

физика



Физика для школьников

Физика

Категория участников: школьники 7-11 классов

Блок теоретических заданий по **физике для школьников 7-11 классов** включает задачи разной сложности. Для повышения вероятности прохождения на очный тур Вам желательно решить задачи не только по физике, но и по химии, математике, биологии, чтобы набрать больше баллов. Все прошедшие на очный тур обязательно решают задачи по всем четырём предметам.

Задания

1. Двойная нанопленка

Для улучшения оптических свойств материала часто используют специальные просветляющие покрытия. Студент МГУ Вася пошел обратным путем: вместо нанесения покрытий, он протравил кислотой часть кремниевого кристалла...

2. Покрытия для солнечных элементов

Для создания дешевых солнечных элементов используется технология осаждения из газовой фазы тонких (порядка сотен нм) плёнок аморфного кремния. Для получения пленок, легированных бором (B), используют осаждение из смеси газов моносилана SiH_4 и диборана B_2H_6 ...

3. Магнетронное напыление

Магнетронное напыление – способ нанесения тонких пленок. Метод заключается в бомбардировке мишени ионами инертных газов в скрещенных электрических и магнитных полях. Вынесенное вещество осаждается на подложке тонким слоем – от нескольких единиц нанометров и более...

4. Нагрев электронным пучком

При исследовании наночастиц методом просвечивающей электронной микоскопии

высокого разрешения (ПЭМ ВР) замечено, что исследуемые образцы нагреваются и плавятся. Оцените энергию электронов в пучке просвечивающего микроскопа...

5. Наноспутники

Согласно принятой классификации малых космических аппаратов, наноспутником называется аппарат массой от 1 до 10 кг. С появлением и развитием концепции таких малых спутников появилось новое направление в современном ракетостроении – разработка микроракет...

6. Дифракция на нанокристаллах

Дифракция рентгеновских лучей на кристаллах была открыта в 1912 году немецкими учеными под руководством Макса Лауэ. Это открытие доказало волновую природу рентгеновских лучей, так как оказалось, что для объяснения этого явления можно рассматривать...

7. Фотоэлектронная спектроскопия наноматериалов

Одним из методов диагностики структуры материалов является рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Этот метод позволяет получать информацию о составе и характере взаимодействия атомов в тонком приповерхностном слое исследуемого образца...

8. Наносенсор на вирусы

Юный изобретатель Саша предложил схему наносенсора, чувствительного на вирусы. Сенсор представляет из себя двухслойную структуру: нижний слой – пористый кремний pSi (пористость $P = 50\%$, размер пор – 5 нм) толщиной $d_1 = 100$ мкм...

9. Из крайности в крайность

Известно, что механизм диффузии газов через пористые среды во многом обусловлен числом Кнудсена Kn , которое равно отношению длины свободного пробега молекул этого газа l к диаметру пор d . Так, при $Kn \ll 1$ реализуется вязкое течение газа в порах...

10. Автостопом на комете

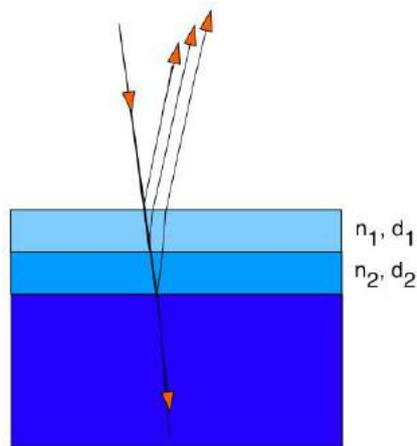
В качестве альтернативы «обычным» ракетным двигателям инженеры NASA предложили использовать для разгона космических кораблей трос, сделанный из углеродных нанотрубок (УНТ). В предложенной схеме космический корабль «ловит» на кончик троса

пролетающую мимо комету...



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 1. Двойная нанопленка



Для улучшения оптических свойств материала часто используют специальные просветляющие покрытия. Студент МГУ Вася пошел обратным путем: вместо нанесения покрытий, он протравил кислотой часть кремниевого кристалла, который хорошо пропускает свет в инфракрасном диапазоне. В результате получился нанопористый слой толщиной d_1 на поверхности с показателем преломления n_1 , меньшим, чем у кремния. Размер пор составлял порядка 50 нм, поэтому слой получился оптически-однородным. Затем Вася протравил второй слой толщиной d_2 , изменив параметры травления, и получил показатель преломления в нем $n_2 > n_1$.

