



**Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)  
Простые задачи (вариант 2)**

**Задача 1. Микрофон**

Технология МЭМС (Микро- Электро- Механическая Система) позволяет миниатюризировать многие датчики. По этой технологии производят конденсаторные микрофоны. Они представляют собой конденсатор, на обкладках которого поддерживается постоянный заряд. Между обкладками – диэлектрическая пластина. Под действием избыточного давления конденсатор деформируется (обкладки сближаются, а пластина сжимается). Диэлектрическая проницаемость пластины  $\epsilon = 10$ . Площадь мембраны  $S = 10^4$  мкм<sup>2</sup>, заряд на обкладках  $q = 0.01$  нКл,  $\epsilon_0 = 8.8 \cdot 10^{-12}$  Ф/м. Коэффициент жесткости пластины  $k = 10^3$  Н/м.

1. На сколько должно возрасти давление воздуха, чтобы мембрана сместилась на  $\Delta x = 10$  нм? **(4 балла)**
2. На сколько при этом изменится напряжение на конденсаторе? **(4 балла)**

**Всего – 8 баллов**

**Задача 2. Оптоакустические нанокompозиты**

Российские исследователи, развивая идеи корейских ученых, предложили композитные наночастицы для усиления оптоакустического сигнала. Они заполнили гидрофильные поры пористых наночастиц германия (пористость  $P = 50\%$ ) полимером с увеличенным коэффициентом теплового расширения  $\beta_p = 1.2 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$  против  $\beta_{Ge} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  для германия, при этом мощность нагрева частицы не изменилась.

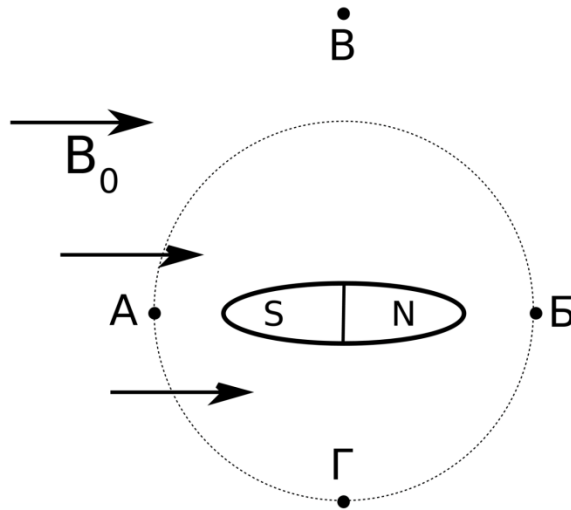
Во сколько раз изменится оптоакустический сигнал наночастицы,  $I$ , если известно, что  $I \sim \frac{\beta}{C} H$ , где  $\beta$  – коэффициент теплового расширения,  $C$  – теплоемкость, а  $H$  – мощность нагрева? Теплоемкости германия, полимера и воды считать равными 0.32 кДж/(кг К), 1.5 кДж/(кг К), 4.2 кДж/(кг К). Плотности германия и полимера считать равными 5.3 г/см<sup>3</sup> и 1 г/см<sup>3</sup>. Относительное расширение наночастицы можно считать малым.

**Всего – 8 баллов**

**Задача 3. Магнитные наночастицы для диагностики**

В методе магнитно-резонансной томографии (МРТ) зачастую используют специальные контрастные магнитные наночастицы, которые создают вокруг себя магнитное поле, добавочное к внешнему однородному полю  $B_0$ .

1. Расположите точки А, Б, В, Г на рисунке в порядке убывания индукции суммарного магнитного поля в них, ответ аргументируйте. **(3 балла)**

