



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 математике, биологии, химии, чтобы набрать больше баллов. Дополнительные баллы будут начислены за прохождение тестов [викторин по предметам](#). Все прошедшие на очный тур обязательно решают задачи по всем четырем предметам.

Задания

1. Разобрать фуллерен за 50 фемтосекунд

За последнее десятилетие исследования, проведенные с использованием рентгеновских лазеров, позволили пролить свет на вопрос взаимодействия вещества с короткими ионизирующими лазерными импульсами...

2. Нанопропеллер

Совместные исследования американских, японских и французских ученых, опубликованные в журнале Nature Communications, показали, что созданные ими молекулярные пропеллеры могут быть приведены во вращение самим зондом туннельного микроскопа...

3. Наноприемники ИК-излучения

Возможность преобразовывать ИК излучение в видимое излучение позволила создать тепловизоры, нашедшие широкое применение в гражданской и военной сферах. Недавно группой ученых были проведены исследования на мышах...

4. Масс-спектрометрия

Одним из современных методов исследования новых материалов является масс-спектрометрия, позволяющая определять содержание химических элементов на уровне нескольких нанограммов. Анализируемое соединение распыляют и ионизируют...

5. Сопротивление нанотрубки

Одним из уникальных свойств углеродных нанотрубок является колоссальная электропроводность: единичная одностенная нанотрубка способна выдерживать силу тока в несколько микроампер, поскольку реализуется механизм баллистической проводимости...

6. Ток через конденсатор

Для придания алюминиевым изделиям долговечности их поверхность можно подвергнуть анодному окислению в нерастворяющем электролите, как показано на рисунке. При этом образуется плотная плёнка из оксида алюминия толщиной в десятки или сотни нанометров...

7. Что прочнее?

Известно, что пластичность металлов во многом обусловлена наличием в их структуре дислокаций, которые способны перемещаться в пределах кристалла под действием приложенной нагрузки. Однако, в поликристаллических материалах движение дислокации ограничено размером зерна...

8. Подвижные наночастицы

При изучении нанообъектов нередко возникает проблема их нежелательного дрейфа (подвижности) за счет тепловых колебаний, воздействия зондирующего излучения и т.п. В качестве примера рассмотрим воздействие рентгеновских лучей на кристаллическую наночастицу...

9. Лазерный перенос наночастиц

Манипуляция отдельными наночастицами является весьма непростой задачей. Так, например, для ее решения может быть использована методика лазерного переноса, которая позволяет переносить отдельные наночастицы из большого массива в заданное место с высокой точностью...