1. Используя полученную структуру, Вася стал изучать интерференцию отраженных лучей, падающих по нормали к поверхности. Считая интенсивности всех трех отраженных лучей равными, сформулируйте критерии интерференционных минимумов. **(7 баллов)**
2. Приведите пример толщин d_1 , d_2 , при которых наблюдается минимум для длины волны $l = 1200$ нм, если $n_1 = 1.6$, а $n_2 = 2$. **(3 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 2. Покрытия для солнечных элементов



Для создания дешевых солнечных элементов используется технология осаждения из газовой фазы тонких (порядка сотен нм) плёнок аморфного кремния. Для получения пленок, легированных бором (В), используют осаждение из смеси газов моносилана SiH_4 и диборана B_2H_6 после термического разложения газов. Для получения контролируемой концентрации примеси, получают смесь газов в нужной пропорции. Для этого газы напускают в камеру, где происходит осаждение, из двух сосудов одинакового объема. В первом содержится силан при давлении $P_1 = 10^5$ Па и температуре $T_1 = 200^\circ\text{C}$, а во втором диборан при некотором давлении P_2 и температуре $T_2 = 20^\circ\text{C}$.

1. Каким должно быть давление P_2 , чтобы концентрация примеси в пленке аморфного кремния составляла $n = 10^{19} \text{ см}^{-3}$? (5 баллов)
2. Какой объем газа силана потребуется пропустить через сосуд с $P_1 = 10^5$ Па и $T_1 = 200^\circ\text{C}$ для того, чтобы выросла плёнка аморфного кремния, толщиной $d = 10$ нм и площадью $S = 10 \text{ мм}^2$? (5 баллов)

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 3. Магнетронное напыление

Магнетронное напыление – способ нанесения тонких пленок. Метод заключается в бомбардировке мишени ионами инертных газов в скрещенных электрических и магнитных полях. Вынесенное вещество осаждается на подложке тонким слоем – от нескольких единиц нанометров и более. Поверхность мишени, расположенная между местами входа и выхода силовых линий магнитного поля, интенсивно распыляется и имеет вид замкнутой дорожки, геометрия которой определяется формой полюсов магнитной системы.

При подаче постоянного напряжения между мишенью (отрицательный потенциал) и анодом (положительный или нулевой потенциал) возникает электрическое поле и возбуждается тлеющий разряд. Наличие замкнутого магнитного поля у распыляемой поверхности мишени позволяет локализовать плазму разряда непосредственно у мишени.

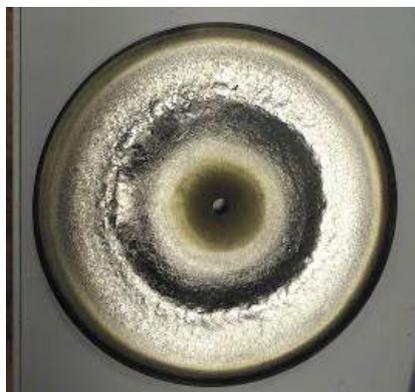


Рис. 1. Мишень после распыления. Вид сверху.

1. Полагая электрическое поле однородным и перпендикулярным поверхности, а магнитное – направленным по радиусу (см. рис. 2), оценить высоту слоя, в котором будут локализованы электроны, движущиеся в скрещенных полях. Считать, что электрон имеет нулевую начальную скорость и находится у поверхности. $E = 100$ В, $B = 0.001$ Тл. **(5 баллов)**
2. Какова будет траектория электрона? **(4 балла)**
3. В какой области будут локализованы ионы аргона? **(1 балл)**

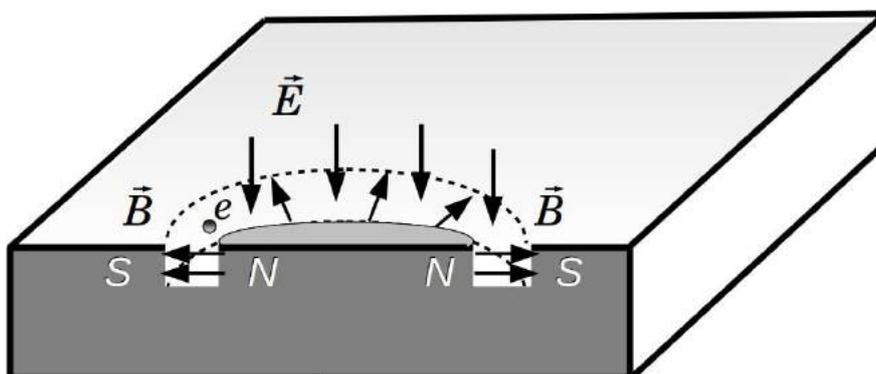


Рис. 2.