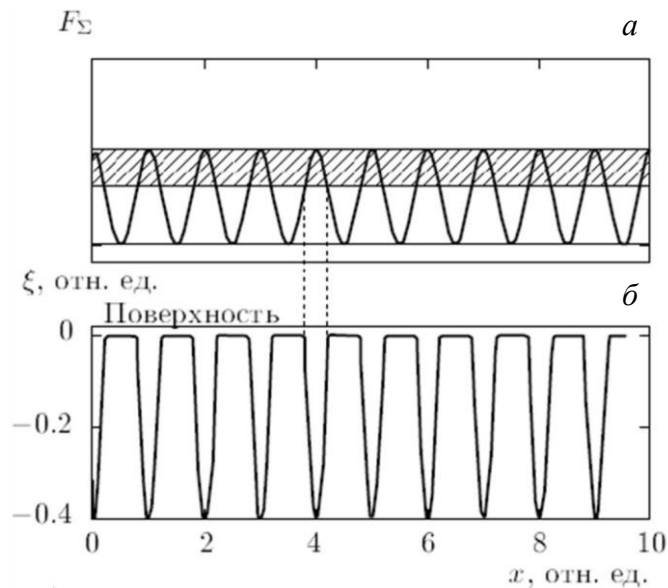


Упрощенно можно считать, что индукция добавочного поля убывает с расстоянием  $r$  по следующему закону:  $B_{NP} = \frac{\mu_0 \cdot P}{4\pi r^3}$ , где  $\mu_0$  – магнитная постоянная, равная  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м, а  $P$  – магнитный момент наночастицы. Это поле приводит к нарушению резонансных условий (резонансная частота пропорциональна индукции локального поля) для окружающих частицу молекул воды, что вызывает изменение сигнала (контрастирование).

- Найдите  $B_0$ , если известно, что результирующее поле отличается на  $10^{-6}$  от внешнего на расстоянии 40 нм (будем считать это условием нарушения резонанса), а магнитный момент наночастицы  $P = 1.6 \cdot 10^{-22}$  Дж/Тл. **(5 баллов)** Наночастицу можно считать материальной точкой.

Всего – 8 баллов

#### Задача 4. Лазерное наноструктурирование поверхности



Для получения упорядоченной периодической структуры на поверхности различных материалов может быть использован метод лазерного наноструктурирования.

Метод основан на эффекте абляции – удалении вещества с поверхности при воздействии лазерных импульсов, происходящего в результате ее нагрева при превышении определенного порогового значения интенсивности лазерных импульсов.

На рисунке *a* представлен график распределения интенсивности лазерного излучения на поверхности образца, возникающий в результате интерференции двух одинаковых по интенсивности лазерных импульсов, описываемый следующей формулой:

$$I(x) = 4I_0 \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L} x\right),$$

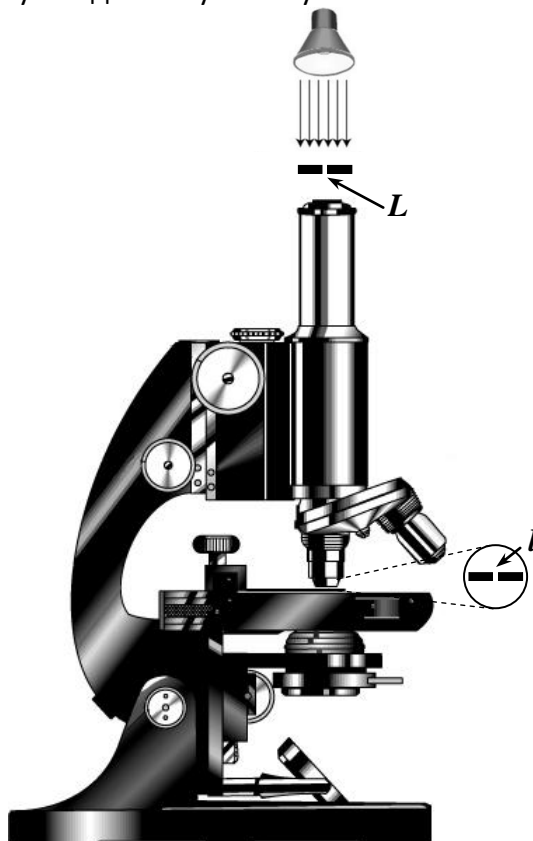
где  $I_0$  – интенсивность лазерных импульсов,  $d$  – расстояние между двумя лазерами, равноудаленными от поверхности на расстояние  $L$ . На рисунке *б* показан профиль поверхности материала после удаления части вещества вследствие абляции.

1. Поясните смысл заштрихованной области на рисунке *a*. (2 балла)
2. Найдите период результирующего профиля поверхности  $\Delta x$  (2 балла) и ширину  $\delta$  образовавшихся на облучаемой поверхности впадин, если известно, что для облучения использовались лазеры с длиной волны  $\lambda = 800$  нм, расстояния  $d$  и  $L$  равны  $d = 60$  см и  $L = 30$  см, а порог абляции составлял  $I_0$ . (4 балла)

Всего – 8 баллов

### Задача 5. Микроскоп наоборот

Как известно, микроскоп служит для получения увеличенного изображения малых объектов.