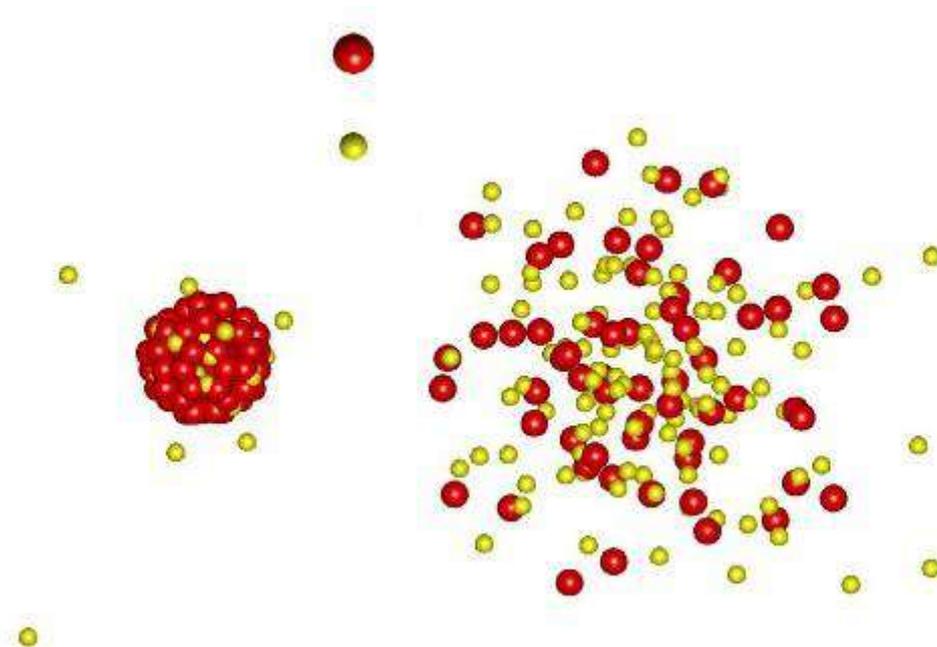
10. Наномяч

В откачанную до высокого вакуума ячейку объемом 1 см^3 с квадратным отверстием размером 1 мкм , помещают навеску бакибола (фуллерена C_{60}) массой 10 мг . В результате в ячейке устанавливается температура 800 К . Считать, что молекула бакибола испытывает абсолютно упругие столкновения...



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 1. Разобрать фуллерен за 50 фемтосекунд



За последнее десятилетие исследования, проведенные с использованием рентгеновских лазеров, позволили пролить свет на вопрос взаимодействия вещества с короткими ионизирующими лазерными импульсами. В частности, эти исследования показывают последовательность взаимодействий при выбивании электронов с внутренних оболочек атомов и Оже ионизации. В одной из недавних работ, опубликованной в журнале [Nature](#), с помощью рентгеновского лазера, генерирующего ультракороткие импульсы, ученые разорвали фуллерен C_{60} на отдельные осколки. Энергия кванта рентгеновского лазера $h\nu = 640$ эВ.

1. Чему равно общее количество одинарных и двойных связей у фуллерена C_{60} ? **(1 балл)**
2. Рассмотрим первый случай: распад на отдельные атомы. Чему равна суммарная кинетическая энергия отдельных атомов углерода, если характерная средняя энергия связи атомов в фуллерене $E = 4.6$ эВ, а фуллерен разрушился после взаимодействия с одним квантом? Фуллерен до взаимодействия имел начальную скорость $V = 250$ м/с. **(3 балла)**
3. Рассмотрим второй случай: распад на два осколка. Найдите скорости осколков, если известно, что в результате взаимодействия с одним рентгеновским квантом образовалось два одинаковых осколка, разлетевшихся вдоль одного направления? Фуллерен до взаимодействия также имел начальную скорость $V = 250$ м/с. **(6 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 2. Нанопропеллер

Совместные исследования американских, японских и французских ученых, опубликованные в журнале [Nature Communications](http://www.nature.com/naturecommunications), показали, что созданные ими молекулярные пропеллеры могут быть приведены во вращение самим зондом туннельного микроскопа или туннельным током неупругих электронов.

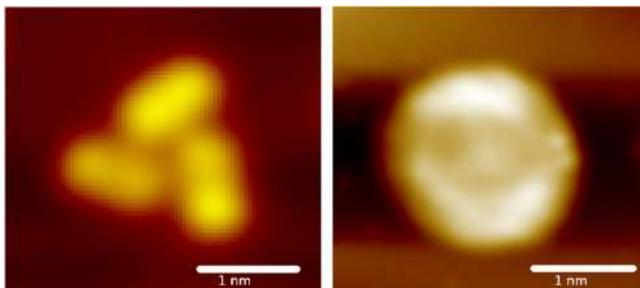


Рис. 1. Изображение молекулярного пропеллера, полученное с помощью зондового микроскопа: а) неподвижного б) вращающегося

Представим упрощенную модель нанопропеллера, имеющего две плоские квадратные лопасти. Лопасти нанопропеллера повернуты на угол 45° к горизонтальной плоскости в разные стороны. Радиус шарнира пренебрежимо мал. Сторона квадратной лопасти $R = 5 \text{ нм}$. Плотность тока однородна, и вектор плотности тока $\mathbf{j} = 0.01 \text{ пкА/нм}^2$ направлен под углом 45° к вертикальной плоскости. Объемная концентрация электронов $n = 1 \text{ нм}^{-3}$.

