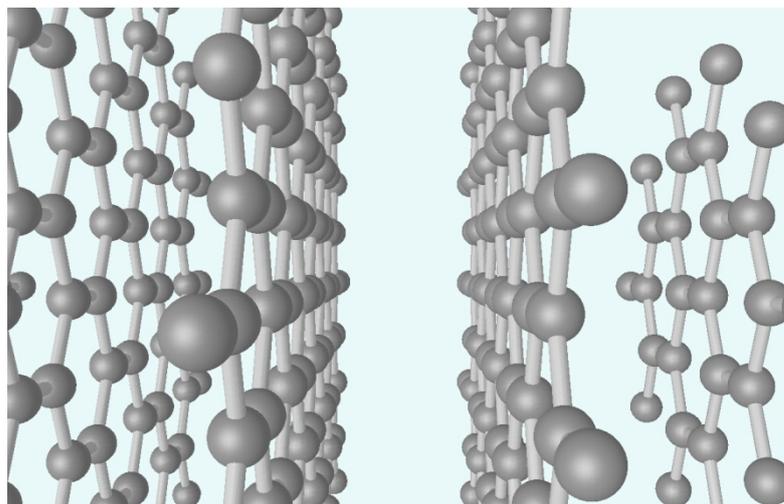


**Решения упрощенных задач отборочного тура  
VI Всероссийской Интернет - олимпиады  
"Нанотехнологии - прорыв в будущее"  
по комплексу предметов  
"математика, физика, химия, биология"  
для 7-8 классов и начинающих**

**1. Многоликий элемент (начинающие, 7 - 8 класс)**



**Какой химический элемент образует и самое прочное, и одно из самых "скользких" веществ (1 балл)?**

**Назовите их (1 балл).**

**Какие еще (кроме упомянутых двух) вещества, принадлежащие нанобию, этот элемент образует и какими уникальными свойствами они обладают (3 балла)?**

*Пояснения к решению: Этот элемент - **углерод**, существующий в природе в виде алмаза, известного всем драгоценного камня, либо в виде не менее известного графита.*

*История общения человека с этим веществом уходит во времена доисторические. Имя первооткрывателя углерода неизвестно, неизвестно и то, какая из форм элементарного углерода – алмаз или графит – была открыта раньше. Люди не сразу пришли к пониманию того, что благороднейший алмаз и невзрачный уголь – близнецы. Между тем, установить это было совсем просто: в один прекрасный день с помощью линзы сконцентрировали солнечные лучи на кристаллике алмаза, помещенного под стеклянный колпак. Алмаз сгорел, а под колпаком образовался углекислый газ – тот же самый, что образуется при горении угля. И графит, и алмаз состоят из одинаковых, только углеродных, атомов. Любой кристалл алмаза, даже огромный, шестисотграммовый знаменитый алмаз «Куллинан», – это углерод.*

*В графите атомы расположены в плоскости. Эти плоскости образуют достаточно плотную пачку, слои которой соединены между собой достаточно слабыми силами межмолекулярного взаимодействия. Вот почему так просто – даже от соприкосновения с бумагой – расслаивается графит.*

*Именно особенности молекулярного строения объясняют огромную разницу в свойствах графита и алмаза. Графит мягкий, легко расслаивается, алмаз – самое твердое вещество в природе. Графит отлично проводит тепло и электричество, алмаз – изолятор. Графит совершенно не пропускает света – алмаз прозрачен. Классической формой углерода является также более экзотический полимерный карбин.*

*Если имеется одиночный слой графита, то говорят о графене, в котором связи между атомами углерода являются ковалентными, прочными, а часть электронов делокализована по этой сетке. Впервые графен получила группа исследователей под руководством Новоселова и Гейма в 2005 году, а в 2010 они же получили Нобелевскую премию по физике. Если одиночный слой графена свернуть, то получается углеродная нанотрубка. Углеродные нанотрубки является одним из самых прочных материалов, могут обладать хорошей электропроводимостью и другими полезными свойствами. Еще одна форма - фуллерен, за открытие которого в 1996 г. была присуждена Нобелевская премия. Фуллерен, возможно, будет использоваться в наномедицине и альтернативной энергетике.*

## **2. Металлы (начинающие, 7 - 8 класс)**



Вы встречались в своей повседневной жизни с огромным количеством разных металлов и их сплавов. Сталь содержит железо. Грузило на удочке сделано из свинца, в обручальном кольце много золота. Кастрюля алюминиевая - значит, металлическая. Провода, если с них соскоблить пластмассовую «одежду», – медные, металлические. У многих металлов просто удивительные свойства.