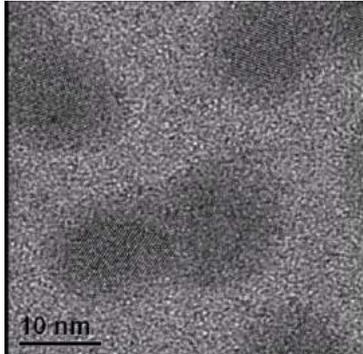
Всего – 10 баллов



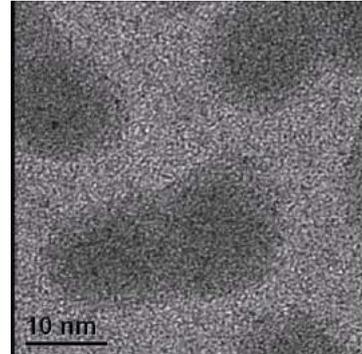
Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 4. Нагрев электронным пучком

При исследовании наночастиц методом просвечивающей электронной микоскопии высокого разрешения (ПЭМ ВР) замечено, что исследуемые образцы нагреваются и плавятся (см.рис.).



Исходный снимок ПЭМ наночастиц.



Снимок ПЭМ тех же наночастиц, сделанный позже.

1. Оцените энергию электронов в пучке просвечивающего микроскопа, необходимую для разрешения атомов в кристаллической решетке? Ответ приведите в электронвольтах. Каким условием определяется эта энергия? **(3 балла)**
2. Часть электронов из пучка в микроскопе высокого разрешения, пройдя сквозь частицу индия диаметром 20 нм, рассеивается, теряя энергию. Чему равна минимальная энергия одного электрона, прошедшего через частицу индия, если в момент прохождения приемник рентгеновского излучения зарегистрировал квант характеристического излучения индия $K_{\alpha 1}$ $E_1 = 24.2$ кэВ, а частица расплавилась? Известно, что при прохождении через частицу электрон потерял половину своей энергии. Вторичные электроны не зарегистрированы. Первоначальная температура частицы 20°C . При расчетах использовать справочные данные для макроскопического индия. **(7 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 5. Наноспутники



Согласно принятой классификации малых космических аппаратов, наноспутником называется аппарат массой от 1 до 10 кг. С появлением и развитием концепции таких малых спутников появилось новое направление в современном ракетостроении – разработка микроракет, предназначенных для вывода на низкую околоземную орбиту (НОО) относительно небольшой полезной нагрузки (десятки и сотни килограммов).

Пусть микроракета «Заря» была спроектирована на выведение максимальной полезной нагрузки в 180 кг на круговую НОО с высотой над поверхностью Земли равной $1/20$ от ее среднего радиуса. Оцените, какое максимальное количество наноспутников массой 8 кг каждый сможет вывести такая микроракета на круговую НОО с вдвое большей высотой орбиты? При расчетах ракету считать одноступенчатой с собственной массой 1320 кг (без топлива), а расход топлива при выходе на заданную орбиту – полным.

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 6. Дифракция на нанокристаллах

Дифракция рентгеновских лучей на кристаллах была открыта в 1912 году немецкими учеными под руководством Макса Лауэ. Это открытие доказало волновую природу рентгеновских лучей, так как оказалось, что для объяснения этого явления можно рассматривать кристалл как трехмерную дифракционную решетку. На рисунке 1 показана фотопластинка с рентгенограммой (темные области – рефлексы – соответствуют зонам концентрации рентгеновского излучения), полученной от тонкого образца монокристалла некоторого вещества (сориентированного нужным образом) при его облучении узким пучком рентгеновских лучей. Известно, что расстояние от образца до фотопластинки, расположенной перпендикулярно направлению распространения пучка (см. рис. 2), составляло $L = 10$ см, расстояние от центра рентгенограммы (ось пучка) до каждого из точечных рефлексов равно $h = 7.4$ см, а длина волны рентгеновских лучей $\lambda = 0.154$ нм.

