



# Физика для школьников

#### Комплекс предметов

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 заключительный тур желательно решить задачи не только по физике, но и по математике, биологии, химии, чтобы набрать больше баллов. Дополнительные баллы будут начислены за прохождение двух тестов: <u>"Нанотест - приглашение на Олимпиаду"</u> и <u>"Тест ЗНТШ"</u>.

#### Задания

#### 1. Наночастицы для спинтроники

Спинтроника — одно из направлений квантовой электроники. Для целей изучения новых явлений спинтроники были получены полупроводниковые наностержни с магнитными наночастицами на основаниях. Каков будет характер движения наностержня...

## 2. Диэлектрики на службе у наноэлектроники

Уменьшение размеров электрических схем достигло столь малых масштабов, что расстояние между пластинами конденсаторов составляет единицы нанометров. Это приводит к большим токам утечки. Решить эту проблему можно, заполнив пространство между пластинами диэлектриками...

#### 3. Серебряные наночастицы

Через стеклянную кювету с водной дисперсией Ag наночастиц падает луч белого света. Прошедшее излучение регистрируется приемником излучения, в результате чего получают спектр поглощения. Оцените размер сферических наночастиц Ag в монодисперсии...

#### 4. Золотые наночастицы

Две группы ученых получили две разные наноструктуры золота на кремниевых



подложках. Первая группа осадила слой золота средней толщиной d=10 нм. Вторая получила наночастицы диаметром D=100 нм на аналогичной подложке...

#### 5. Нанопузырек

Для проведения ультразвуковых исследований и терапии используются различные усилители (сенсибилизаторы), такие как микропузырьки или наночастицы. При воздействии ультразвуковой волны в полупериоды разряжения жидкости (когда давление ниже стационарного)...

#### 6. Канаты из нанотрубок

Механические характеристики углеродных нанотрубок настолько уникальны, что даже побудили исследователей вспомнить утопическую идею создания космического лифта, впервые предложенную К.Э. Циолковским в 1895 г...

#### 7. Платиновый резистор

Одним из направлений развития современных технологий является миниатюризация конструируемых устройств. Довольно часто этому способствуют последние достижения в области нанотехнологий, поскольку наноразмерные объекты могут иметь уникальные физические свойства...

#### 8. Флуоресцентная наноскопия

Одним из важных методов изучения биологических объектов является флуоресцентная микроскопия. В классическом исполнении она предполагает облучение образца светом и получение изображения в видимом диапазоне, которое формируется за счёт флуоресценции молекул...

#### 9. QLED телевизор

Технология QLED TV подразумевает использование квантовых точек для улучшения цветопередачи телевизионного изображения, увеличения углов обзора и снижения общего энергопотребления телевизора. В стандартных ЖК-дисплеях каждый пиксель состоит...

# 10. Квантовый размерный эффект в кремниевых нанокристаллах

В основе явлений, наблюдаемых при переходе от объемных полупроводников к их наноструктурированным модификациям, лежит квантовый размерный эффект, который



заключается в качественном изменении (квантовании) энергетического спектра носителей заряда...





### Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 1. Наночастицы для спинтроники

Спинтроника — одно из направлений квантовой электроники. Для целей изучения новых явлений спинтроники были получены полупроводниковые наностержни с магнитными наночастицами на основаниях (рис. 1).

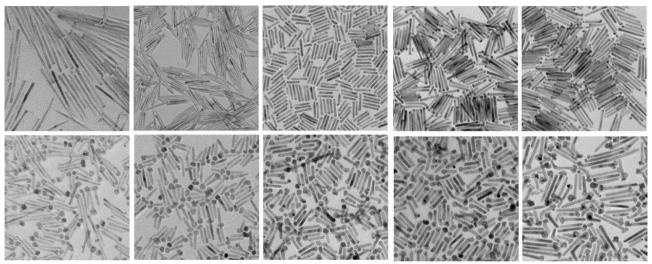


Рисунок 1. ПЭМ изображение магнитных наностержней. https://doi.org/10.1038/s41565-019-0606-8

- 1. Каков будет характер движения наностержня, если он окажется в постоянном магнитном поле с индукцией **В**, направленной перпендикулярно оси стержня? Магнитный момент частиц направлен вдоль оси стержня (см. рис. 2). (3 балла)
- 2. Оцените угловое ускорение стержня с наночастицами в начальный момент времени (вектор магнитной индукции  $\mathbf{\textit{B}}=10^{-4}\,\mathrm{T}$ л перпендикулярен оси стержня). Магнитный момент наночастиц  $\mu=10^{-17}\mathrm{Дж/T}$ л. Высота цилиндрического стержня  $h=100\,\mathrm{Hm}$ , радиус основания  $R=4\,\mathrm{Hm}$ . Радиус сферических наночастиц  $r=3\,\mathrm{Hm}$ . Плотность полупроводника  $\rho_1=7\,\mathrm{r/cm}^3$ , плотность наночастиц  $\rho_2=10\,\mathrm{r/cm}^3$ . (5 баллов)
- 3. Как добиться вращения наностержня с наночастицами относительно оси, проходящей через середину и перпендикулярной оси стержня? (2 балла)

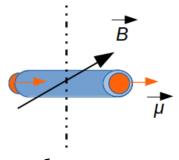


Рисунок 2. Схематическое изображение наностержня в магнитном поле.