- Существуют ли жидкие при обычных условиях металлы (1 балл)?  
Обязательно ли металлы тонут в воде (2 балла)?  
Какой металл самый прочный и какой самый мягкий (1 балл)?  
Какие металлы горят при контакте с воздухом (2 балла)?  
Какие металлы самые инертные (1 балл)?  
Какие опасны для здоровья, а какие нет (2 балла)?  
Наночастицы каких металлов планируется широко использовать и с какой целью (2 балла)?

Пояснения к решению: Металлы составляют значительную часть простых веществ, отвечающих элементам периодической таблицы Д.И.Менделеева. Есть и лёгкие металлы, которые плавают в воде, как пробка. Литий – это серебристо-белый металл. Он вдвое легче воды и в 15 раз легче железа. Литий входит в состав более 150 минералов, он есть почти в каждом камне и поэтому получил такое название: «литос» в переводе с греческого означает «камень».

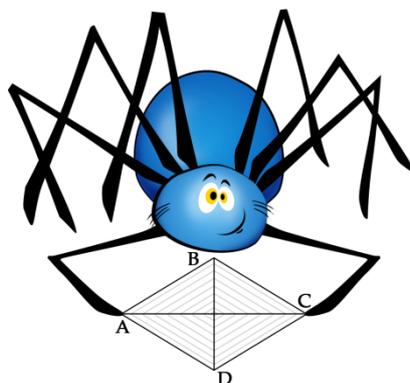
Один самых прочных и практически важных - металл серебристо-белого цвета, который называется титаном. Титан в 12 раз твёрже алюминия, в 4 раза твёрже железа и меди. Если раскалить другие металлы, они сразу теряют свою прочность. Но титан сохраняет свою прочность и при 500 градусах (поскольку покрыт прочной защитной оксидной пленкой). С точки зрения химика самыми прочными (но менее практически полезными, потому что они дороже и тяжелее титана) могут считаться, например, иридий, осмий, рений и вольфрам. Очень мягкими являются щелочные металлы. Ртуть жидкая, как и многие ее сплавы (амальгамы). Могут быть жидкими при комнатной температуре и другие сплавы, например, натрия и калия (используется как теплоноситель в "горячем" контуре атомных электростанций), а также, например, индия и галлия.

Горит, например, магний, алюминий, хотя в обычных условиях их защищает оксидная пленка. Все щелочные достаточно легко могут воспламениться на воздухе или при контакте с водой, очень активны щелочноземельные металлы, большое число металлов в виде мельчайших частиц может вспыхнуть сами по себе на воздухе из-за их большой площади поверхности ("пирофорные" формы металлов). Достаточно инертными металлом является золото (серебро и платина, например, существенно более химически активны), которое поэтому не проявляет явных токсичных свойств.

Наночастицы серебра используются в производстве прозрачных проводящих покрытий, составляя тем самым конкуренцию пленкам на основе углеродных нанотрубок, графена, а также убивают вирусы и микробы. Фильтры для очистки воды и воздуха на основе этих наночастиц гораздо более эффективны и долговечны по сравнению с ионными фильтрами. Наночастицы золота могут использоваться в биомедицинских целях. Ряд наночастиц (никель, платина, палладий) используются в составе каталитических систем. В целом, использование наночастиц металлов сильно ограничено их высокой

химической активностью в силу большой площади поверхности, поэтому наночастицы свободных металлов не очень широко используются (за исключением наночастиц серебра, золота, платины). Однако наночастицы соединений металлов чрезвычайно широко распространены.