1. Определить межплоскостное расстояние в кристалле d , соответствующее наблюдаемым точечным рефлексам. **(5 баллов)**
2. Как изменится рентгенограмма, если на пути пучка установить не монокристалл, а тонкую пленку, содержащую разупорядоченные нанокристаллы из того же материала? **(5 баллов)**

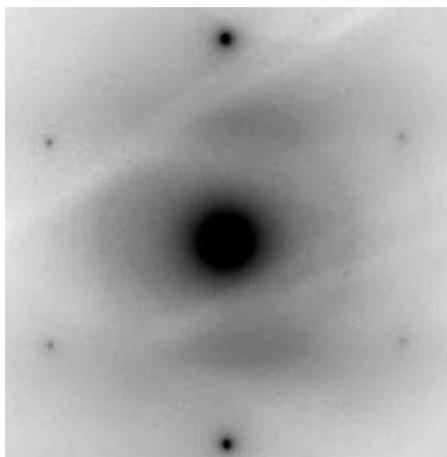


Рис. 1

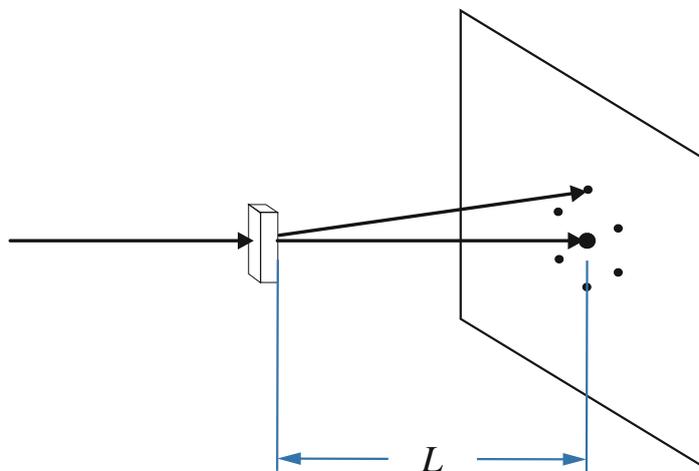


Рис. 2

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 7. Фотоэлектронная спектроскопия наноматериалов

Одним из методов диагностики структуры материалов является рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Этот метод позволяет получать информацию о составе и характере взаимодействия атомов в тонком приповерхностном слое исследуемого образца. Анализируемая глубина составляет обычно не более 5 нм, что позволяет эффективно применять РФЭС для исследования наноструктурированных материалов. Под действием рентгеновского излучения атомы вещества эмитируют фотоэлектроны, распределение которых по их кинетическим энергиям представляет собой фотоэлектронный спектр. Из полученных спектров можно определить энергию связи внутренних (остовных) электронов, зависящую как от заряда ядра атомов (порядкового номера элемента), так и от их степени окисления, что позволяет определять не только элементный состав образца, но и характер химических связей между атомами. Дополнительно для изучения распределения атомов по глубине образца может применяться ионное травление, которое позволяет, в том числе, избавиться от возможных загрязнений исследуемой поверхности или присутствующих на ней чужеродных пленок.

1. В эксперименте методом РФЭС исследовалась тонкая пленка, содержащая распределенные в слое диоксида кремния нанокристаллы кремния, покрытая сверху дополнительным защитным слоем стехиометрического диоксида кремния. Пользуясь полученными при исследовании поверхностного слоя SiO_2 спектрами РФЭС (см. рис. 1), оценить энергию связи электронов Si 2p-уровней, если известно, что энергия связи электронов O 1s-уровней составляет ~ 533 эВ. **(5 баллов)**
2. После стравливания поверхностного слоя SiO_2 ионным пучком и измерения спектра РФЭС исследуемой пленки с нанокристаллами кремния в области энергий Si 2p фотоэлектронов было замечено, что в спектре появился дополнительный пик с энергией около 1387 эВ (см. рис. 2). Объяснить наблюдаемое качественное изменение спектра. **(5 баллов)**