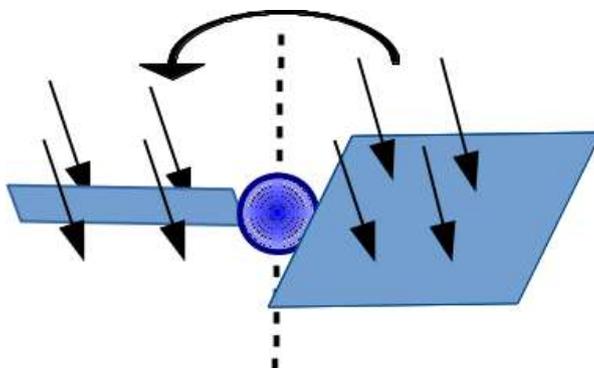
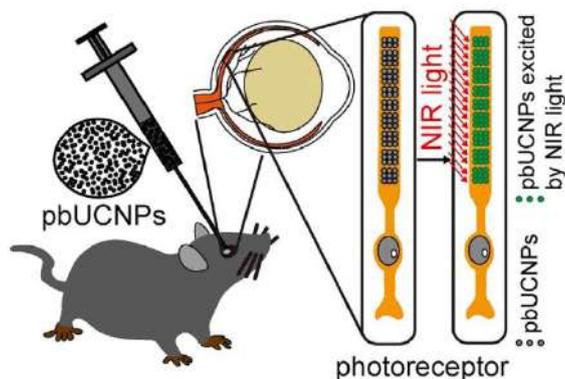


Рис. 2. Схематический рисунок пропеллера

1. Найдите проекцию на вертикальную ось момента сил действующих на пропеллер. **(5 баллов)**
2. Оцените по порядку величины угловое ускорение пропеллера в начальный момент времени, если масса лопасти $M = 10^4 \text{ а.е.м.}$? **(5 баллов)**

Всего – 10 баллов

**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 3. Наноприемники ИК-излучения**



Возможность преобразовывать ИК излучение в видимое излучение позволила создать тепловизоры, нашедшие широкое применение в гражданской и военной сферах. Недавно группой ученых были проведены [исследования](#) на мышах, результаты которых показали, что мыши могут чувствовать свет в ближнем ИК диапазоне, если им закапать капли с наночастицами. Было продемонстрировано, что глазные капли, содержащие наночастицы β - $\text{NaYF}_4:20\%\text{Yb}, 2\%\text{Er}$ со структурой ядро-оболочка, способны трансформировать ИК-излучение с длиной волны 980 нм в излучение видимой области спектра с длиной волны 535 нм.

1. Опишите механизм сдвига максимума спектра излучения в коротковолновую область, именуемый в литературе «up-конверсия». **(3 балла)**
2. Во сколько раз отличаются энергии квантов света с длиной волны 980 нм и 535 нм? Можно ли считать, что такой сдвиг произошёл в результате именно up-конверсии? **(4 балла)**
3. Назовите и кратко опишите ещё один основной механизм смещения максимума спектра излучения в коротковолновую область в наночастицах, именуемых квантовыми точками. **(3 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)

Задача 4. Масс-спектрометрия

Одним из современных методов исследования новых материалов является масс-спектрометрия, позволяющая определять содержание химических элементов на уровне нескольких нанограммов. Анализируемое соединение распыляют и ионизируют. Образовавшиеся ионы ускоряются разностью потенциалов и попадают в однородное магнитное поле, перпендикулярное направлению их движения. Таким образом, варьируя напряжение или магнитную индукцию, можно добиться попадания в детектор только определяемых ионов, точно задав траекторию их движения.