### 3. Волшебный паучок (начинающие, 7 - 8 класс)



Пауки относятся к типу членистоногие, отряду паукообразные, который включает свыше 35 тысяч видов. Пауки являются одними из самых древних существ на планете Земля. На конце брюшка паука располагаются паутинные бородавки. Выходящее через них вещество, застывая на воздухе, превращается в нити, которые обладают высокой эластичностью и невероятно прочны. Паутина состоит из множества связанных друг с другом нановолокон. Варианты использования паутины довольно разнообразны, но самые распространенные – применение для построения коконов, ловчих сетей, страховочных нитей, препятствующих неудачному падению при прыжках, и «парашютов». Если бы паутина имела диаметр 25 см, то она могла бы выдержать груз массой 50 000 кг (масса танка 50 т), для сравнения - стальная проволока того же диаметра выдержит груз массой 13 000 кг (это масса "всего лишь" двух взрослых слонов).

**Предположим, что диаметр нити паутины равен 55 нанометров, а её плотность  $10 \text{ г/см}^3$  {условно, реальная плотность существенно ниже}. Сколько нужно паутины по массе, чтобы обернуть Землю вдоль экватора 5 раз (3 балла)?**

**Паук изготовил паутинку и вплел в свою ловчую сеть волокна, формирующие рисунок в форме ромба. Периметр ромба равен 12 см. Сумма диагоналей 8 см. Диаметр паутины 47 нм. Найти площадь ромба (см. рисунок, 2 балла).**

**Как Вы считаете, в какой отрасли (или отраслях) можно использовать "нанопаутинку" (2 балла)?**

**Как Вы думаете, что происходит с паутинкой во время дождя или в воде (и почему, 2 балла)?**

## Пауки очень хорошо передвигаются по гладким горизонтальным и вертикальным поверхностям, почему (2 балла)?

Дополнительные данные, если необходимы, найдите сами.

### Пояснения к решению:

1. Длина окружности  $L=2\pi R$ , обозначим  $L_1$  – длина паутины,  $L_1=5 \times 2 \pi R$ .

Предположим, паутина в сечении представляет цилиндр, объем цилиндра находим по формуле:

$V=\pi r^2 h$ ,  $L_1=h$ ,  $V=\pi r^2 \times 10 \pi R$ , где  $R$  – радиус Земли.

$V=475,56 \times 10^{-12} \text{ м}^3$ ,

$m=\rho \times V$ ,

$m=4,75 \times 10^{-6} \text{ кг}$ .

2. Пусть  $a$  – сторона ромба.

$a=12/4=3 \text{ см}$ .  $AC$ ,  $BD$  – диагонали.  $AC=d_1$ ,  $BD=d_2$ . Имеем систему

уравнений

$$\begin{cases} (d_1/2)^2 + (d_2/2)^2 = 9 \\ d_1 + d_2 = 8 \end{cases}$$

$$\begin{cases} d_1 + d_2 = 8 \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} d_1^2 + d_2^2 = 36 \end{cases}$$

$$\begin{cases} d_1^2 + d_2^2 + 2d_1d_2 = 64 \end{cases}$$

Из этой системы можно получить  $d_1d_2=14$

Площадь ромба  $S=0,5d_1d_2=7 \text{ см}^2$ .

Для более точного расчета площади ромба можно, в принципе, учесть "ободок", занятый паутиной, однако у этого ободка, конечно, будет очень маленький вклад.

3. В последнее время паутину пытаются использовать при изготовлении оптических волокон. Для этого паутину покрывают силикатным клеем, сушат и подвергают термообработке при высоких температурах. Паутина выгорает, остается капилляр из оксидных соединений кремния. Паутина или полимеры, обладающие аналогичными свойствами, могли бы стать идеальными материалами для легких бронежилетов. В народной медицине есть такой рецепт: на рану или ссадину, чтобы остановить кровь, можно приложить паутину, аккуратно очистив ее от застрявших в ней насекомых и мелких веточек. Оказывается, паутина обладает кровеостанавливающим действием и ускоряет заживление поврежденной кожи {просьба не повторять на себе, поскольку это не вполне надежный рецепт "народной медицины"}. Хирурги и трансплантологи могли бы использовать ее в качестве материала для наложения швов, укрепления имплантантов. С помощью паутины можно существенно улучшить механические свойства

множества материалов, которые в настоящее время применяются в медицине.