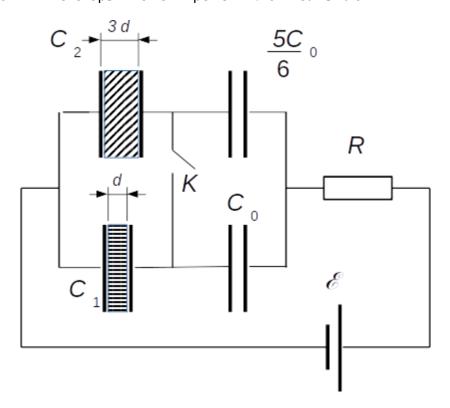




# Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 2. Диэлектрики на службе у наноэлектроники

Уменьшение размеров электрических схем достигло столь малых масштабов, что расстояние между пластинами конденсаторов составляет единицы нанометров. Это приводит к большим токам утечки. Решить эту проблему можно, заполнив пространство между пластинами диэлектриками с большим значением диэлектрической проницаемости.

В схеме, изображенной на рисунке ниже, ключ K изначально разомкнут и все конденсаторы заряжены. Ёмкость конденсатора  $C_2 = C_0/6$ , расстояние между обкладками  $C_1$  d=2 нм, а расстояние между обкладками  $C_2$  d=6 нм. Площади пластин всех конденсаторов одинаковы. В конденсаторе  $C_1$  пространство между обкладками заполнено  $SiO_2$  ( $\varepsilon_1=4$ ), а в конденсаторе  $C_2$  использован материал с высокой диэлектрической проницаемостью —  $HfO_2$  ( $\varepsilon_2=24$ ). Ёмкость  $C_0=90$  нФ. В некоторый момент времени ключ  $C_2=1$ 0 на  $C_2=1$ 1 некоторый момент времени ключ  $C_3=1$ 2 на  $C_3=1$ 3 на  $C_3=1$ 4 некоторый момент времени ключ  $C_3=1$ 4 на  $C_3=1$ 5 на  $C_3=1$ 5 на  $C_3=1$ 5 на  $C_3=1$ 6 на  $C_3$ 



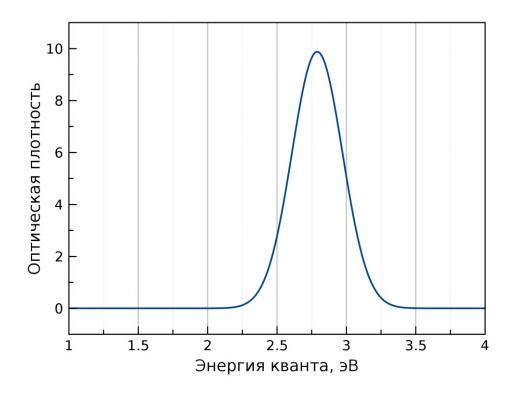
- 1. Найдите ёмкость *C*<sub>1</sub> (**3 балла**)
- 2. Найти количество теплоты, выделившееся на резисторе после замыкания ключа.  $\mathcal{E} = 2$  В. **(7 баллов)**





# Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 3. Серебряные наночастицы

Через стеклянную кювету с водной дисперсией Ag наночастиц падает луч белого света. Прошедшее излучение регистрируется приемником излучения, в результате чего получают спектр поглощения (см. рисунок).



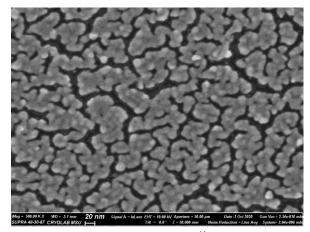
- 1. Оцените размер сферических наночастиц Ag в монодисперсии, если известно, что концентрация наночастиц  $C=0.02~{\rm Mr/Mn}$ , а удельное количество частиц  $N=3.6\cdot10^{12}~{\rm Mn}^{-1}$ . (2 балла)
- 2. Пользуясь спектром поглощения, определите, какого цвета будет водная дисперсия? Каким явлением может быть объяснен пик в приведенном спектре? (4 балла)
- 3. Каким будет цвет Ag пластинки площадью  $S=100 \text{ мм}^2$ , которая получается сплавлением всех выделенных из дисперсии наночастиц? Объем дисперсии V=10 мл. Как будет выглядеть спектр поглощения? (4 балла)





### Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 4. Золотые наночастицы

Две группы ученых получили две разные наноструктуры золота на кремниевых подложках. Первая группа осадила слой золота средней толщиной d=10 нм (рис. 1). Вторая получила наночастицы диаметром D=100 нм на аналогичной подложке (рис. 2).



