{7200}$

где  $N, M, K$  – натуральные числа и ноль (0, 1, 2, 3, ...).

1. Могут ли обладать ароматичностью *трехмерные* фуллерены  $C_{600}$  и  $C_{7200}$ ? Если нет, то определите минимальные заряды<sup>1</sup> ароматических частиц, соответствующих им. Какие значения  $M$  отвечают этим частицам? (3 балла)

2. Выведите правило ароматичности для гиперсферических молекул  $A_{4D}$  (2 балла).

3. Могут ли *четырёхмерные* фуллерены –  $C_{600}$  (додекаплекс) и  $C_{7200}$  (гипербакибол) – обладать ароматичностью? Если нет, то определите минимальные заряды ароматических частиц, соответствующих им. Какие значения  $K$  отвечают этим частицам? (10 баллов)

При решении можно воспользоваться методом деления отрезка пополам и очевидным неравенством  $A_{4D}(K) > A_{3D}(K)$  при  $K > 0$ .

<sup>1</sup> - Количество обобществленных электронов, как в фуллеренах, так и в их четырехмерных аналогах  $C_n$  равно количеству атомов  $n$ . Минимальный заряд  $q$  ароматической частицы  $C_n^{\pm q}$  – это минимальное число электронов, которое необходимо забрать (заряд  $+q$ ) или добавить (заряд  $-q$ ) в молекулу фуллерена, чтобы итоговое число обобществленных электронов ( $n \mp q$ ) отвечало правилу ароматичности, соответствующему форме частицы.

#### Вспомогательные данные к задачам по математике:

Приближенные значения квадратных корней:

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

Формула суммы квадратов последовательности натуральных чисел 1, 2, ...,  $n$ :  $\sum_{m=1}^{m=n} m^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$

# Биология

## VIII Всероссийская олимпиада "Нанотехнологии - прорыв в будущее!"

### Биология

#### Простые задачи (рекомендованные для всех)

#### Вариант 2

##### Вопрос 1. Спортсмен Петя (5 баллов)

Петя занимается в легкоатлетической секции. Уроки биологии помогли ему понять, как правильно питаться и какие биохимические процессы протекают в клетках его тела. Так, он узнал, что в шероховатом эндоплазматическом ретикулуме, при помощи рибосом, в основном осуществляется синтез белков, а в гладком осуществляется синтез различных полисахаридов, а также липидов, в том числе холестерина необходимого для синтеза стероидных гормонов, а основная функция таких органелл, как митохондрии – это синтез аденозинтрифосфата. Это нуклеотид, который является универсальным источником энергии для всех биохимических процессов. Его образование происходит в процессе окислительного фосфорилирования и эффективность этого процесса определяет выносливость, что немаловажно при занятиях циклическими видами спорта. Также он узнал, что у большинства многоклеточных организмов идет наследование митохондриальной ДНК по материнской линии.

- 1) Как вы думаете, где больше шероховатого ретикулума – в клетках коры надпочечников или в клетках крови – лимфоцитах, главных клетках иммунной системы? Почему вы так думаете?(2,0 балла)
- 2) Как вы думаете, большое количество митохондрий важнее в мышечных клетках бегуна на длинные или короткие дистанции? (1.5 балла)
- 3) Отец Пети был в прошлом профессиональным велосипедистом, а мама не отличается хорошей физической формой, что важнее для Пети в его карьере марфонца – генотип его родителей или интенсивные тренировки? (1.5 балла)

##### Вопрос 2 Детские вопросы (3 балла, по 1,5 балла за каждый вопрос)

Маленькие дети очень любят задавать вопросы об окружающем их мире. Почувствуйте себя ненадолго родителями и ответьте на некоторые «детские» вопросы:

- почему волосы седеют? Могут ли они поседеть за 5 минут?

- почему листья осенью становятся красными и желтыми? Почему это происходит быстрее в солнечную погоду?

Ответы должны быть «взрослыми» и аргументированными.