4. Когда паутина намокает, она сильно сокращается (это явление получило название суперконтракции). Это происходит потому, что молекулы воды проникают в волокно и делают неупорядоченные гидрофильные участки более подвижными. Если паутина растянулась и провисла от попадания насекомых, то во влажный или дождливый день она сокращается и при этом восстанавливает свою форму.
5. Каждая лапка паука, а у него их обычно 8, состоит из десятков тысяч тонких щетинок, способных приблизиться до молекулярных расстояний к поверхности, что приводит к проявлению так называемых сил Ван-дер-Ваальса. Общая сила сцепления может достигать больших значений и удерживать вес, во много раз превышающий массу паучка. Хотя до знаменитой ящерицы геккона паучку все равно далеко.

#### 4. Конец света? (начинающие, 7 - 8 класс)



*Кроваво-красное озеро в Багдаде*

Некоторые озера на нашей планете, например, на западе штата Техас (США) или в Багдаде (Ирак), имеют кроваво-красный цвет воды. Необычная окраска воды, ставшей похожей на кровь, заставила религиозных фанатиков в очередной раз заговорить о приближающемся конце света.

**Что же на самом деле вызвало изменение цвета воды в таких озерах (2 балла)?**

**Имеют ли практическое значение те объекты, которые находятся в таких озерах, и если имеют, то в каких областях нанотехнологий, науки и техники они будут полезны (3 балла)?**

### Пояснения к решению:

Красный цвет является результатом действия уникальных бактерий галофилов, которые активно размножаются в лишенной кислорода воде. Фотосинтезирующим пигментом у этих бактерий является не хлорофилл, а (бактерио)родопсин – вещество (белок), похожее на то, которое служит "светоприемником" в наших глазах (колбочках). Именно оно обуславливает окраску колоний в цвета от розового до красного цвета, что имеет для галофилов немаловажное значение как средство защиты против избыточной радиации, поскольку для их мест обитания характерна обычно высокая освещенность. Поглощение света приводит к генерированию сигнала, по которому бактерии начинают перемещаться по направлению источника света. Фотосенсорная реакция обеспечивает оптимальную для клеток галобактерий пространственную ориентацию, и они концентрируются в зонах с благоприятным для них световым режимом.

Использовать бактериородопсин пытаются в новых, оптических, средах записи информации, а также пока в гипотетических проектах экзотических проектов солнечных батарей. В принципе, размножающуюся в таких водоемах биомассу можно после соответствующей обработки превратить в компоненты пищевых продуктов.

## **5. Молочные реки, кисельные берега (начинающие, 7 - 8 класс)**



Всем известно, что жидкость – это вещество, обладающее свойством текучести. Самым распространенным примером является вода. Каждый из нас хорошо

представляет себе, как течет вода. Очень похожими свойствами обладает молоко, подсолнечное масло, апельсиновый сок и т. д. Давайте проведем эксперимент – приготовим кисель. Чтобы кисель загустел, необходимо смешать воду и крахмал. Если Вы уже готовили это блюдо, то наверняка замечали, что смесь крахмала и воды плохо размешивается, создается ощущение, что остаются комочки и крахмал все время оседает. Это особенно заметно, если мешать быстро, чувствуется сопротивление. А если мешать медленно, то жидкость кажется однородная и текучей.

**Является ли полученная смесь жидкостью в физическом понимании (1 балл)?**

**Если эта смесь – жидкость, то, к какому типу жидкости она относится (3 балла)?**

**На представленной иллюстрации изображен кисельный бережок с экзотической растительностью на нем. Что за крахмальные кустарники растут на этом бережке (2 балла)?**

Пояснения к решению:

