

ФИЗИКА (школьники)

С 10 января 2013 года начинается ОТБОРОЧНЫЙ тур для школьников 7-11 классов в рамках VII Интернет - олимпиады по нанотехнологиям, проводимой [МГУ им. М.В.Ломоносова](#) и [Фондом инфраструктурных и образовательных программ РОСНАНО](#). Решение задач отборочного тура **ОБЯЗАТЕЛЬНО** для прохождения на очный тур олимпиады, завершение тура - 30 января 2013 года (31 января весь день будут приниматься оставшиеся задания опоздавших, с 1 февраля утром начнется проверка и задания больше загружать будет нельзя).

Интернет - олимпиада по нанотехнологиям традиционно вошла в приказ министерства образования и науки о [перечне олимпиад на 2012 / 2013 учебный год](#) (номер 3 в перечне) по комплексу предметов "химия, физика, математика, биология" и будет давать существенные льготы при поступлении абитуриентов в ВУЗы. Призеры и победители будут награждены памятными призами. Сроки проведения Олимпиады для школьников, участвующих в испытаниях по комплексу предметов "химия, физика, математика, биология":

- [Регистрация и перерегистрация участников](#): по 25 января 2013 года ([ИДЕТ](#))
- Отборочный тур: с 10 по 31 января 2013 г.
- Задания и возможность загрузки решений даны по классам в разделе "[Олимпиада](#)"
- Дополнительные баллы можно получить в результате участия в конкурсе идей (рефератов) проектных и творческих работ.

Призеры и победители отборочного тура будут объявлены на основании баллов, набранных при решении всех четырех предметов.

Фотоэлектронная спектроскопия (6 баллов)

При исследовании состава наноматериалов используется метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). При исследовании на образец падает пучок рентгеновских лучей, а с поверхности образца вылетают электроны, выбитые с внутренних орбиталей. Определяя энергию электронов, можно получить информацию о химическом составе образца.

При облучении образца пучком рентгеновского излучения с длиной волны $\lambda_1 = 0.95$ нм в спектре РФЭС наблюдается только один пик, соответствующий некоторой энергии связи электронов, при этом импульс вылетевших электронов равен $p = 1.5 \cdot 10^{-23}$ кг·м/с. А при облучении пучком с длиной волны $\lambda_1 = 0.80$ нм в спектре наблюдается тот же самый пик.

1. Найти импульс вылетевших электронов p во втором случае. (3 балла)
2. Найти отношение импульса фотона к импульсу электрона $p_{\text{ф}}/p$ в обоих случаях. (2 балла)
3. Объяснить полученный результат, используя фундаментальные физические законы. (1 балл)

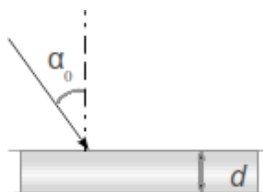
Скорость света $c = 3.0 \cdot 10^8$ м/с, масса электрона $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}$ кг, постоянная Планка $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

Дифракция электронов (4 балла)

Метод дифракции электронов используется для исследования структуры твердых тел. В опыте по определению постоянной кристаллической решетки электроны разгоняют в поле с разностью потенциалов 100 В. Далее пучок электронов падает нормально на поверхность образца, представляющего собой тонкую фольгу из монокристаллического вещества. При этом на экране, расположенном за образцом, наблюдается дифракционная картина, в которой второй дифракционный максимум находится под углом $\alpha = 30^\circ$. Найти постоянную решетки исследуемого вещества.

Оптическое волокно (5 баллов)

Некоторые полупроводниковые наночастицы, будучи прозрачными в видимом или ближнем инфракрасном диапазоне, могут иметь более высокий показатель преломления, чем стекло. Такие частицы, внедренные в стекло, изменяют эффективный показатель преломления среды. Представим, что на такое цилиндрическое стеклянное волокно снаружи падает луч света под углом $\alpha_0 = 45^\circ$.



Диаметр сечения волокна $d = 1$ см. В месте падения показатель преломления равен $n_0 = 1.3$. Эффективный показатель преломления стеклянного волокна с внедренными наночастицами линейно растёт вдоль длины, начиная от точки падения: $n(l) = n_0 + kl$, l – длина, $k = 0.5$ см $^{-1}$.