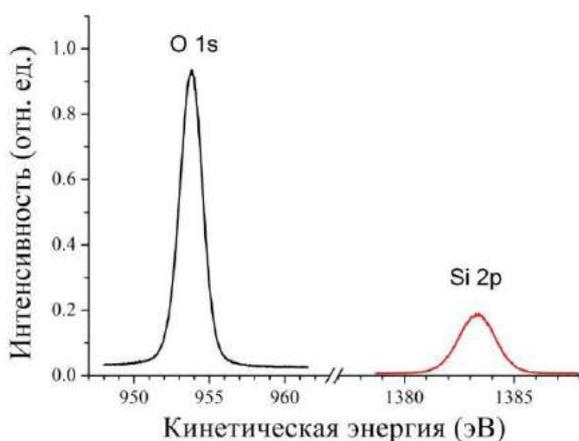


Рис. 1

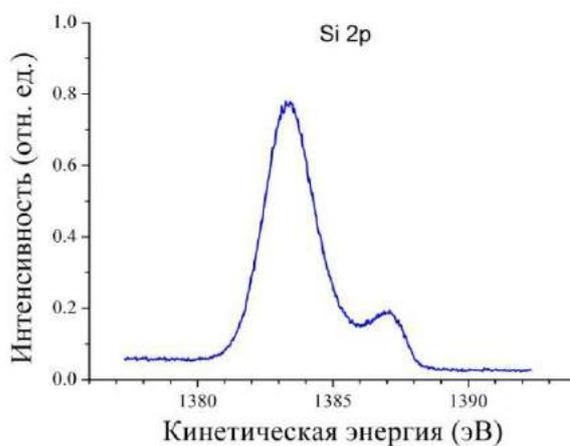
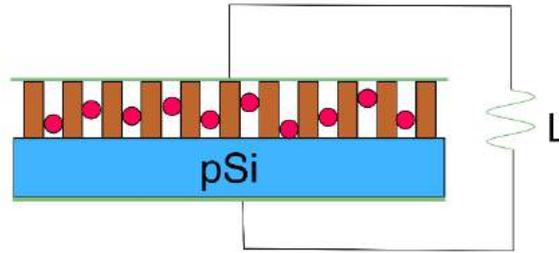


Рис. 2

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 8. Наносенсор на вирусы



Юный изобретатель Саша предложил схему наносенсора, чувствительного на вирусы. Сенсор представляет из себя двухслойную структуру: нижний слой – пористый кремний pSi (пористость $P = 50\%$, размер пор – 5 нм) толщиной $d_1 = 100$ мкм, верхний – слой пористых нанонитей диаметром 200 нм и толщиной $d_2 = 500$ нм (эффективная пористость для всего слоя – 25%), который и является чувствительным.

1. Почему чувствительным является только верхний слой? **(1 балл)** Каким образом можно обеспечить селективность такого сенсора? **(2 балла)**

Сверху и снизу на сенсор напылены сеточные металлические контакты и подсоединены к катушке с индуктивностью $L = 0.5$ мкГн.

2. Насколько изменится частота колебаний контура после того, как на поверхности элемента высушить 100 мкл вирусной суспензии с концентрацией вирусных частиц 10^6 мл⁻¹? **(7 баллов)** Площадь сенсора $S = 1$ см², радиус вируса $r = 50$ нм, его диэлектрическая проницаемость, $\epsilon_v = 75$.

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 9. Из крайности в крайность



диффузия Кнудсена



вязкое течение

Известно, что механизм диффузии газов через пористые среды во многом обусловлен числом Кнудсена Kn , которое равно отношению длины свободного пробега молекул этого газа λ к диаметру пор d . Так, при $Kn \ll 1$ реализуется вязкое течение газа в порах, а при $Kn \gg 1$ – кнудсеновская диффузия. Принципиальное отличие этих двух механизмов состоит в том, что вязкий поток газа представляет собой движение сжимаемой сплошной среды, а в случае кнудсеновской диффузии молекулы проникают через пористую среду как изолированные частицы. Вязкий поток газа задаётся выражением:

$$J_p = \frac{\pi d^4}{128\eta} \cdot \frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{P_1 + P_2}{2P_2},$$

где η – динамическая вязкость газа, P_1 – давление на входе в пору, P_2 – давление на выходе из поры, L – длина пор. Кнудсеновский поток газа через единицу площади мембраны можно рассчитать по формуле:

$$J_{Kn} = \frac{2dV_m}{3L} \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi MRT}} \cdot \Delta P,$$

где V_m – молярный объём, M – молярная масса газа, R – универсальная газовая постоянная, T – температура.