*Существует 2 основных типа жидкостей, различающихся по своему отклику на механическое воздействие: ньютоновская ("обычная") и неньютоновская (с "нелинейным" поведением). К ньютоновским жидкостям относят привычные для нас "легко текучие" жидкости, такие как вода, масло, молоко, сок и т.д., вязкость которых не зависит от скорости механического воздействия на нее (в том диапазоне, который мы можем устроить "своими руками"). Полученная водно-крахмальная смесь, хотя и не обладает ярко выраженными текучими свойствами, но все же она также является жидкостью, но уже неньютоновской. Поэтому при увеличении скорости перемешивания она начинает "сопротивляться", то есть "густеет". Очевидно также, что с точки зрения химика такая "жидкость" не является чистым веществом, а является смесью. Для физика это просто жидкость с обычным необычным поведением. Существует несколько видов неньютоновской жидкости в зависимости от типов течения. Рассматриваемая смесь относится к дилатантной, у которой вязкость возрастает при увеличении скорости деформации сдвига, но это уже усложняющие детали. Для собственного интереса попробуйте поискать в интернете, что такое "дурацкая замазка". Сам крахмал - это биополимер и он состоит из нескольких молекул: молекул амилозы, представляющих собой спиралевидные цепочки, и молекул амилопектина, состоящие из разветвленных цепочек глюкозы. Эти молекулы и представлены в художественном виде на рисунке.*

## 6. История одного открытия (начинающие, 7 - 8 класс)

### История одного открытия

1

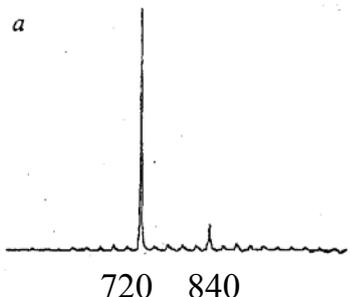


2



NATURE VOL. 318 14 NOVEMBER 1985

3



4



Четыре картинки рассказывают нам об истории открытия известного углеродного наноматериалах.

**Какое отношение имеет каждая картинка к нашему материалу (3 балла)?**

**О каком наноматериале идет речь (1 балл)?**

**Где он применяется или будет применяться (2 балла)?**

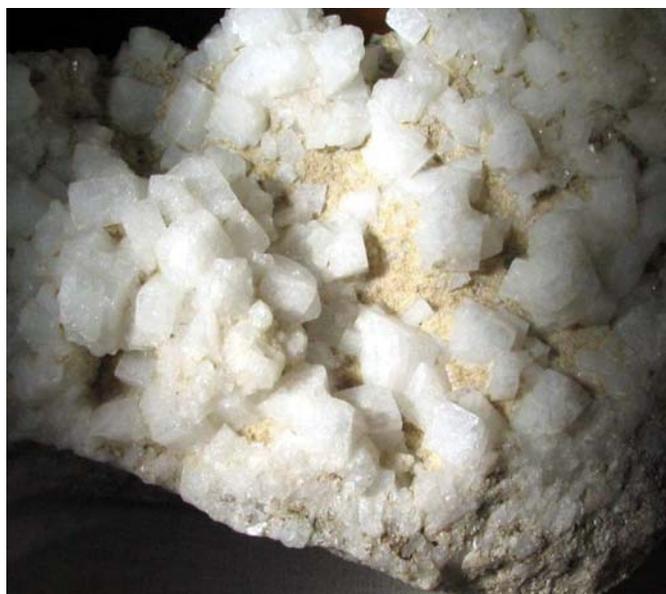
Пояснения к решению:

- 1) *Портрет Архимеда. Архимедовы тела – полуправильные, выпуклые многогранники. Среди них – усеченный икосаэдр, гранями которого являются правильные многоугольники двух типов (отсюда название : полуправильный многогранник Архимедово тело): пятиугольники (12 штук) и шестиугольники (20 штук). У усеченного икосаэдра – 60 вершин. Такую форму имеет молекула C<sub>60</sub>. Архимед первым описал подобную пространственную фигуру.*
- 2) *Геодезический купол. Подобные купола конструировал американский архитектор и изобретатель Бакминстер Фуллер. Молекула C<sub>60</sub> по форме совпадает с одной из конструкций Фуллера, и потому была названа БакминстерФуллерен. Для остальных членов семейства используется название «фуллерены».*