Сколько раз луч выйдет из волокна? Искажением пучка на цилиндрической поверхности можно пренебречь.

Задача о ЦП (6 баллов)

Согласно известному закону Гордона Мура (одного из основателей компании Intel) количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые 24 месяца. При этом производительность процессоров в компьютерах должна удваиваться каждые 18 месяцев из-за сочетания роста количества транзисторов и быстродействия каждого из них.

К увеличению количества размещаемых на кристалле транзисторов ведет их миниатюризация: в настоящее время при изготовлении процессоров используется технологический процесс «22 нм», а к 2018 г. планируется разработать и внедрить технологию с линейным разрешением в 10 нм.

Вопрос 1. Какие фундаментальные ограничения затрудняют процесс миниатюризации при переходе к столь малым размерам элементов интегральных схем? (3 балла)

В то же время, рост производительности процессоров до последнего времени определялся увеличением их тактовой частоты. Однако, после достижения определенного значения тактовой частоты (около 4 ГГц) дальнейшее увеличение производительности пошло по пути увеличения числа ядер, размещаемых на одном процессорном кристалле, а также применения схем параллельных вычислений.

Вопрос 2. Чем, с физической точки зрения, определяется наличие верхнего предела тактовой частоты? Оценить верхний предел тактовой частоты одноядерного процессора. (3 балла)

Эффект просветления оптики (6 баллов)

Юный физик Иванов решил пронаблюдать в эксперименте эффект просветления оптики, состоящий в нанесении тончайших (толщиной около 100 нм) покрытий на внешнюю поверхность объективов фотоаппаратов для уменьшения потерь на отражение света и связанных с ним нежелательных бликов, повышенного светорассеяния и низкого контраста получаемых фотографий. От старших коллег он слышал, что просветления (увеличения светопропускания) обычно добиваются в зеленой области спектра на длине волны около 540 нм – области наибольшей чувствительности человеческого глаза – для чего необходимо нанести на объектив слой четвертьволновой толщины из фторида магния или фторида бария (показатель преломления обоих веществ $n_f = 1.38$). Однако, за неимением под рукой подобных материалов Иванов решил использовать глицерин, а для создания из него тонкой пленки – достаточно простой метод ‘spin-coating’, опробованный им при получении пленок с наночастицами селенида кадмия. Выбор глицерина в качестве просветляющего вещества он объяснил тем, что данная жидкость является прозрачной, практически не испаряется при комнатной температуре и имеет, как и в случае с фторидами магния и бария, показатель преломления $n_r = 1.44$ близкий к показателю преломления материала объектива, равному в данном случае $n_o = 1.41$. Использование жидкости для просветляющего слоя существенно ограничивало практическое применение данной методики, поскольку объектив приходилось располагать все время строго горизонтально, однако для наблюдения эффекта просветления этого было достаточно. После серии экспериментов с использованием профилометра (прибора для измерения толщин тонких пленок) Иванов смог подобрать нужное количество глицерина, при нанесении которого на поверхность вращающегося объектива получался равномерный слой толщиной $540/4 = 135$ нм. Однако, к большому удивлению юного физика

просветления в зеленой области спектра не наступило, что было очевидно даже без эксперимента по пропусканию света через объектив.

Вопросы.

- 1) Как, не анализируя прошедший через объектив свет, Иванов понял, что допустил ошибку? **(2 балла)**
- 2) В чем именно состояла ошибка Иванова? **(2 балла)**
- 3) Какой толщины должна быть глицериновая пленка для достижения эффекта просветления на длине волны 540 нм? **(2 балла)**

Цветные растворы серебра (8 баллов)

Студенты Онуфрий и Аполлинарий получили два коллоидных раствора наночастиц серебра. Чудесным образом, растворы различались по цвету. Чтобы разобраться, чей коллоидный раствор «лучше», студенты решили снять спектры поглощения растворов на лабораторном спектрофотометре. Растворы показали сходные спектры поглощения, имеющие по одному пику гауссовой формы:

$$I = I_0 e^{-b(\lambda - \lambda_{\max})^2}$$

Максимумы спектров поглощения растворов А и О соответствуют длинам волн 400 ± 10 нм и 620 ± 10 нм, а интенсивности максимумов поглощения – 0.35 и 0.20 усл.ед., соответственно.