Но в силу принципа обратимости хода лучей в оптике верно и обратное: разместив объект перед окуляром и освещая его светом можно получить его уменьшенное изображение вблизи фокальной плоскости объектива.

1. Каким будет зазор  $l$  на изображении между двумя темными полосками при их проецировании описанным выше методом на предметный стол микроскопа, если эти полоски расположить на расстоянии  $L = 0.15$  мм друг от друга и удалить на  $d = 4F$  от окуляра ( $F$  – фокусное расстояние окуляра)? **(3 балла)** Кратность увеличения объектива считать равной 100.
2. Оцените, при каком минимальном расстоянии между полосками  $L_{\min}$  они еще не будут сливаться на полученном изображении? Ответ поясните. **(5 баллов)**

**Всего – 8 баллов**



**Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)**  
**Простые задачи (вариант 4)**

### Задача 1. Микрофон

Технология МЭМС (Микро- Электро- Механическая Система) позволяет миниатюризировать многие датчики. По этой технологии производят конденсаторные микрофоны. Они представляют собой конденсатор, на обкладках которого поддерживается постоянный заряд. Между обкладками – диэлектрическая пластина. Атмосферное давление возрастает на 1 мм рт. ст., и конденсатор деформируется (обкладки сближаются, а пластина сжимается). Диэлектрическая проницаемость пластины  $\epsilon = 10$ . Площадь мембраны  $S = 10^4$  мкм<sup>2</sup>, заряд на обкладках  $q = 0.01$  нКл,  $\epsilon_0 = 8,8 \cdot 10^{-12}$  Ф/м. Коэффициент жесткости пластины  $k = 10^3$  Н/м. Плотность ртути  $\rho = 13.5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

1. На какое расстояние  $\Delta x$  сместится мембрана? **(4 балла)**
2. На сколько при этом изменится напряжение на конденсаторе? **(4 балла)**

**Всего – 8 баллов**

### Задача 2. Оптоакустические нанокompозиты

Одним из перспективных методов диагностики заболеваний мозга является оптоакустическая томография. Для того, чтобы “окрасить” сосудистую систему мозга, ученые разрабатывают специальные наночастицы. Поры этих наночастиц, которые состоят из кремния (пористость  $P = 50\%$ ), заполнены полимером с увеличенным коэффициентом теплового расширения  $\beta_p = 1.2 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$  против  $\beta_{Si} = 2.6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  для кремния, при этом мощность нагрева частицы такая же как и без полимера. Известно, что оптоакустический сигнал наночастицы  $I \sim \frac{\beta}{C} H$ , где  $\beta$  – коэффициент теплового расширения,  $C$  – теплоемкость, а  $H$  – мощность нагрева.

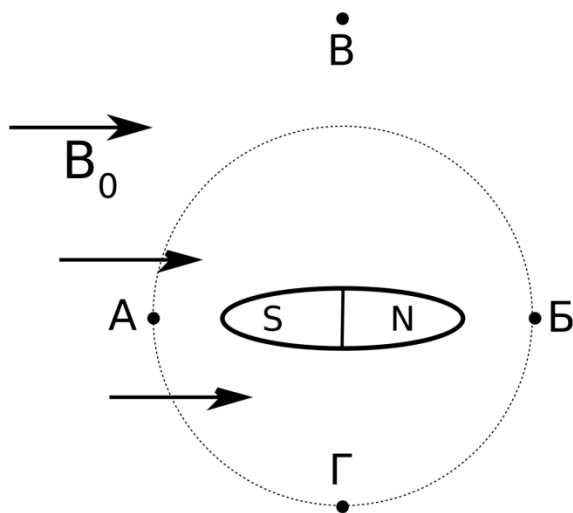
Во сколько раз сигнал наночастицы с полимером больше сигнала частицы без полимера? Относительное расширение наночастицы считать малым. Теплоемкости кремния, полимера и воды считать равными 0.7 кДж/(кг К), 1.5 кДж/(кг К), 4.2 кДж/(кг К). Плотности кремния и полимера считать равными 2.3 г/см<sup>3</sup> и 1 г/см<sup>3</sup>.