- 3) Масс-спектр из работы Крото, Керла и Смолли, опубликованной в 1985 году в журнале «Nature». По оси абсцисс отложены массовые числа. Пики с массовыми числами 720 и 840 соответствуют индивидуальным молекулам  $C_{60}$  и  $C_{70}$ . Так фуллерены впервые наблюдались экспериментально! За эту работу авторы удостоены Нобелевской премии.
- 4) Раствор  $C_{60}$  в толуоле характерного фиолетового цвета. Фуллерены – единственная растворимая аллотропная форма углерода. Лучшие растворители – ароматика (бензол, толуол, орто-ксилол и т.д.) Именно с помощью растворения Кречмеру и Хоффману удалось впервые отделить фуллерены от углеродной сажи и получить твердое вещество - фуллерит ((не отдельные газовые молекулы  $C_{60}$ !)).
- 5) Таким образом, речь в задаче идет о фуллеренах, которые могут применяться в виде производных в медицинских целях и в солнечной энергетике (другие применения менее вероятны).

## 7. Нанолейки (начинающие, 7 - 8 класс)

*«Земля зачерствела, как губы,  
Обметанные сыпняком,  
И засухи дымные трубы  
Беззвучно гудели кругом...»  
А. Тарковский. «Засуха»*



Нашу жизнь скрашивает природа. Очень яркая и живая, она дарит удивительные картины, а нам остается только любоваться ею. Однако случается, что в засушливую погоду растения страдают от нехватки воды. В природе существуют алюмосиликатные минералы, которые используют в сельском хозяйстве в качестве «нанолеек». Благодаря своей особенной структуре они сохраняют влагу в почве, удерживая ее длительное время, и отдают ею растениям в момент засухи медленно и постепенно.

**Назовите этот тип минералов и укажите, в чем состоит особенность его строения (структуры) (3 балла)?**

Пояснения к решению:

*Таким минералом может быть цеолит, хотя, возможно, особые почвенные структуры, содержащие каолин (и другие типы глин) также могли бы подойти. Цеолиты – это каркасные алюмосиликаты, имеющие особую «пористую» структуру с размером пор 0,4–3 нм. Наличие этих полостей обуславливает способность к ионному обмену и определяет высокие сорбционные свойства цеолитов. Благодаря свойству поглощать в кристаллический каркас молекулы воды и другие химические соединения, цеолит может использоваться как своеобразная емкость для "хранения" воды. В момент засухи цеолит может постепенно отдавать поглощенную влагу.*

### **8. Фейерверк цвета (начинающие, 7 - 8 класс)**



крыло бабочки



перо павлина



раковина моллюска

Живая природа завораживает своей красотой: взмах крыльев бабочек, яркое оперение павлина, перламутровое покрытие раковин моллюсков, а ведь этот перелив оттенков с широкой гаммой цветов не есть влияние "окрашенных" пигментов, а в основе лежит совсем другой принцип.

**Что это за явление и чем оно обусловлено (3 балла)?**

**Где могут применяться материалы, созданные на основе обсуждаемого принципа (2 балла)?**

Пояснения к решению:

*Подобный перелив ("иризация") обусловлен особенностью оптических свойств фотонных кристаллов, состоящих из правильно "уложенных" элементов (шариков, полосок, чешуек), которые бабочки «изобрели» задолго до того, как ученым удалось синтезировать фотонные кристаллы в лаборатории. Наблюдаемая в фотонных кристаллах периодичность расположения микроэлементов приводит к изменению оптических свойств в зависимости от "угла зрения". Фотонный кристалл влияет не только на «радужность» крыльев, но и, в принципе, на количество поглощаемой ими энергии света.*

## **9. Штурмовая лестница**



Наноробот зачем-то бежит по наноэскалатору. В первый раз он насчитал 50 ступенек, во второй раз, двигаясь со скоростью втрое большей, он насчитал 75 ступенек.