λ , нм	360	400	450	496	534	620	750
$I(A) / I(O)$	260 / 1	150 / 2	45 / 4	4.34 / 3	10 / 2.1	1 / 813	1 / $6.8 \cdot 10^8$

1. Какую окраску имеют коллоидные растворы А и О? Расскажите Аполлинарию и Онуфрию как взаимосвязан цвет их коллоидных растворов с полученными спектрами поглощения. **(1 балл)**
2. Чей коллоидный раствор лучше и почему? **(1 балл)**
3. Изобразите, как будет выглядеть спектр коллоидного раствора, полученного смешением двух растворов, в равных объемах? **(2 балла)**
4. Что нужно сделать с раствором А, чтобы при длине волны возбуждающего излучения 534 нм интенсивность поглощения двух коллоидных растворов стала одинаковой? **(2 балла)**
5. Как регистрируют спектры поглощения коллоидных растворов? **(1 балл)**
6. Как соотносятся размеры наночастиц в растворах А и О? **(1 балл)**

Клатраты – застывшая нанопена (10 баллов)

В 1887 году Уильям Томсон (лорд Кельвин) задался вопросом: как разбить трехмерное пространство на одинаковые по объему многогранники так, чтобы площадь их стенок была минимальна (задача одинаковых пузырьков в пене). С тех пор данная проблема носит название задачи Кельвина.

В 1993 году в качестве решения задачи Кельвина была предложена структура Уэйра-Фелана. В ее основе – заполнение пространства 12-ти и 14-тигранниками (рис. 1). В этой структуре 14-тигранники связаны друг с другом через шестиугольные грани в цепочки, которые, в свою очередь, выстраиваются в трех взаимно перпендикулярных направлениях, образуя трехмерный каркас с 12-тигранными пустотами между ними.

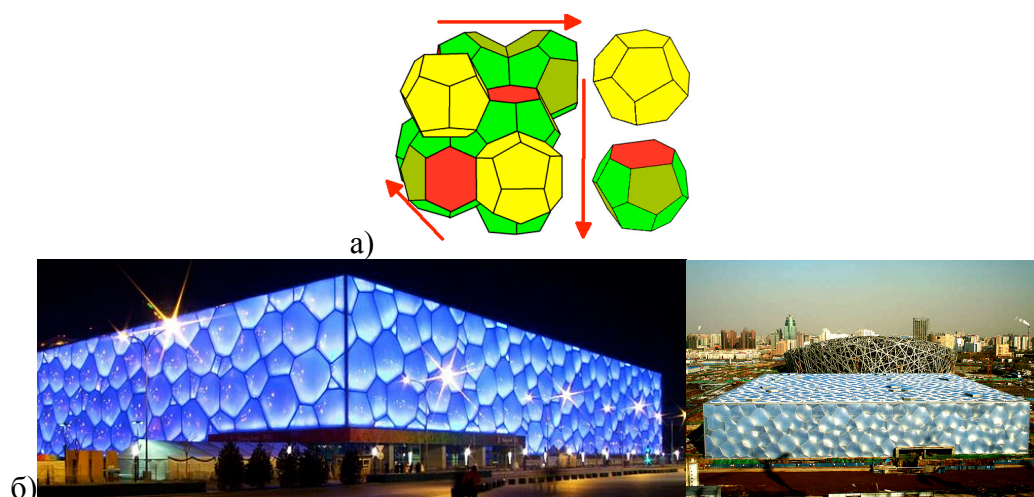


Рис. 1. а) Структура Уэйра-Фелана и составляющие ее многогранники. б) Пекинский национальный плавательный комплекс, построенный к Олимпиаде 2008 года в Пекине на основе этой структуры. Такой подход к дизайну позволил получить более легкую и прочную конструкцию.

Похожее на структуру Уэйра-Фелана решение используется природой при построении простейших газовых гидратов – соединений включения, в которых молекулы гостя находятся в клетках-«нанопузырьках», образованных молекулами воды (рис. 2.).