**Всего – 8 баллов**

### Задача 3. Магнитные наночастицы для диагностики

Ученые используют магнитные наночастицы для контрастирования определенных тканей в методе магнитно-резонансной томографии (МРТ). Наночастицы создают вокруг себя магнитное поле, добавочное к внешнему однородному полю  $B_0 = 2$  Тл.

1. Расположите точки А, Б, В, Г на рисунке в порядке возрастания индукции суммарного магнитного поля в них и объясните **(3 балла)**.

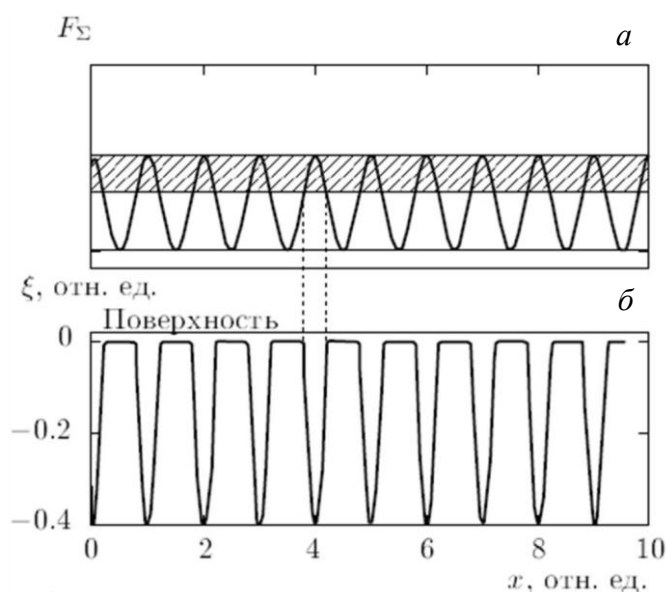


Будем считать, что индукция добавочного поля убывает с расстоянием,  $r$ , по следующему закону:  $B_{NP} = \frac{\mu_0 \cdot P}{4\pi r^3}$ , где  $\mu_0$  – магнитная постоянная, равная  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м, а  $P$  – магнитный момент наночастицы, которую можно считать точечной. Наличие добавочного поля ведет к нарушению резонанса (резонансная частота пропорциональна индукции локального поля) для молекул вокруг наночастицы, что вызывает изменение сигнала МРТ (контрастирование).

- Найдите расстояние  $R$ , на котором результирующее поле отличается на  $10^{-6}$  от внешнего (будем считать это условием нарушения резонанса), если магнитный момент наночастицы  $P = 1.6 \cdot 10^{-22}$  Дж/Тл. **(5 баллов)**

**Всего – 8 баллов**

#### Задача 4. Лазерное наноструктурирование поверхности



Для получения упорядоченной периодической структуры на поверхности различных материалов может быть использован метод лазерного наноструктурирования.

Метод основан на эффекте абляции – удалении вещества с поверхности при воздействии лазерных импульсов, происходящего в результате ее нагрева при превышении определенного порогового значения интенсивности лазерных импульсов.

На рисунке *a* представлен график распределения интенсивности лазерного излучения на поверхности образца, возникающий в результате интерференции двух одинаковых по интенсивности лазерных импульсов, описываемый следующей формулой:

$$I(x) = 4I_0 \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L} x\right),$$

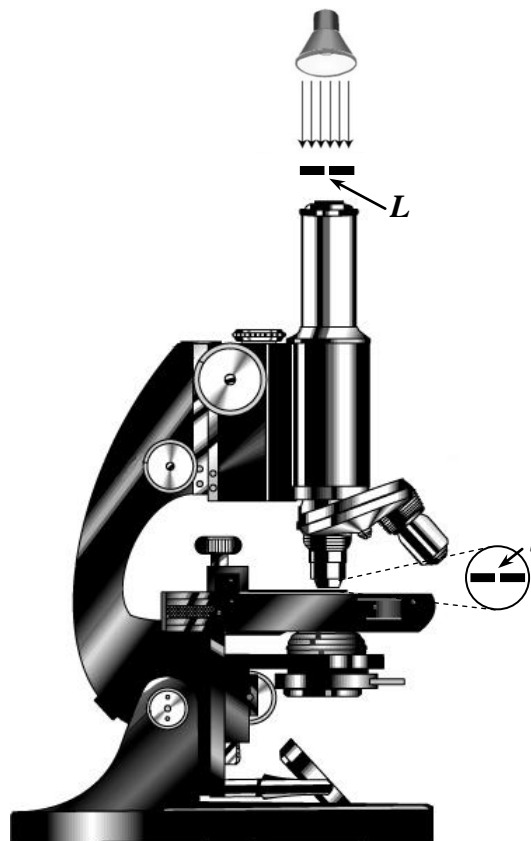
где  $I_0$  – интенсивность лазерных импульсов,  $d$  – расстояние между двумя лазерами, равноудаленными от поверхности на расстояние  $L$ . На рисунке *б* показан профиль поверхности материала после удаления части вещества вследствие абляции.

