



Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)
Задания. Вариант I

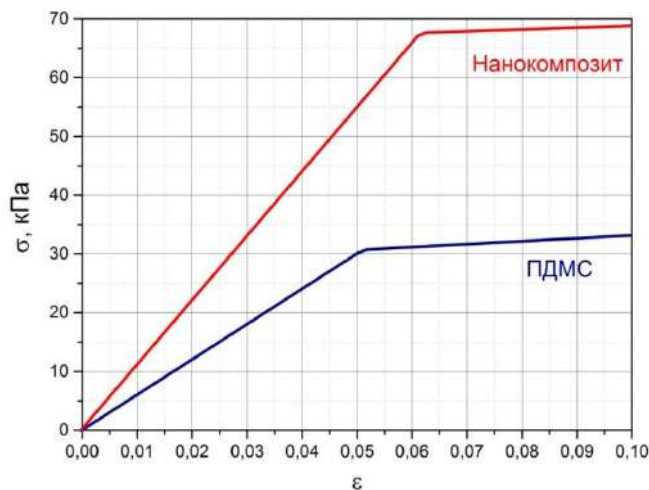
Задача 1. Осаждение тонкой пленки (8 баллов)

В камере объемом $V_1 = 20$ л под поршнем находятся насыщенные пары серебра.

1. Какую работу необходимо совершить при изотермическом сжатии паров до $V_2 = 19$ л? **(3 балла)**
2. В результате изотермического сжатия на подложке образуется металлическая пленка. После осаждения, подложка остывает и пленка кристаллизуется. Какой толщины будет серебряная пленка? **(5 баллов)** Температура в камере $T = 1500$ К. Давление насыщенных паров при данной температуре $p = 34,5$ Па. Плотность серебра $\rho = 10,5$ г/см³. Площадь пластины $S = 100$ см².

Задача 2. Наноккомпозит (8 баллов)

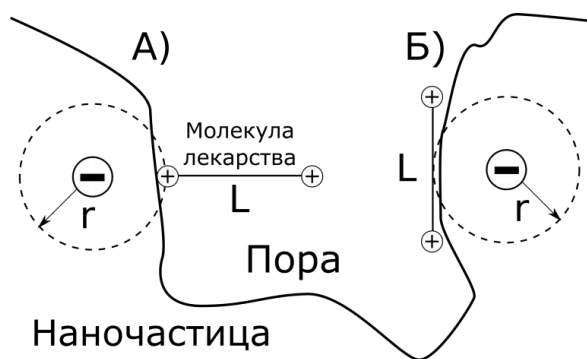
Введение наночастиц в полимерный материал является эффективным методом изменения его механических характеристик. На рисунке приведены диаграммы напряжение-деформация для полимера ПДМС и наноккомпозита на его основе (ПДМС, содержащий 5% многостенных углеродных нанотрубок в виде включений).



1. Определите модули Юнга* полимера и наноккомпозита и объясните их различие. **(6 баллов)**
2. Что произойдет с наноккомпозитом, если его растянуть на 9%? **(2 балла)**

* Модуль Юнга – коэффициент пропорциональности в законе Гука.

Задача 3. Заряженные наночастицы (8 баллов)