##### Вопрос 3. Транспорт в клетке. 5 баллов (по 1 баллу за каждый пункт).

Все живые организмы (за исключением, возможно, покоящихся вирусов, которые некоторые относят к «неживым» объектам), имеют сложную пространственную организацию. Для того, чтобы организм работал, а также чтобы объединить организм под «единым управлением», необходим перенос веществ из одних участков организма в другие. Для такого транспорта в живых организмах имеются различные приспособления. Но на малых масштабах (в том числе и нанодиапазона) перенос веществ, органелл и клеток имеет свои особенности.

В нервной системе передача возбуждения от одной клетки к другой происходит с помощью химических синапсов. Пузырьки с нейромедиатором сливаются с пресинаптической мембраной первой нервной клетки, медиатор попадает в синаптическую щель, достигает постсинаптической мембраны и связывается с соответствующим рецептором, вызывая деполяризацию мембраны.

1. Нарисуйте схему выхода медиатора в синаптическую щель и его путь к постсинаптической мембране
2. При помощи каких механизмов будет осуществляться транспорт медиатора от пресинаптической мембраны к постсинаптической?
  - а. Турбулентный поток жидкости
  - б. Ламинарный поток жидкости
  - в. Активный транспорт при помощи «молекулярных моторов»
  - г. При помощи простой диффузии
3. Как будет влиять на скорость транспорта медиатора температура?
4. Как будет влиять на транспорт концентрация универсальной энергетической валюты - АТФ?
5. Предположите, какие механизмы могут быть реализованы для снижения концентрации медиатора в синаптической щели после передачи сигнала?

**Вопрос 4. мРНК. (7 баллов)**

Последовательность нуклеотидов мРНК содержит информацию о некоем полипептиде. Используя таблицу кодонов определите закодированный полипептид и оцените его заряд при нейтральном рН.



Таблица кодонов

1-е основание	2-е основание			
	U	C	A	G
U	UUU (F) Фенилаланин UUC (F) Фенилаланин UUA (L) Лейцин UUG (L) Лейцин	UCU (S) Серин UCC (S) Серин UCA (S) Серин UCG (S) Серин	UAU (Y) Тирозин UAC (Y) Тирозин UAA Стоп-кодон (Ochre) UAG Стоп-кодон (Amber)	UGU (C) Цистеин UGC (C) Цистеин UGA Стоп-кодон (Opal) UGG (W) Триптофан
C	CUU (L) Лейцин CUC (L) Лейцин CUA (L) Лейцин CUG (L) Лейцин	CCU (P) Пролин CCC (P) Пролин CCA (P) Пролин CCG (P) Пролин	CAU (H) Гистидин CAC (H) Гистидин CAA (Q) Глутамин CAG (Q) Глутамин	CGU (R) Аргинин CGC (R) Аргинин CGA (R) Аргинин CGG (R) Аргинин

A	AUU (I) Изолейцин AUC (I) Изолейцин AUA (I) Изолейцин AUG (M) Метионин, Стартовый <sup>1</sup>	ACU (T) Треонин ACC (T) Треонин ACA (T) Треонин ACG (T) Треонин	AAU (N) Аспарагин AAC (N) Аспарагин AAA (K) Лизин AAG (K) Лизин	AGU (S) Серин AGC (S) Серин AGA (R) Аргинин AGG (R) Аргинин
G	GUU (V) Валин GUC (V) Валин GUA (V) Валин GUG (V) Валин	GCU (A) Аланин GCC (A) Аланин GCA (A) Аланин GCG (A) Аланин	GAU (D) Аспарагиновая кислота GAC (D) Аспарагиновая кислота GAA (E) Глутаминовая кислота GAG (E) Глутаминовая кислота	GGU (G) Глицин GGC (G) Глицин GGA (G) Глицин GGG (G) Глицин

**Вопрос 5. Ядовитые истории (5 баллов)**

Индейцы Южной Америки во время охоты и войн использовали яд из коры растения Стрихнос ядоносный, хорошо известный, как яд кураре. В результате действия этого яда поперечно-полосатые мышцы теряют способность сокращаться, жертва полностью обездвиживается и умирает от остановки дыхания при полной ясности сознания. На какие структуры в клетках (и каких клетках) действует яд? Почему жертва умирает не от остановки сердца? Каков, по-вашему, механизм действия яда? Где он может использоваться в современной медицине?