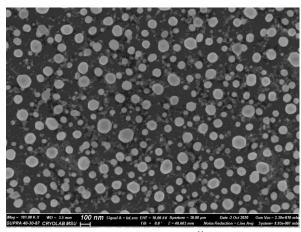


Рис. 1. Снимок первой группы

Рис. 2. Снимок второй группы

- 1. Для чего могут использоваться такие структуры? (2 балла)
- 2. Будем считать для простоты, что все наночастицы имеют одинаковый диаметр, и обе группы потратили одинаковое количества золота на 1 см<sup>2</sup>. Найдите поверхностную концентрацию наночастиц на правом рисунке. (8 баллов)





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

Для проведения ультразвуковых исследований и терапии используются различные усилители (сенсибилизаторы), такие как микропузырьки или наночастицы. При воздействии ультразвуковой волны в полупериоды разряжения жидкости (когда давление ниже стационарного) они играют роль зародышей кавитации, что обеспечивает и уничтожение раковых клеток, и контраст на УЗИ изображениях. Рассмотрим наночастицу с порами радиусом r = 15 нм, которые заполнены воздухом.



- 1. В чем заключается явление ультразвуковой кавитации? (1 балл)
- 2. Какие бывают виды ультразвуковой кавитации? (2 балла)
- 3. Достаточно ли давления в ультразвуковой волне,  $\Delta P = 2$  атм, чтобы пузырек воздуха вылез из нанопоры, образуя выступающую полусферу? (7 баллов)

Коэффициент поверхностного натяжения вода-воздух считайте равным  $\sigma = 72$  мH/м, угол смачивания =  $90^{\circ}$ .





### Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 6. Канаты из нанотрубок

Механические характеристики углеродных нанотрубок настолько уникальны, что даже побудили исследователей вспомнить утопическую идею создания космического лифта, впервые предложенную К.Э. Циолковским в 1895 г. В то же время, волокна из нанотрубок выглядят вполне подходящими и в конструкции обычного грузового лифта.

- 1. Груз какой наибольшей массы  $m_1$  может поднять обычный грузовой лифт, закреплённый на четырёх стальных канатах, если из соображений безопасности возникающее механическое напряжение в верхней точке вертикально расположенных канатов  $\sigma_{\text{max}}$  не должно превышать 2% от предела прочности на разрыв  $\sigma_0$ , равного 0,7 ГПа? Площадь поперечного сечения одного каната  $S_1 = 3$  см², длина каждого из них L = 30 м, масса пустой кабины  $m_2 = 500$  кг. Плотность стали  $\rho = 7800$  кг/м³. (4 балла)
- 2. Во сколько раз минимальная площадь поперечного сечения канатов из углеродных нанотрубок, которые позволяют безопасно поднять груз такой же массы, отличается от площади поперечного сечения стальных канатов? В конструкции заменяются только канаты, остальные параметры (в том числе длина каната) остаются неизменными. Плотность волокна из нанотрубок  $\rho_{\text{нт}} = 1300 \text{ кг/м}^3$ , его прочность на разрыв  $\sigma_{0,\text{нт}} = 30 \text{ гла}$ . (4 балла)
- 3. Насколько изменится масса конструкции при такой замене? (2 балла)





# Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 7. Платиновый резистор

Одним из направлений развития современных технологий является миниатюризация конструируемых устройств. Довольно часто этому способствуют последние достижения в области нанотехнологий, поскольку наноразмерные объекты могут иметь уникальные физические свойства.

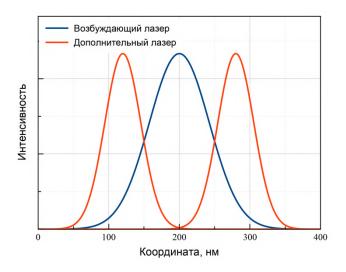
- 1. Определите сопротивление платиновой нанонити длиной  $L_{Pt} = 100$  мкм и диаметром  $d_{Pt} = 50$  нм. Удельное сопротивление платины  $\rho_{e,Pt} = 1,07 \cdot 10^{-7}$  Ом·м. (3 балла)
- 2. Во сколько раз длина германиевого фоторезистора диаметром  $d_{\text{Ge}} = 1$  мм должна превышать длину этой нанонити, чтобы он имел такое же сопротивление? Удельное сопротивление германия  $\rho_{\text{e,Ge}} = 0.5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . (2 балла)
- 3. Какой максимальный ток / может протекать в цепи, содержащей такую платиновую нанонить в качестве резистора, если скорость нагрева резистора не должна превышать 9 К/с? Теплоёмкость платины  $c_{Pt} = 132,6$  Дж/(кг·К), её плотность  $\rho_{Pt} = 21500$  кг/м³. (5 баллов)