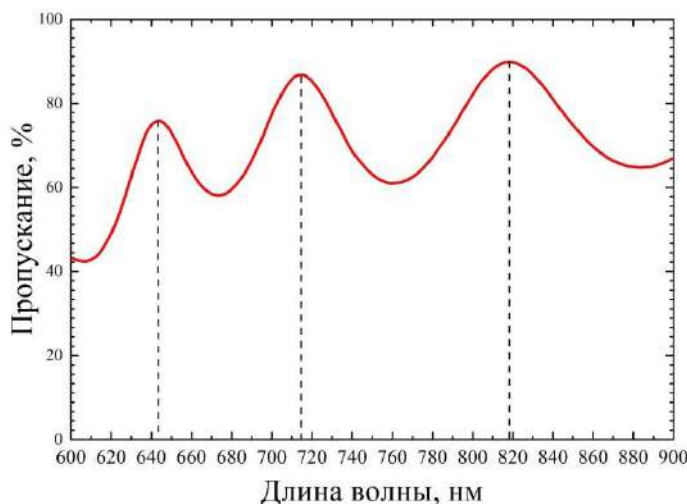
Для повышения эффективности лекарств ученые используют направленную доставку с помощью наночастиц. В поры наночастиц загружают лекарства за счет сил кулоновского притяжения к противоположно-заряженным центрам на поверхности наночастиц. Масса загружаемого лекарства зависит от расположения молекул в порах, так как одни молекулы могут перекрывать доступ в поры другим. Какое из расположений молекулы лекарства, заряженного одинаковым зарядом на каждом из концов, показанное на рисунке (А или Б), обладает меньшей энергией? **(8 баллов)** Длина молекулы $L = 2r$, где r – минимальное расстояние от молекулы до заряженного атома в наночастице. Ответ обоснуйте расчетами.

Задача 4. Прозрачная нанопленка (8 баллов)

Для того, чтобы измерить толщину прозрачных тонких пленок, находящуюся в микрометровом диапазоне, зачастую используется инфракрасная (ИК) спектроскопия – метод, позволяющий получать спектры пропускания в ИК области. Для определения толщины пленок в диапазоне менее 1 мкм лучше подходит оптическая спектроскопия видимого спектра. Вопрос – почему? **(1 балл)**

На графике представлен спектр пропускания тонкой пленки при нормальном падении на нее света в диапазоне 600-900 нм. Оцените толщину пленки с использованием представленного графика. **(5 баллов)** В расчетах примите, что показатель преломления пленки в измеряемом диапазоне длин волн постоянен и равен $n = 3,8$.

В действительности, увеличивается или уменьшается показатель преломления данной пленки с увеличением длины волны? Ответ обоснуйте. **(2 балла)**



Задача 5. Квантовые точки (8 баллов)

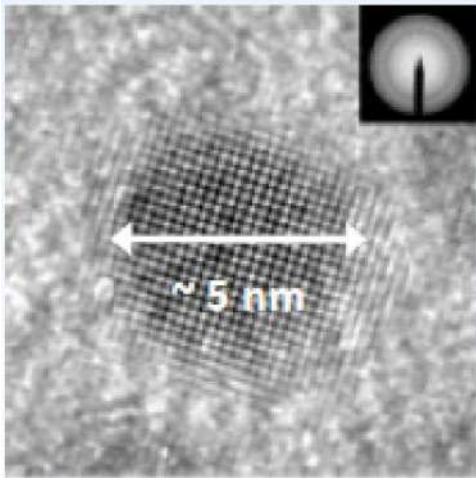


Рис. 1. Изображение квантовой точки, полученное в просвечивающем микроскопе

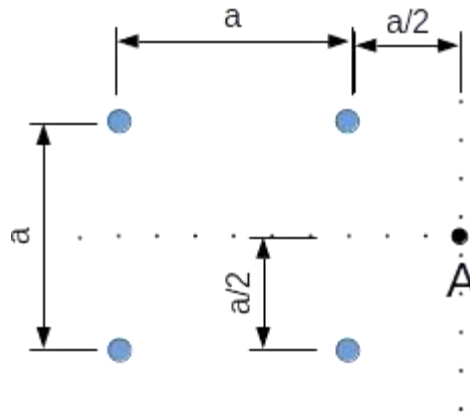


Рис. 2. Взаимное расположение 4 квантовых точек, образующих квадрат

Квантовые точки – наночастицы шарообразной формы, имеющие уникальные физические свойства (см. рис. 1). Представим, что 4 квантовые точки, расположенные в вершинах квадрата, получили заряд $\Delta q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Какова будет напряженность электрического поля в точке А (см. рис. 2)? **(8 баллов)** Расстояние $a = 100$ нм. Диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 2$, диэлектрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,8 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