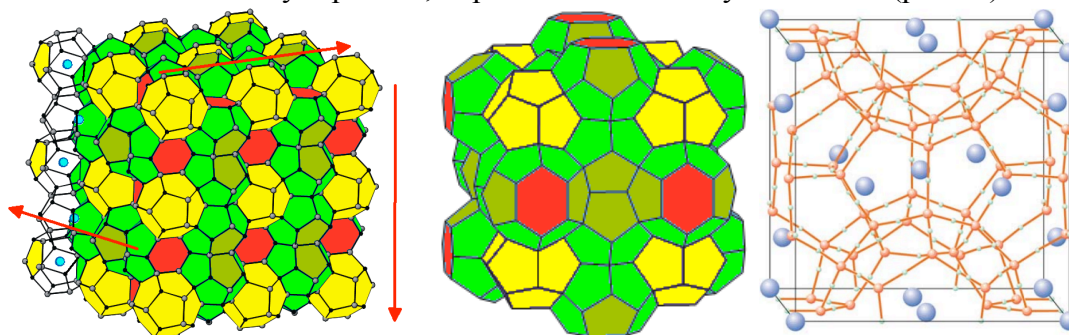
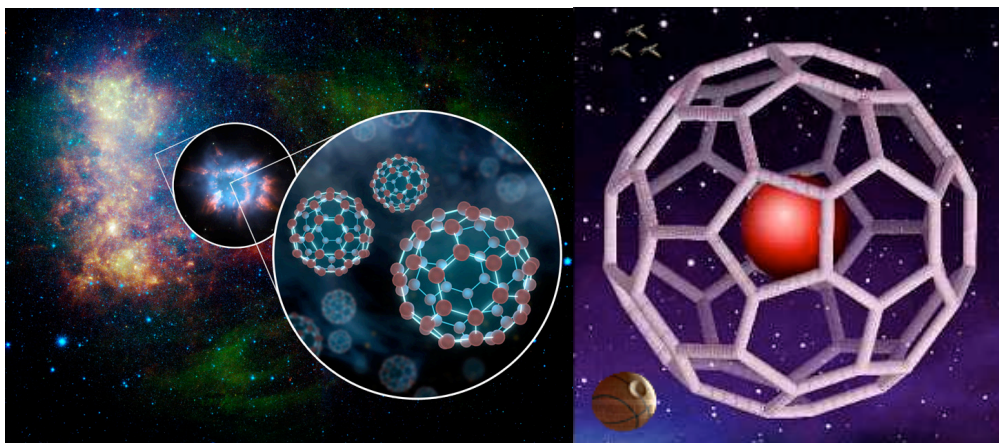


Рис. 2. Структура простейшего клатрата - газогидрата, отвечающая структуре Уэйра-Фелана. Построена из двух правильных многогранников: додекаэдра (12 граней, 20 вершин) и тетрадекаэдра (14 граней, 24 вершины). Молекулы гостя занимают центры всех ячеек.

1. Какие еще материалы можно назвать нанопеной? (1 балл)
2. Структура какого наноматериала является решением двумерного случая задачи Кельвина (разбиение плоскости на равные ячейки с минимальным периметром)? (1 балл)
3. Соответствует ли структура простейшего клатратного каркаса условиям задачи Кельвина? Ответ поясните. (2.5 балла)
4. Какие связи связывают структурные единицы простейшего клатрата в каркас? Какова при этом валентность и гибридизация узлового атома? (1 балл)
5. Атомы и соединения атомов какой группы Периодической таблицы должны быть склонны к образованию такого типа клатратов, почему? Приведите несколько примеров. (2 балла)
6. Где могут найти применение клатраты с такой структурой? Приведите три примера. (2.5 балла)

Космические Бакиболы (11 баллов)



В последнее время фуллерены все чаще и чаще находят в космосе.

1. Каким образом удастся «разглядеть» фуллерены в далекой-предалекой галактике? Почему для этого используют телескоп, находящийся на орбите Земли? (2 балла)

Оказывается, космические фуллерены можно не только «рассмотреть» издалека, но даже потрогать. Их, равно как и наноалмазы, регулярно находят в упавших из космоса на Землю метеоритах.