**Сколько ступенек он насчитал бы на неподвижном эскалаторе (3 балла)?**

*Необходимые дополнительные предположения (если они и правда необходимы) укажите сами.*

Пояснения к решению:

*Закон сложения скоростей. Обозначим скорость движения наноробота относительно эскалатора через  $V_{12}$ , а скорость эскалатора относительно земли через  $V_2$ . При решении данной задачи будем учитывать то, что перемещение наноробота относительно Земли во всех рассматриваемых случаях одинаково. Обозначим это перемещение через  $S$ . Расстояние от ступеньки до ступеньки равно  $l_0$ . Пусть наноробот идет по ходу эскалатора.*

Выберем ось  $OX$  по ходу движения эскалатора. Из закона сложения скоростей найдем величину скорости наноробота относительно Земли:

$$V_1 = V_{12} + V_2, \text{ OX: } V_{1x} = V_{12x} + V_{2x}, V_1 = V_{12} + V_2.$$

Так же находим величину скорости наноробота  $V_1'$  в том случае, когда он увеличил свою скорость втрое:

$$V_1' = 3 \times V_{12} + V_2, \text{ OX: } V_{1x}' = 3 \times V_{12x} + V_{2x}, V_1' = 3 \times V_{12} + V_2.$$

Время движения человека со скоростью  $V_{12} - t$ , а время движения наноробота со скоростью  $3V_{12} - t'$ . Выразим перемещение наноробота относительно Земли в первом случае через время и скорость движения относительно Земли:

$$S_x = V_{1x} \times t, S = (V_{12} + V_2) \times t,$$

$$S_x = V_{1x}' \times t', S = (3V_{12} + V_2) \times t',$$

$$(V_{12} + V_2) \times t = (3V_{12} + V_2) \times t'.$$

Выразим величину вектора перемещения наноробота относительно эскалатора когда он насчитал  $n_1$  ступенек и  $n_2$ :

$$S_{12} = n_1 \times l_0, S_{12}' = n_2 \times l_0.$$

$$S_{12} = V_{12} \times t, S_{12}' = 3 \times V_{12} \times t'.$$

$$n_1 \times l_0 = V_{12} \times t, n_2 \times l_0 = 3 \times V_{12} \times t'.$$

$$l_0 = (V_{12} \times t) / n_1, n_2 \times (V_{12} \times t) / n_1 = 3 \times V_{12} \times t',$$

$$t = (3 n_1 / n_2) \times t'.$$

$$S_x = V_{1x} \times t, S = (V_{12} + V_2) \times (3 n_1 / n_2) \times t',$$

$$S_x = V_{1x}' \times t', S = (3V_{12} + V_2) \times t',$$

$$(V_{12} + V_2) \times (3 n_1 / n_2) \times t' = (3V_{12} + V_2) \times t',$$

$$V_2 = V_{12} \times (3(1 - n_1 / n_2) / (3 n_1 / n_2 - 1)).$$

Количество ступенек на неподвижном эскалаторе равно отношению его длины, т.е. величины перемещения наноробота относительно Земли  $S$  к расстоянию между ступеньками  $l_0$ :

$$S / n_1 \times l_0 = ((V_{12} + V_2) \times t) / V_{12} \times t,$$

$$S / l_0 = n_1 \times (1 + V_2 / V_{12}).$$

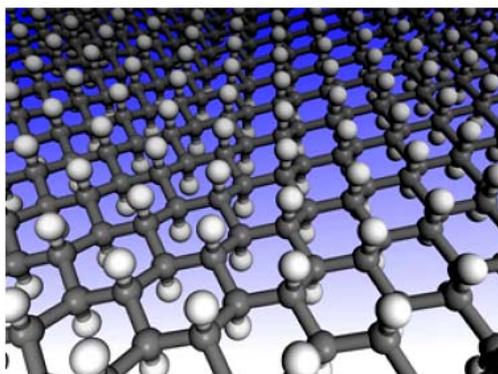
$$N = S / l_0 = n_1 \times (1 + (V_{12} \times (3 \times (1 - n_1 / n_2) / ((3 \times n_1 / n_2) - 1)) / V_{12})) =$$

$$= n_1 \times (1 + (3 \times (1 - n_1 / n_2) / ((3 \times n_1 / n_2) - 1))),$$

$$N = 50 \times (1 + (3 \times (1 - 50 / 75) / ((3 \times 50 / 75) - 1))) = 100.$$

100 ступенек наноробот насчитал бы на неподвижном эскалаторе.

## 10. Хранение водорода (8 - 9 класс)



Белые шарики – атомы водорода, черные – углерода.