1. Рассчитайте радиус окружности, являющейся траекторией движения катиона $^{85}\text{Rb}^+$, если ускоряющее напряжение равно 2 кВ, а магнитная индукция составляет 0.3 Тл.
(7 баллов)
2. Определите количество пиков в масс-спектре при анализе смесей катионов:
 - а) $^7\text{Li}^+$, $^{28}\text{Si}^{4+}$, $^{29}\text{Si}^{4+}$;
 - б) $^{23}\text{Na}^+$, $^{46}\text{Ti}^{2+}$, $^{69}\text{Ga}^{3+}$;
 - в) $^{39}\text{K}^+$, $^{40}\text{Ar}^+$, $^{40}\text{Ca}^{2+}$.Ответы обоснуйте. **(3 балла)**

Всего – 10 баллов



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

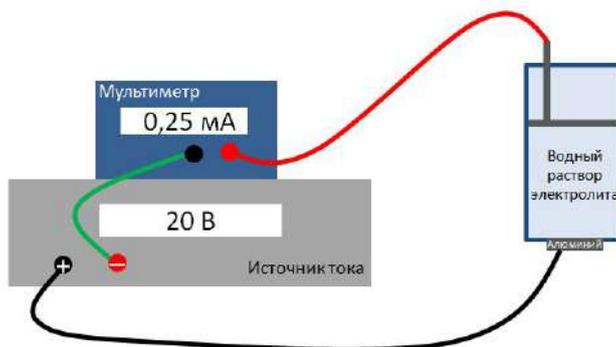
Одним из уникальных свойств углеродных нанотрубок является колоссальная электропроводность: единичная одностенная нанотрубка способна выдерживать силу тока в несколько микроампер, поскольку реализуется механизм баллистической проводимости. При этом сопротивление нанотрубки принимает значение 12.9 кОм.

1. Рассчитайте сопротивление графитового стержня длиной 5 мкм и диаметром 100 нм, если ток течёт вдоль его оси. Удельное сопротивление графита равно 8 мкОм·м. **(3 балла)**
2. В каком случае выделится бóльшее количество теплоты: при прохождении тока 2 мкА в течение 10 минут через такой графитовый стержень или одностенную углеродную нанотрубку? Каково это различие? **(7 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 6. Ток через конденсатор



Для придания алюминиевым изделиям долговечности их поверхность можно подвергнуть анодному окислению в нерастворяющем электролите, как показано на рисунке. При этом образуется плотная плёнка из оксида алюминия толщиной в десятки или сотни нанометров, которая препятствует дальнейшему окислению металла.

1. Рассчитайте толщину оксидной плёнки площадью 1 см^2 , если при напряжении 20 В в цепи течёт ток 0.25 мА. Удельное сопротивление анодного оксида алюминия равно $3 \cdot 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Сопротивлением остальных элементов электрической цепи можно пренебречь. **(4 балла)**
2. Поскольку анодный оксид алюминия является диэлектриком ($\epsilon = 8$), описанную систему можно считать конденсатором. Определите его ёмкость. **(3 балла)**
3. Объясните, почему в данной электрической цепи, содержащей конденсатор, течёт ток. **(3 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 7. Что прочнее?