2. Какую информацию могут нести попавшие в руки ученых космические фуллерены и наноалмазы? (1 балл)



Удар большого болида (астероида или кометы) 1.8 млрд лет назад создал второй по величине ударный кратер-астроблема, диаметром почти 250 км на территории современной Канады (Садбери, Онтарио). В измельченной взрывом горной породе было обнаружено значительное содержание фуллеренов. Возник вопрос: образовались ли эти фуллерены во время взрыва, или же являются рассеянным веществом болида, которое пережило взрыв?

Выделенные в чистом виде фуллерены (считайте, что они представляют собой только C_{60} , небольшим количеством C_{70} пренебрегаем) при нагревании в вакууме выделяют гелий, который был заключен во внутренней полости, предположительно, в момент образования.

3. Объем газа (при н.у., в пересчете на один грамм фуллеренов) составляет $2.09 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3$. Рассчитайте среднюю концентрацию гелия (моль/ м^3) во внутренних полостях фуллеренов. (2 балла) Диаметр фуллерена принять равным 0.7 нм, размерами атомов пренебречь.

Считая, что гелия в атмосфере Земли содержится $5.27 \cdot 10^{-4} \%$ по объему, и его концентрация за прошедшее с момента взрыва время изменилась незначительно, дайте ответ на вопрос:

4. Могли ли эти фуллерены образоваться в Земной атмосфере? (1 балл)

В выделившемся из фуллеренов гелии* содержится маленькая примесь изотопа ^3He ($1.15 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3$).

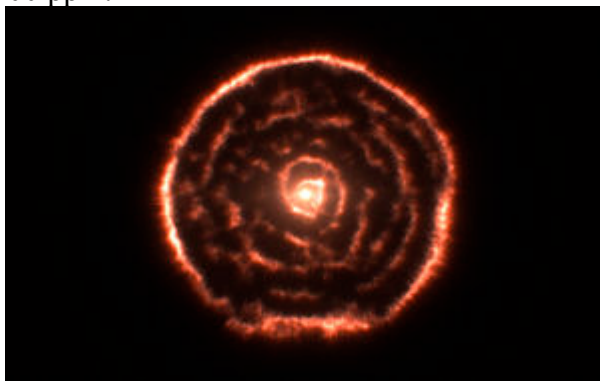
5. Подтверждает или опровергает этот факт предыдущий вывод? (0.5 балла)

Считая температуру образования фуллеренов равной 1000°C и предположив, что гелий попал в фуллерены в момент их образования:

6. Оцените, при каком давлении гелия (в атм.) образовались фуллерены. (0.5 балла)

7. Как вы думаете, могли ли эти фуллерены образоваться в космосе сразу вслед за остыванием Вселенной после Большого Взрыва? (1.5 балла) Что должны представлять собой «космические фабрики» по производству фуллеренов? Приведите пример. (2 балла) Могли ли эти фуллерены образоваться в Солнечной системе? (0.5 балла) Ответы поясните.

* Соотношение ^3He и ^4He является «визитной карточкой» материала. Его измеряют в ppm (частях на миллион). Для Земной атмосферы эта величина составляет 1.38 ppm, в горных породах 1 – 12 ppm. Для вещества, сформировавшего Солнечную систему, эта величина равна примерно 100 ppm, в солнечном ветре – 400 ppm, в околоземной космической пыли – до 300 ppm.



Графеновый шар (9 баллов)

Летом 2008 года на научно-популярных сайтах появились заметки с громкими заголовками типа «Учёные создали воздушный шар из графена». Эти заметки сообщали о создании «самого маленького в мире воздушного шара» – графенового пузыря размером 9 нм с толщиной стенок всего в один атом.