## Более сложные задачи

### Задача 6. "Найти и заменить" (7 баллов)

Ученые из Гарвардского университета и Массачусетского технологического института предложили новый метод работы с геномами "найти и заменить". Этот метод позволяет вносить изменения в генетический код живой клетки. Таким образом сделан еще один шаг для того, чтобы в будущем использовать живые клетки - как фабрики для производства нужных белков, ДНК-наноконструкций, а также лечить генетические заболевания. Представьте, что Вы создали нанотранспортер : комплекс ДНК с переносчиком. Но ваша клетка защищена клеточной мембраной.

1) Предложите все возможные способы, базирующиеся на современных технологиях, создания «дырок» в мембране ( не летальных для клетки) через которую ваш переносчик попадет внутрь (3 балла).

2) Как Вы думаете, можно ли использовать для лечения генетических заболеваний у человека нанотранспортер с бактериальной ДНК? Что отличает ДНК эукариот от ДНК прокариот (2 балла)?

### Задача 7. Передача сигнала (8 баллов)

Простейший путь передачи сигнала от рецепторов на коже к мышцам включает в себя сенсорный, триггерный и моторный нейроны. Самым распространенным типом контакта между нейронами является химический синапс, подразумевающий передачу сигнала между нейронами с помощью некоторых химических веществ. Химический синапс представляет собой структуру, состоящую из пресинаптической мембраны (пресинаптического нервного окончания), постсинаптической мембраны (постсинаптического нервного окончания) и синаптической щели между ними. Предположим сенсорный нейрон получили сигнал от рецепторов на коже. Ему нужно послать сигнал дальше к триггерному или моторному нейрону. А теперь вопросы:

- 1) Что такое сенсорный, триггерный и моторный нейроны? (1 балл)
- 2) Какие вещества выделяются нейроном в синаптическую щель для передачи сигнала другим нейронам? (1 балл)
  - a) гормоны,
  - b) нуклеотиды,
  - c) каротиноиды
  - d) антитела
  - e) нейромедиаторы,
  - f) нейролептики
- 3) Во что эти вещества упакованы внутри клетки (1 балл)
  - a) пероксисомы,
  - b) везикулы
  - c) лизосомы,
  - d) цистерны комплекса гольджи

- е) мицеллы
- 4) Как повлияет замена кальция в экстраклеточной среде на магний на «доставку сообщения»? (1.5 балла)
- а) вещество поступит в синаптическую щель, но с рецепторами на мембране триггерного нейрона не свяжется;
  - б) выброс вещества из клетки не произойдет, т.к. на мембране сенсорного нейрона не сможет развиваться потенциал действия;
  - в) выброс вещества из клетки не произойдет, т.к. будет заблокирован транспорт вещества к плазматической мембране нейрона;
  - г) вещество поступит в синаптическую щель, но дальше произойдет быстрая деградация вещества.
  - е) никак;
- 5) Как повлияет введение колхицина на передачу сигнала? (1.5 балла)
- а) Сигнал не будет передан, т.к. действие колхицина приведет к разрушению везикул и выбросу вещества внутри клетки;
  - б) Выброс вещества произойдет даже без стимуляции сенсорного нейрона;
  - в) Колхицин это и есть то вещество, с помощью которого передается сигнал между клетками.
  - г) Колхицин это фермент разрушающий вещество при попадании его в синаптическую щель.
  - д) Выброс вещества из сенсорного нейрона не произойдет, т.к. колхицин - блокатор сборки микротрубочек, следовательно, остановит любой внутриклеточный транспорт, в том числе и везикул с веществом.
  - е) никак
- б) Почему вещество находящееся внутри клетки будет доставлено к плазматической мембране и выброшено в синаптическую щель, а не будет доставлено к ядру или в аппарат Гольджи? Как определяется адрес доставки? (2 балла)