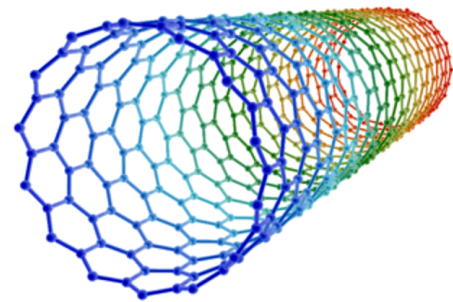
Задача 6. Предел прочности нанотрубки (20 баллов)

Среди большого разнообразия наноматериалов особое место занимают углеродные нанотрубки, обладающие уникальными механическими свойствами. В частности, для них характерны рекордные значения модуля Юнга и предела прочности на разрыв, то есть механического напряжения, при котором происходит разрушение материала.

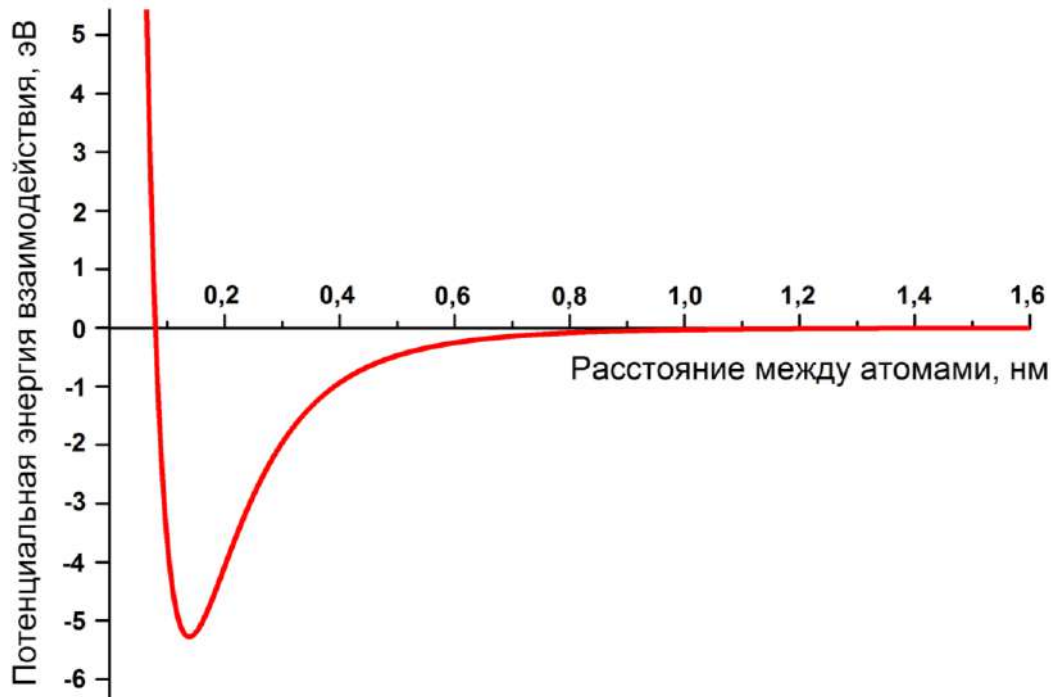
Известно, что взаимодействие между атомами углерода в нанотрубке описывается потенциалом Леннард-Джонса

$$U(r) = 4U_0 \left[\left(\frac{R}{r} \right)^{12} - \left(\frac{R}{r} \right)^6 \right],$$

где $U(r)$ – потенциал взаимодействия, $U_0 = \text{const}$, r – расстояние между атомами, R – минимальное расстояние, на котором энергия взаимодействия между атомами равна нулю. График $U(r)$ изображён на рисунке.