1. Как Вы думаете, верна ли формулировка, поставленная в заголовки новостей? Возможно ли создать сферу из графена? Ответ обоснуйте. (1 балл)

2. Опишите, как сделать изображенный на рис.1 графеновый пузырь. Каким образом его можно наполнить газом? Почему пузырь удерживается на подложке? (2 балла)

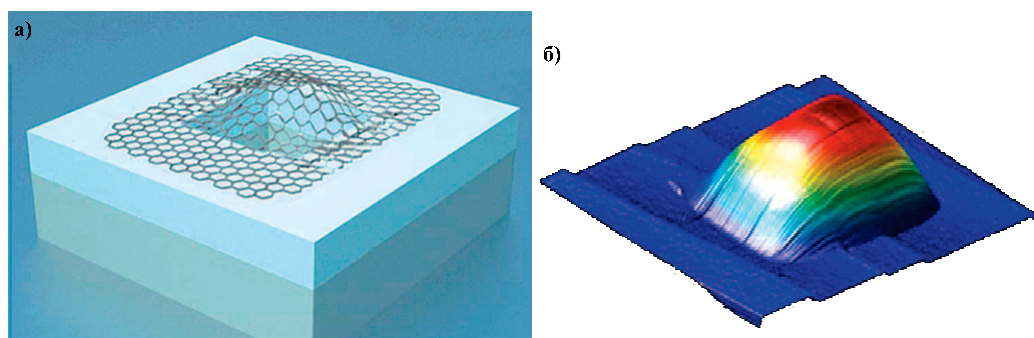


Рис. 1. Графеновый пузырь на подложке из SiO_2/Si с квадратным углублением в SiO_2 : а) схематическое изображение; б) изображение реального пузыря, полученное при помощи АСМ.

3. Проникаем ли графен для газов? Почему высота пузыря со временем медленно уменьшается (рис. 2)? Почему высота заполненного водородом пузыря уменьшается быстрее всего? Как заново «надуть» пузырь? (1.5 балла)

Графеновый пузырь кратковременно поместили в атмосферу озона при облучении ультрафиолетом. До и после такой обработки его заполняли различными газами и измеряли зависимость высоты пузыря от времени (рис. 2).

4. Что произошло с графеновым пузырем после такой обработки? Объясните наблюдаемые для обработанного пузыря зависимости в случае H_2 и CO_2 (рис. 2а). Оцените размер характерных особенностей графенового пузыря после обработки. (3 балла)

5. Какое применение могут найти упомянутые в задаче графеновые пузыри? (1.5 балла)

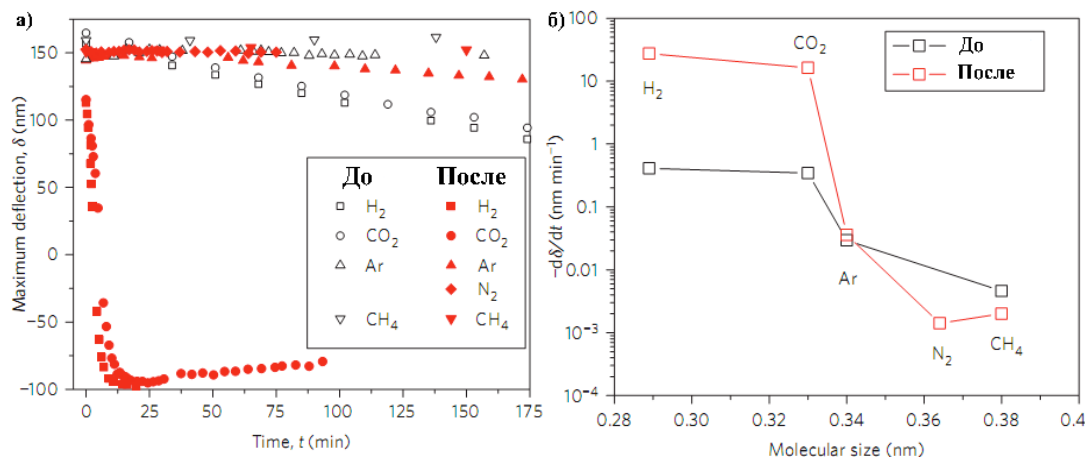


Рис. 2. а) Зависимость высоты заполненного газом графенового пузыря от времени на воздухе. б) Зависимость средней скорости уменьшения высоты заполненного пузыря от размера молекул заполняющего его газа. Серые метки – до обработки, красные метки – после обработки.