**Задача 8. Цветочки (15 баллов)**

Появление цветка у покрытосеменных растений является одной из причин их широкого распространения в разных зонах Земли и их господства среди царства растений. Известно, что цвет лепестков крайне важен для растения. Выберите правильные варианты и дайте развернутые ответы на вопросы:

1. Что определяет цвет лепестков? 2 балла

- а. пигментный состав
- б. Белково-липидный состав клеточной стенки
- в. рН вакуоли и/или цитоплазмы клеток лепестков
- г. освещенность лепестка

2. Какой прием можно использовать для получения цветов с новым цветом лепестков: 2 балла

а. удобрять растение

б. добавить в воду для полива краситель, проникающий в лепестки

в. проводить перекрестное опыление растений с лепестками нового оттенка для закрепления этого цвета в дочерних растениях;

3. Можно ли получить цветы золотого цвета, обрызгав лепестки раствором, содержащим наночастицы золота? 2 балла

4. Приведите пример пигмента, влияющего на цвет лепестков. Встречается ли этот пигмент в других органах растений? Какие пигменты определяют цвет листьев? Какую роль эти пигменты там играют? 2 балла

5. Представьте, что в почву попал раствор наночастиц серебра. Как и в каких тканях цветкового растения распределятся (и распределятся ли) наночастицы? Как это повлияет на жизнедеятельность растения? 3 балла

6. Цветковое растение обрызгали коллоидным раствором наночастиц серебра, при этом наночастицы попали только на (а) верхние листья и цветы и (б) на самые нижние листья. В каких тканях и органах растения в каждом случае произойдет накопление наночастиц? Как это отразится на растении? 4 балла

### Задача 9. Марафонцы (15 баллов)

Юные кибертехники Миша и Катя решили создать робота, способного бегать многокилометровые дистанции и при этом имеющего анатомические особенности животного, являющегося лучшим ультрамарафонским бегуном. (Примечание: ультрамарафон — это бег на дистанции от 50 км и более. Многие ультрамарафоны проводятся в экстремальных условиях — при температуре выше 30 С, на высоте 2 км от уровня моря и т.п.) В поисках “биологической модели” они отправились в зоопарк, зоологический музей, но ничего так и не нашли. Зато от папы Миши, антрополога, они, к своему огромному удивлению, узнали, что одним из лучших бегунов на длинные дистанции может считаться человек! Именно у представителей вида *Homo sapiens* есть анатомические особенности, которые им позволяют пробегать сотни километров при жаре 30-50 С. Даже сейчас некоторые племена бушменов охотятся на антилоп, отбивая животное от стада и загоняя до смерти.

1. Помогите Мише и Кате, объяснив им, для чего в беге человеку нужна каждая из перечисленных ниже особенностей (за каждый правильный ответ 1 балл):

1.а. Потовые железы;

1.б. Сводообразное строение стопы, длинные кости плюсны и короткие фаланги пальцев на ногах;

1.в. Длинные ноги, относительно большая масса бедренных и ягодичных мышц по сравнению с мышцами икр;

1.г. Возможность сделать несинхронными вдох-выдох и беговые движения;

1.д. Уплощенность грудной клетки в дорзо-вентральном направлении и наличие диафрагмы;

1.е. Длинная гибкая талия.

2. Какие материалы Вы бы посоветовали использовать для создания робота-бегуна (2 балла)?

3. Какой должна быть правильно созданная одежда и обувь, чтобы помочь человеку в беге на длинные дистанции в экстремальных условиях? Опишите свойства материалов для предлагаемых одежды и обуви (2 балла).

4. Какие особенности клеточного метаболизма и общей физиологии позволяют человеку совершать бег на длинные дистанции (2 балла)?