1. На основе представленных данных оцените наибольший диаметр пор, для которых ещё может наблюдаться ощутимый вклад Кнудсеновской диффузии при пропускании азота под давлением 1 атм и при температуре 27 °С. Диаметр молекулы азота равен 0.37 нм. **(4 балла)**

2. Представьте, что для экспериментов доступны мембраны трёх видов со средним диаметром пор 10 нм, 50 нм и 100 нм. Какую из них следует выбрать для более эффективного разделения смеси N_2 ($d = 0.37$ нм, $\eta = 1778$ Па·с) и He ($d = 0.256$ нм, $\eta = 1968$ Па·с), взятых в мольном соотношении 1:1 при давлении 1 атм? Ответ обоснуйте. Каким при этом в идеале будет мольное соотношение газов в смеси, прошедшей через мембрану? **(6 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 10. Автостопом на комете

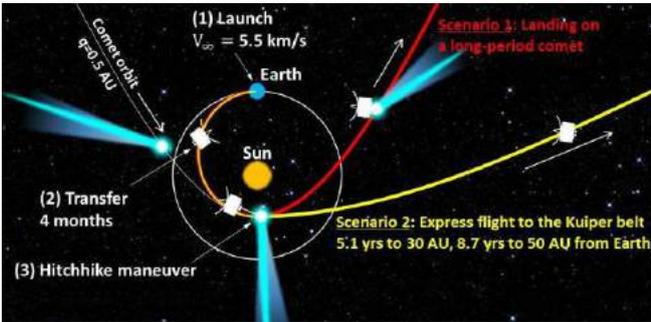


Рис. а



Рис. б

В качестве альтернативы «обычным» ракетным двигателям инженеры NASA предложили использовать для разгона космических кораблей трос, сделанный из углеродных нанотрубок (УНТ). В предложенной схеме космический корабль «ловит» на кончик троса пролетающую мимо с большой скоростью комету, и, разматывая натянутый трос, постепенно увеличивает свою скорость. В нужный момент времени трос отделяется, и разогнавшийся корабль продолжает свое путешествие на окраины Солнечной системы (рис. а).

Оценим эффективность предложенной схемы на простом примере (рис. б).

1. Найдите массу m_{nt} , длину l и толщину d УНТ троса, если
 - масса космического корабля с тросом составляет $m = 1000$ кг;
 - максимальное ускорение, которое может выдержать корабль, составляет $10g$ (в десять раз больше ускорения свободного падения на Земле);
 - кораблю необходимо разогнаться при помощи троса до скорости кометы; ее скорость изначально больше скорости корабля на $\Delta v = 7$ км/с. **(5 баллов)**
2. Сравните, во сколько раз приращение скорости корабля при разгоне УНТ тросом будет отличаться от приращения скорости с использованием реактивного топлива, если массы троса и топлива равны. Для расчета использовать формулу Циолковского*, удельный импульс ракетного двигателя на корабле считать равным 5000 м/с. **(1 балл)**
3. Оцените, какое предельное значение Δv возможно при разгоне корабля с использованием троса из УНТ (т.е. безотносительно суммарной массы корабля и его максимально возможного ускорения). **(4 балла)**

Считать, что:

- трос из УНТ можно для удобства расчетов представить как «рулон» из листа графена той же массы, длины, диаметра и прочности; плотность графена равна 2260 кг/м³, прочность на разрыв – $1,3 \cdot 10^{11}$ Н/м²;
- комета движется параллельно курсу корабля и имеет несоизмеримо большую массу;
- ускорение корабля, «поймавшего» комету, постоянно и равно максимальному;
- растяжением троса можно пренебречь.

*Формула Циолковского определяет скорость, которую развивает летательный аппарат под воздействием тяги ракетного двигателя: $\Delta v = I \cdot \ln(m/m_2)$, где Δv – изменение скорости корабля, I – удельный импульс ракетного двигателя, m – начальная масса корабля с топливом, m_2 – масса корабля, выработавшего топливо.

Всего – 10 баллов