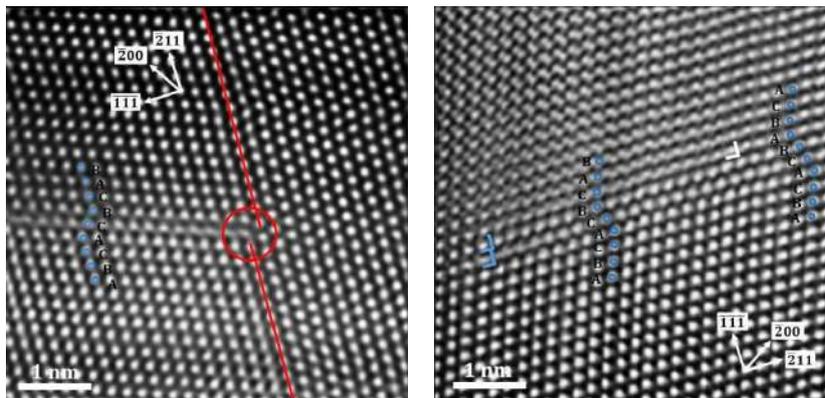


Рис. HAADF изображения дислокаций в стали

Известно, что пластичность металлов во многом обусловлена наличием в их структуре дислокаций, которые способны перемещаться в пределах кристалла под действием приложенной нагрузки. Однако, в поликристаллических материалах движение дислокации ограничено размером зерна, в котором она расположена (переход из одного зерна в другое невозможен). Поэтому наблюдается эффект размерного упрочнения, именуемый законом Холла-Петча:

$$\sigma = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}},$$

где d – размер зерна (м), σ – минимальное механическое напряжение, при котором возникают пластические деформации в поликристаллическом материале с размером зёрен d (МПа), σ_0 – минимальное механическое напряжение, при котором возникают пластические деформации в монокристаллическом материале (МПа, таблица 1), k – коэффициент, зависящий от природы материала (МПа·м^{0,5}).

Таблица 1. Значения σ_0 для монокристаллической меди, легированной стали 20Х и паутины

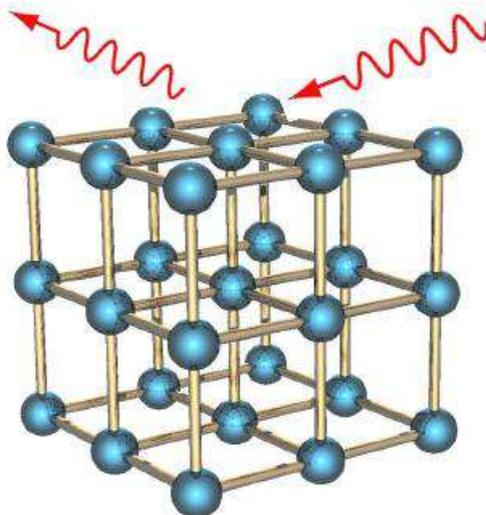
Материал	σ_0 , МПа
Монокристаллическая медь	25
Легированная сталь 20Х	550
Паутина	1150

1. Что такое дислокация в кристалле? Какие бывают виды дислокаций? **(2 балла)**
2. Оцените отношение механических напряжений, которые необходимо приложить к монокристаллическому и поликристаллическому ($d = 10$ мкм) медным стержням, чтобы растянуть их на 0,01%. Модуль Юнга меди равен 110 ГПа. **(4 балла)**
3. Может ли минимальное механическое напряжение, вызывающее пластические деформации в меди, оказаться таким же, как у легированной стали 20Х или паутины? Ответы обоснуйте. Для меди $k = 0,11$ МПа·м^{0,5}, а характерный размер дислокаций составляет около 20 нм. **(4 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 8. Подвижные наночастицы



При изучении нанообъектов нередко возникает проблема их нежелательного дрейфа (подвижности) за счет тепловых колебаний, воздействия зондирующего излучения и т.п. В качестве примера рассмотрим воздействие рентгеновских лучей на кристаллическую наночастицу. Несмотря на крайне низкое поглощение рентгеновского излучения веществом, в определенных условиях все-таки происходит заметное смещение наночастиц за счет эффективного отражения рентгеновских лучей. Пусть наночастица имеет форму куба, обладает кубической кристаллической решеткой (см. рисунок) с постоянной решетки $a = 0.335$ нм и располагается изначально на одной из своих граней (нижней).