5. Предложите способы улучшения способностей человека в ультрамарафонском беге с использованием препаратов, влияющих на метаболизм? Какие это должны быть препараты? Могут ли нанотехнологии предложить свои приемы для решения поставленной задачи, в частности, для повышения эффективности действия таких препаратов (и не только) (3 балла)

**Задача 10. Плаферы с апвеллами. (15 баллов)**



*“...Жанна достала камеру и стала ловить в видоискатель светло-голубое пятно неправильной формы на сине-серо-зеленой поверхности океана. В этот момент Хаото коротко сказал «приготовились — снимаем» и флайка, резко повернувшись на бок, стала падать. ... Несмотря на сильное желание закрыть глаза, обхватить голову руками и сжаться в комочек, она сжала зубы и удерживала камеру, снимая быстро увеличивающиеся в размерах многокилометровые «поля», огороженные яркими цепочками буйков, небольшие почти круглые крафтеры, похожие на снегоуборочные машины, неуклюжие 500–метровые танкеры, и плавучие платформы вахтового поселка... А потом исчезнувший вес резко вернулся, и Жанна чуть не уронила камеру.”*

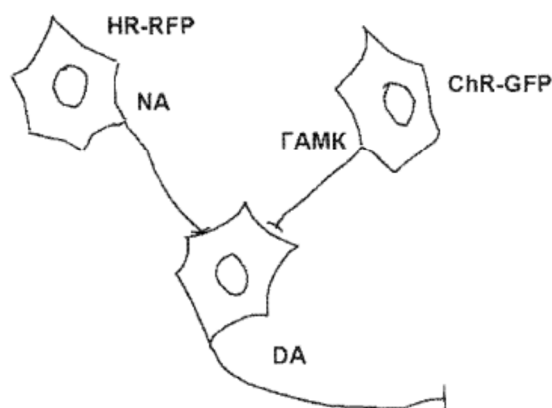
В фантастических романах описываются планктонные фермы – “плаферы”, на которых выращиваются генно-модифицированные микроскопические водоросли для производства биотоплива. Фантастика фантастикой, но использование фитопланктона для производства биотоплива или биосинтеза полезных соединений – довольно активное направление биотехнологии и довольно важная задача для экологии. Такой интерес к биотопливу связан с тем, что запасы нефти являются исчерпаемыми и, кроме того, современные способы переработки нефти (даже с катализаторами на основе наночастиц) представляют экологическую опасность.

1. Какие факторы будут ограничивать объем производства биомассы в плаферах? (2 балла)
  2. Какую опасность могут представлять плаферы для окружающей среды и наоборот, какую опасность окружающая среда может представлять для плаферов? (2 балла)
  3. Какое топливо можно получать из биомассы водорослей, и как организовать его производство? Какое топливо предпочтительнее? (4 балла)
- При описании морских ферм иногда упоминаются и длинные трубы, апвеллы, уходящие глубоко в море, почти до дна.
4. Что делают эти трубы, и зачем они нужны на плаферах? (2 балла)
  5. Предложите свои соображения по улучшению продуктивности и устойчивости плаферов (2 балла)
  6. Сравните эффективность процессов добычи и переработки обычного топлива и биотоплива. Могут ли нанотехнологии помочь в том и другом и, если могут, то как? (3 балла)

### Задача 11. Оптогенетика (15 баллов)

Оптогенетика – новое интересное направление изучения структур мозга. Метод основан на встраивании в мембрану нервной клетки особых белков – каналродопсинов, встречающихся у светочувствительных зеленых водорослей *Chlamydomonas reinhardtii*. При освещении таких клеток (в определенном для каждого каналродопсина диапазоне) происходит активация клетки (генерируются потенциалы действия). Если в мембрану нервных клеток встраивать другой белок – галородопсин (встречается у галобактерий), то наблюдается напротив, не активация, а торможение активности нейрона.