1. Поясните смысл заштрихованной области на рисунке *a*. **(2 балла)**
2. Найдите период результирующего профиля поверхности  $\Delta x$  **(2 балла)** и ширину  $\delta$  образовавшихся на облучаемой поверхности впадин, если известно, что для облучения использовались лазеры с длиной волны  $\lambda = 630$  нм, расстояния  $d$  и  $L$  равны  $d = 50$  см и  $L = 40$  см, а порог абляции составлял  $3I_0$ . **(4 балла)**

**Всего – 8 баллов**

### **Задача 5. Микроскоп наоборот**

Как известно, микроскоп служит для получения увеличенного изображения малых объектов.



Но в силу принципа обратимости хода лучей в оптике верно и обратное: разместив объект перед окуляром и освещая его светом можно получить его уменьшенное изображение вблизи фокальной плоскости объектива.

1. Каким будет зазор  $l$  на изображении между двумя темными полосками при их проецировании описанным выше методом на предметный стол микроскопа, если эти полоски расположить на расстоянии  $L = 0.2$  мм друг от друга и удалить на  $d = 5F$  от окуляра ( $F$  – фокусное расстояние окуляра)? **(3 балла)** Кратность увеличения объектива считать равной 80.
2. Оцените, при каком минимальном расстоянии между полосками  $L_{\min}$  они еще не будут сливаться на полученном изображении? Ответ поясните. **(5 баллов)**

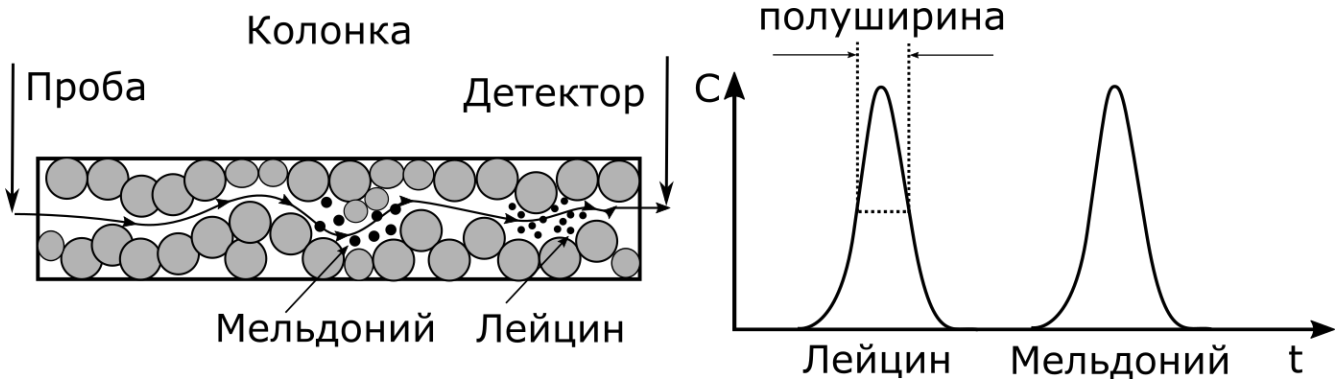
**Всего – 8 баллов**





**Физика для школьников 7 – 11 класса (очный тур)**  
**Более сложные задачи**

**Задача 6. Нанотехнологии в антидопинговой лаборатории**



В новой антидопинговой лаборатории под патронажем МГУ ученые планируют детектировать в пробах мельдоний с концентрацией не ниже 20 нг/мл. Для этого они будут использовать метод жидкостной хроматографии высокого давления. Суть метода заключается в просачивании пробы под давлением через колонку – стержень, наполненный нанопористым материалом. Это позволяет разделить молекулы разной молекулярной массы, т.к. их скорость можно считать обратно пропорциональной массе. На выходе из колонки с помощью детектора анализируется концентрация органических веществ в жидкости, зависимость от времени которой имеет вид набора пиков, соответствующих веществам с различной молекулярной массой. Если значения масс двух веществ близки, то пики перекрываются и определить состав пробы невозможно.