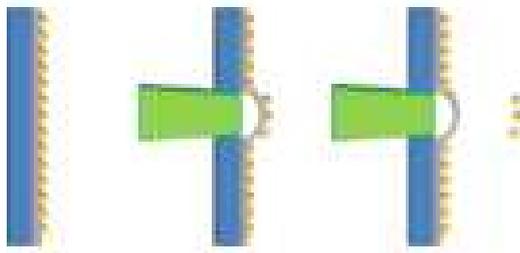
Оцените, какую максимальную силу давления может оказывать падающее на верхнюю грань такого куба рентгеновское излучение с длиной волны $\lambda = 0.2$ нм, если известно, что при плавном изменении угла падения излучения в интервале от 0° до 90° максимальный измеренный поток отраженных фотонов составлял $n_{\max} = 10^{12}$ с $^{-1}$. Постоянная Планка $h = 6.63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. **(10 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 9. Лазерный перенос наночастиц

Манипуляция отдельными наночастицами является весьма непростой задачей. Так, например, для ее решения может быть использована методика лазерного переноса, которая позволяет переносить отдельные наночастицы из большого массива в заданное место с высокой точностью. Суть метода состоит в следующем. На прозрачную подложку наносится тонкая пленка из металла, на которую предварительно осаждается подготовленный для переноса массив наночастиц. Далее металлическая пленка освещается через прозрачную подложку коротким лазерным импульсом, нагревается и вздувается в результате термического расширения (см. рис.). Получив достаточную энергию, отдельные наночастицы «стряхиваются» с пленки и переносятся на приемную поверхность.

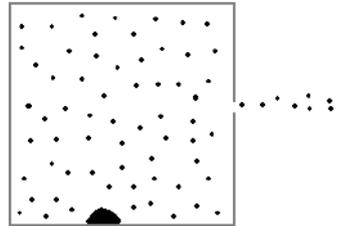
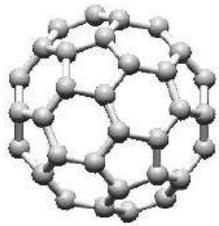


В какой момент времени после начала действия фемтосекундного лазерного импульса наночастицы золота (плотность $\rho = 19.32 \text{ г/см}^3$) диаметром $d = 40 \text{ нм}$ оторвутся от поверхности пленки, если известно, что при вздутии пленка движется с ускорением, изменяющимся по закону $a = A \cdot \sin(\omega t)$, где $A = 6 \cdot 10^7 \text{ м/с}^2$, $\omega = 2.5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$, общее время вздутия пленки составило 180 мкс, а сила притяжения, удерживающая наночастицы на пленке, равна $F_{\text{притяж}} = 30 \text{ пН}$? **(10 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Задача 10. Наномяч



В откачанную до высокого вакуума ячейку объемом 1 см^3 с квадратным отверстием размером 1 мкм , помещают навеску бакибола (фуллерена C_{60}) массой 10 мг . В результате в ячейке устанавливается температура 800 К . Считать, что молекула бакибола испытывает абсолютно упругие столкновения и является жесткой, кинетическая энергия распределяется одинаково по всем степеням свободы. Диаметр бакибола составляет 0.7 нм , масса атома углерода $m_{\text{C}} = 12 \text{ а.е.м.}$ Отличием средних от средних квадратичных скоростей можно пренебречь.

1. Из каких слагаемых состоит кинетическая энергия движущегося в пространстве бакибола? Сколько степеней свободы при таком движении имеет бакибол? **(1 балл)**
2. Основываясь на молекулярно-кинетической теории:
 - а) оцените среднюю скорость молекул бакибола **(2 балла)**;
 - б) примерно оцените среднюю частоту их вращения (в ГГц). **(3 балла)**
3. Оцените время, за которое навеска фуллерена полностью сублимируется, если парциальное давление фуллерена в камере при этом составляет 0.4 Па . **(3 балла)**
4. Как можно экспериментально измерить такое маленькое давление молекул бакиболов? **(1 балл)**

Всего – 10 баллов