1. Как Вы думаете, что могут представлять из себя эти светочувствительные белки? (1 балл)
2. Какой светочувствительный пигмент входит в их состав? (1 балл)
3. Какие события происходят при освещении данных белков (каналродопсина и галородопсина), встроенных в мембрану нервной клетки? Какие ионы играют ведущую роль в этих событиях? (3 балла)
4. С помощью каких генно-инженерных подходов можно встроить эти белки в клетку *in vitro*? А в клетки мозга целого животного? Как можно обеспечить избирательную экспрессию этих белков в нейронах определенного типа? (3 балла)
5. Какие преимущества могут быть у такого метода исследования организации и функционирования нервной системы по сравнению с электрофизиологическими методами? (1 балл)
6. Часто в исследовательских работах используют химерные светочувствительные белки, к которым пришта часть, являющаяся флуоресцентным белком. Например это зеленый флуоресцирующий белок (GFP, возбуждение при длине волны 475 нм, флуоресценция – 509 нм) или красный флуоресцирующий белок (RFP, возбуждение 587 нм, флуоресценция 610 нм). Зачем это может быть нужно? (2 балла)
7. Важную роль в нервной системе играют дофамин-эргические нейроны, в качестве медиатора они выделяют дофамин. Нарушение (снижение) работы дофамин-эргической системы приводит к Паркинсонизму, когнитивным расстройствам, избыточная активность дофамин-эргических нейронов участвует в патогенезе шизофрении. На рисунке приведена схема нейронных связей. В данном эксперименте в организм животного были встроены 2 химерных светочувствительных белка: каналродопсин (активируется при длине волны 480 нм) с пришитым GFP (ChR-GFP) экспрессировался в ГАМК-эргических нейронах, галородопсин (активируется при длине волны 570 нм) с пришитым RFP (HR-GFP) – в норадреналин-эргических нейронах. Что произойдет при освещении участка мозга таких животных (обычно это делают через световод) синим светом? А желтым светом? Что можно увидеть во флуоресцентном микроскопе при возбуждении синим светом? Оранжевым светом? (4 балла)



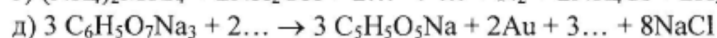
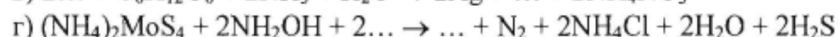
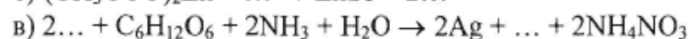
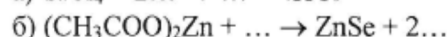
# Тренировочный вариант

## Тренировочный вариант

### Химия

#### Простые вопросы

1. Ниже приведены уравнения реакций получения различных наночастиц. Все коэффициенты расставлены. Завершите эти уравнения, заполнив пропуски.



2. В 100 г нанотрубок неизвестного бинарного вещества состава  $\text{XY}_2$  содержится столько же атомов, сколько их содержится в 45 г углеродных нанотрубок. О нанотрубках какого вещества идет речь? Ответ подтвердите расчетом.

3. При окислении графена получен материал, содержащий 11.8 масс.% кислорода, остальное углерод. Какая часть атомов углерода (от общего их количества) соединена с атомами кислорода в этом материале? Считайте, что каждый атом кислорода связан с двумя атомами углерода.

4. Какой объем золота надо взять, чтобы приготовить 100 мл коллоидного раствора наночастиц золота средним диаметром 25 нм с концентрацией наночастиц 5 нМ (нМ = наномоль/л)?

## Задачи

### 1. Синтез наночастиц

Для получения наночастиц металла X нерастворимый в воде порошок безводного карбоната Y обработали концентрированной соляной кислотой, при этом образовался раствор, окрашенный в синий цвет. Далее наночастицы получали два исследователя, каждый из которых использовал свой метод.