Углеродные наноматериалы (фуллерены, нанотрубки, графен) все еще предполагается использовать для хранения водорода. Чистый жидкий или газообразный водород можно «упаковать» в инертные контейнеры. Для хранения также используют химические соединения, содержащие значительное количество водорода и адсорбенты, способные прочно удерживать водород в поверхностном слое.

Важнейшими характеристиками любого способа хранения водорода служат массовая ( $w\%$ ) и объёмная ( $V$ ) емкости. Эти величины рассчитываются по формулам

$$w\% = \frac{\text{масса сохраняемого водорода}}{\text{масс сохраняющего вещества или контейнера}} \times 100$$
$$v(\text{kg} / \text{dm}^3) = \frac{\text{масса сохраняемого водорода}}{\text{объем сохраняющего вещества или контейнера}}$$

**Рассчитайте  $w\%$  и  $V$  для следующих систем:**

**а) водорода, хранящегося под давлением 10 бар при  $T=298\text{K}$  в контейнере объемом 10 литров и массой 5 кг (3 балла).**

**б) углеродных нанотрубок, имеющих плотность  $d=0.47 \text{ г/см}^3$ , в которые за счет химической адсорбции удалось поместить водород. При обработке образца нанотрубок массой 0.2394 г водородом произошло увеличение массы до 0.2560 г (3 балла).**

**в) двумерного материала графана (4 балла)**

Графен представляет собой плоскость, состоящую из правильных шестиугольников. В вершинах шестиугольников расположены атомы углерода. К каждому атому углерода присоединен атом водорода. Связь С-Н перпендикулярна углеродной плоскости. Атомы водорода расположены, как показано на рисунке. Расстояние С-С равно 1.55 А, расстояние С-Н составляет 1.11 А. ( $A$  - обозначение единицы длины "ангстрем")

**г) Министерство энергетики США предлагает найти к 2017 году способы хранения водорода с  $w\% \geq 7.5\%$  и  $V \geq 0.070 \text{ кг/дм}^3$ . Какие из систем, перечисленных в а)-в), могут достигнуть подобных параметров (1 балл)?**

Пояснения к решению:

а) Рассчитаем массу водорода в контейнере по уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$2 * 10 * 10 / 0.082 / 298 / 1000 = 0.00818 \text{ kg}$$

Найдем  $w\%$  :

$$w\% = 0.00818 / 5 * 100 = 0.164$$

Найдем  $V$ :

$$V = 0.00818 / 10 = 0.000818 \text{ kg} / \text{dm}^3$$

б) Рассчитаем массу водорода, адсорбированного трубкой, а затем  $w\%$  и  $V$ :

$$0.0002560 - 0.0002394 = 0.0000166 \text{ kg}$$

$$w\% = 0.0000166 / 0.0002560 * 100 = 6.50$$

$$V = 0.0000166 / 0.0002560 * 0.47 = 0.031 \text{ kg} / \text{dm}^3$$

в) Подсчитаем  $w\%$  :

$$w\% = 1 / 13 * 100 = 7.7$$

Расчет  $V$  вызывает трудности, поскольку графан является двумерным материалом. Предлагается следующее решение. Представим объем многогранника, в основании которого находится правильный шестиугольник, состоящий из атомов углерода, а высота равна длине двух связей C-H плюс толщина графеновой плоскости.

$$V_{\text{объем}} = 3/2 * a^2 * \sqrt{3} * h = 3/2 * (1.52)^2 * \sqrt{3} * (2.11 + 0.77) = \\ = 1.79 * 10^{-26} \text{ dm}^3$$

Оценим теперь объёмную емкость. Внутри рассчитанного объема находятся шесть атомов водорода, однако каждый из них считается три раза (принадлежит трем шестиугольникам). Поэтому,

$$V = 2 * 1.66 * 10^{-27} / 1.79 / 10^{-26} = 0.18 \text{ kg} / \text{dm}^3$$

Для более детального расчёта нужно “реши́ть” тригональную пирамиду, так как сетка графана не плоская. Толщина будет равна 2 C-H + высота пирамиды. Угол при вершине пирамиды равен 109,5 градусов (тетраэдрический, для  $sp^3$ -гибридного углерода).

г) Именно параметры графана превосходят целевые параметры, предложенные Министерством энергетики США.