В исследуемой пробе помимо мельдония с молекулярной массой  $M_M = 181$  Да присутствует аминокислота лейцин с молекулярной массой  $M_L = 131$  Да. Полуширина пика определяется диффузией молекул в процессе инфильтрации через колонку, причем будем считать, что молекулы диффундируют на расстояние  $2\sqrt{Dt}$  (коэффициент диффузии  $D = 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с) относительно точки с максимальной концентрацией. Пики будем считать перекрывающимися, если расстояние между ними меньше среднего арифметического от полуширин.

Найдите скорости движения мельдония и лейцина в колонке длиной  $L = 15$  см, при которой перекрывания пиков не происходит.

**Всего – 20 баллов**

**Задача 7. И частица, и волна**

Корпускулярно-волновой дуализм присущ не только фотонам, но также и всем элементарным частицам. Убедиться в этом можно на примере эффекта дифракции, наблюдаемого как для света при его прохождении через набор щелей (дифракционную решетку), так и для электронов, которые можно представить таким образом и в виде волн. Причем оказывается, что количественные соотношения между волновыми и корпускулярными свойствами элементарных частиц – такие же, как и для фотонов света.

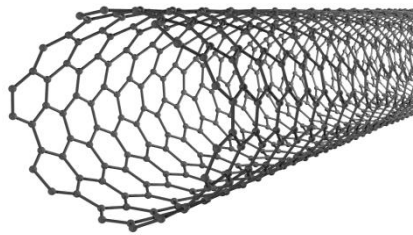
В роли пространственной дифракционной решетки для пучка электронов выступают кристаллы. Точно так же, на кристаллах наблюдается эффект дифракции рентгеновских лучей – электромагнитного излучения с длиной волны от сотых долей до единиц нанометров.

При каком ускоряющем напряжении необходимо разгонять первоначально покоившиеся электроны (заряд  $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$  Кл, масса  $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}$  кг), чтобы при их попадании на некий кристалл наблюдалась бы такая же дифракционная картина, как и в случае облучения этого же кристалла рентгеновскими лучами с длиной волны 0.1 нм? Постоянная Планка равна  $h = 6.6 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.

**Всего – 20 баллов**

### **Задача 8. «Дышащие» нанотрубки**

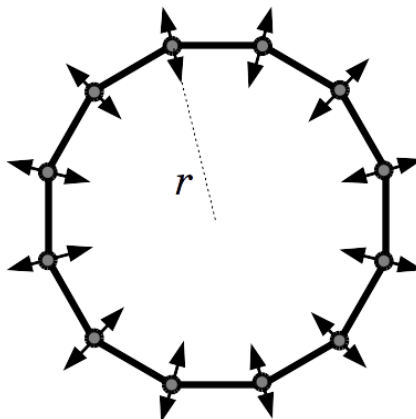
Углеродные нанотрубки (см. рис. 1) — материал, являющийся одной из модификаций углерода.



*Рисунок 1. Характерный вид углеродной нанотрубки.*

Атомы в нанотрубке участвуют в радиальных колебаниях, что приводит к поочередному расширению и сжатию трубки. Эти колебания проявляются в спектрах комбинационного рассеяния света (КРС) в виде пиков, положение которых зависит от радиуса трубки  $r$ . Такие колебания называют «дышащими модами» по аналогии с расширением и сжатием грудной клетки.

Оказывается, для того, чтобы объяснить экспериментально наблюдаемую зависимость частоты радиальных колебаний от радиуса трубки  $r$ , достаточно рассмотреть равносторонний многоугольник (рис. 2).



*Рисунок 2. Модельное представление сечения углеродной нанотрубки.*

Считайте, что силы, возникающие при расширении, подчиняются закону Гука с коэффициентом жесткости  $k$ . Масса атома углерода  $m$ , длина связи (сторона многоугольника)  $l_0$ .

1. Какие еще модификации углерода Вы знаете? Назовите не менее 4-х. **(4 балла)**
2. Найдите, используя предложенную модель, зависимость частоты радиальных колебаний от диаметра трубки  $r$ . Считайте, что  $r \gg l_0$ . **(16 баллов)**

**Всего – 20 баллов**