Одностенная углеродная нанотрубка типа «зигзаг»



1. По представленному графику $U(r)$ определите расстояние между соседними атомами углерода и энергию связи С–С в недеформированной одностенной углеродной нанотрубке. **(6 баллов)**
2. Определите количество связей С–С в поперечном сечении одностенной углеродной нанотрубки типа «зигзаг», ориентированных вдоль её оси, если диаметр данной нанотрубки равен 2 нм. **(7 баллов)**
3. Используя полученные результаты, оцените предел прочности на разрыв для данной нанотрубки, если растягивающую силу прикладывают вдоль её оси. Минимальная сила, необходимая для разрыва одной связи С–С, равна 6,1 нН. **(7 баллов)**

Задача 7. Дифракция на атомах в наночастице (20 баллов)

Кристаллическую структуру твердотельных наноструктур изучают с помощью рентгеновской и электронной дифракции, а для определения среднего размера наночастиц, d , используют формулу Дебая-Шеррера, связывающую его с уширением дифракционных линий:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta},$$

где λ – длина волны излучения, θ – угол дифракции, β – полуширина дифракционного пика, K – форм-фактор, равный 0,9 для сферических частиц.

Найдите полуширину линии для дифракционного максимума первого порядка от наночастиц диаметром $D = 5$ нм **(8 баллов)**, если межплоскостное расстояние в нанокристалле $d = \lambda = 1,5 \text{ \AA}$.

Чему будет равна полуширина, если дифракция наблюдается не в рентгеновском дифрактометре, а в просвечивающем электронном микроскопе с энергией электронов 200 кэВ? **(12 баллов)**

Задача 8. Левитация наночастиц (20 баллов)

В ходе решения задач заочного тура Вы познакомились с методом оптического пинцета, за который в 2018 году была присуждена Нобелевская премия. Один из вопросов этой задачи состоял в том, чтобы выяснить какие еще силы, помимо градиентной, действуют на частицы, освещаемые светом.

Представим себе, что серебряный куб с ребром $a = 50$ нм (например чуть меньше, чем тот, который изображен на микрофотографии) освещается пучком света снизу. Какова должна быть интенсивность света, чтобы он парил в поле силы тяжести? Свет монохроматический, падает перпендикулярно к нижней грани. Коэффициент отражения $R = 1,0$. Плотность серебра $\rho = 10,5$ г/см³. (15 баллов)

Как будет отличаться интенсивность света (будет больше или меньше), если освещать наностержень с диаметром основания $D = 50$ нм, как показано на рисунке. Ответ обоснуйте. (5 баллов)

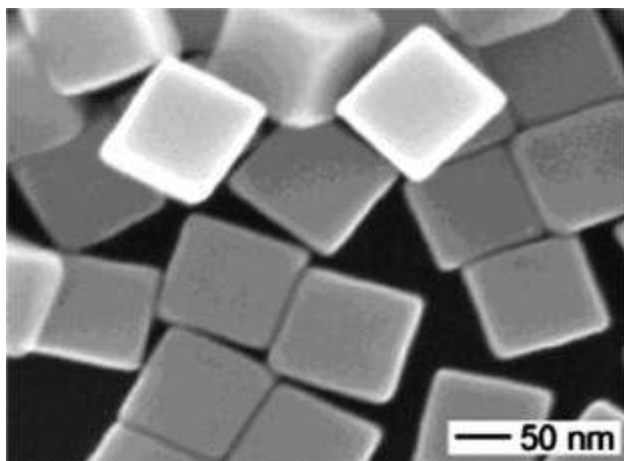


Рис. 1. Микрофотография серебряных нанокубиков

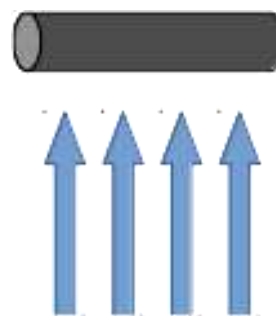


Рис. 2. Падение света на наностержень