**Метод 1.** Синий раствор разбавили водой, при этом наблюдали изменение окраски, а затем добавили водный раствор бесцветной жидкости, содержащей в своем составе три элемента, входящие в состав первых двух периодов, причем массовая доля самого легкого элемента составляет 12%. При нагревании до 60°C раствор потемнел вследствие выделения наночастиц металла.

**Метод 2.** Синий раствор по каплям добавляли к раствору едкого натра. Образовавшийся осадок отфильтровали и нагревали до тех пор, пока его масса не перестанет изменяться. Для получения наночастиц полученный продукт нагревали в токе водорода.

1) Какие наночастицы получены? Запишите уравнения всех упомянутых реакций, если известно, что из 1.00 г безводного карбоната Y удастся получить 0.48 г наночастиц с выходом 97%.

2) Какое применение находят синтезированные наночастицы?

### 2. Рога и копыта

Остап Ибрагимович Бендер, сын турецкоподданного, основал компанию “Рога и копыта” с конкретной нанотехнологической целью: извлекать пылеватое золото из глинистых месторождений. К настоящему моменту ещё не существует приемлемой технологии их переработки, и он решил быть первопроходцем в этой непростой области. Для выделения золота Бендер нарезал из закупаемого сырья тонкие полоски и изготавливал из них сеточки. Далее он обрабатывал рога крепкой соляной кислотой, затем промывал водой и раствором боргидрида натрия. Через полученные изделия Бендер фильтровал глинистую пульпу. Спустя некоторое время, после насыщения материала он промывал его раствором дитиотреитола ( $\text{HSCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{SH}$ ), смывы упаривал и растворял в царской водке. Полученный раствор упаривал досуха на водяной бане и аккуратно прокаливал при 400°C. Роговые пластинки после смывания золота, Бендер помещал обратно в глину для повторного насыщения. После отработки процесса Бендер провёл его оптимизацию и основал компанию “Шерсть и перо”

1) Какие способы добычи золота Вы знаете? Опишите их принципы и если необходимо – приведите уравнения реакций.

2) Почему они непригодны для добычи пылеватого золота?

3) Опишите процессы, проводимые Бендером на каждой стадии работы. Приведите уравнения или схемы реакций.

4) Почему Бендер далее перешёл на шерсть?

### 3. Шаровая молния

**Шаровая молния** (фаербол) – крайне редко встречающееся явление природы, представляющее собой светящееся грушевидное тело диаметром до 20 см и существующее не более нескольких минут. Так как экспериментальная проверка существующих теорий формирования шаровой молнии затруднена, неудивительно, что количество теоретических моделей, которые с разной степенью успеха описывают данное явление, довольно велико.



Одна из наиболее реалистичных концепций генезиса фаэрбола стала плодом случайного прохождения 23 июля 2012 года во время сильной грозы на Тибетском плато шаровой молнии перед двумя бесщелевыми спектрометрами. Было предложено объяснение полученных экспериментальных данных: за формирование шаровой молнии преимущественно ответственно горение на воздухе наночастиц веществ **X**, **Y** и **Z**, содержащих 100, 63,7 и 70.0% элемента **A** по

массе, соответственно. Общим для всех трех веществ продуктом горения является соединение **B**, содержащее 46.7% элемента **A** по массе.

- 1) Установите вещества **Y**, **Z** и **B**, если они являются бинарными соединениями.
- 2) Предложите механизм формирования в природе облака, состоящего из наночастиц **X**, **Y** и **Z**, как основы будущей шаровой молнии. При этом учтите, что температура канала обычной молнии весьма высока, выше 10 000 °С (почти в два раза горячее, чем на поверхности Солнца).
- 3) В рамках рассматриваемой теории напишите уравнения реакций, протекающих в действующей шаровой молнии.
- 4) Как Вы считаете, исходя из ответа на предыдущие вопросы, несет ли шаровая молния потенциальную опасность для здоровья человека:
  - а) в ходе непосредственного механического контакта;
  - б) при ингаляции наночастиц веществ **X**, **Y** и **Z**, которые в силу своих размеров могут проникать в легкие вплоть до альвеол?