# Физика для школьников 7 — 11 класса (заочный тур) Задача 8. Флуоресцентная наноскопия

Одним из важных методов изучения биологических объектов является флуоресцентная микроскопия. В классическом исполнении она предполагает облучение образца светом и получение изображения в видимом диапазоне, которое формируется за счёт флуоресценции молекул, входящих в состав исследуемого образца. Однако более предпочтительной является её разновидность, называемая флуоресцентной наноскопией. Её особенность состоит в облучении исследуемого объекта двумя лазерами: возбуждающим, который обеспечивает флуоресценцию, и вспомогательным, служащим для локального подавления флуоресценции за счёт вынужденных безызлучательных электронных переходов. Пятно дополнительного лазера имеет форму кольца, которое расположено непосредственно вокруг пятна возбуждающего излучения. Профиль интенсивности излучений от этих двух лазеров представлен на рисунке.



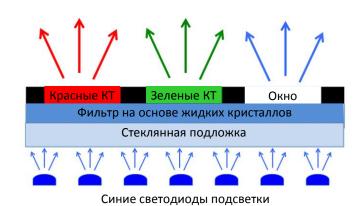
- 1. Какой из двух лазеров аргоновый (λ = 514,5 нм) или гелий-неоновый (λ = 632,8 нм) можно использовать в качестве возбуждающего излучения, если энергия электронного перехода с возбуждённого на основное состояние во флуоресцирующей молекуле равна 2,35 эВ? Какого цвета получится изображение? (4 балла)
- 2. Используя рисунок, оцените минимальный размер объекта, просканировав который можно получить чёткое изображение с помощью такого флуоресцентного наноскопа. (3 балла)
- 3. Можно ли получить чёткое изображение нанообъекта (например, вируса) размером 110 нм с помощью классического флуоресцентного микроскопа и с помощью флуоресцентного наноскопа? Ответ поясните. (3 балла)





### Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 9. QLED телевизор

Технология QLED TV подразумевает использование квантовых точек для улучшения цветопередачи телевизионного изображения, увеличения углов обзора и снижения общего энергопотребления телевизора. В стандартных ЖК-дисплеях каждый пиксель состоит из красного, синего и зеленого субпикселей, представляющих собой цветовые фильтры, пропускающие соответствующую компоненту белого света подсветки. В перспективных QLED дисплеях предлагается заменить цветовые фильтры квантовыми точками (КТ), которые в зависимости от их размера будут испускать свет нужной длины волны в узком спектральном диапазоне (красный,  $\lambda = 638$  нм и зеленый,  $\lambda = 527$  нм) при возбуждении светом синих светодиодов ( $\lambda = 450$  нм). При этом синее излучение светодиодов подсветки проходит практически без изменений через соответствующие прозрачные окна, выступающие синими субпикселями, как показано на рисунке.



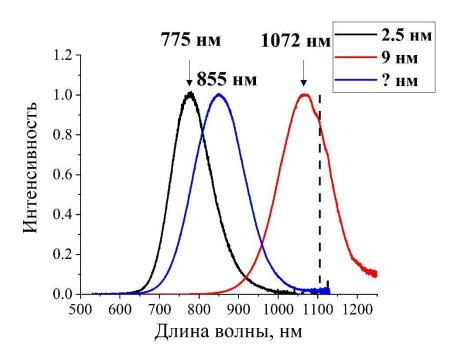
В каких пропорциях будет распределен световой поток между красным, зеленым и синим субпикселями QLED дисплея, если внешний квантовый выход фотолюминесценции «красных» и «зеленых» квантовых точек составляет 80 % и 90 %, соответственно? Поглощение синего света квантовыми точками считайте полным, потерями на вывод излучения в прозрачных окнах можно пренебречь. (10 баллов)





# Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Задача 10. Квантовый размерный эффект в кремниевых нанокристаллах

В основе явлений, наблюдаемых при переходе от объемных полупроводников к их наноструктурированным модификациям, лежит квантовый размерный эффект, который заключается в качественном изменении (квантовании) энергетического спектра носителей заряда. В качестве примера на рисунке изображены спектры фотолюминесценции кремниевых нанокристаллов в зависимости от их среднего размера, отмеченного в легенде. Значения длин волн над спектрами фотолюминесценции соответствуют их максимумам, а вертикальная штриховая линия — оптическим переходам в объемном кремнии (E = 1.12 эВ).



- 1. Какие эффекты называют красным и синим смещением, и какое из этих смещений демонстрируют спектры люминесценции кремниевых нанокристаллов? (3 балла)
- 2. Исходя из общих закономерностей квантования энергетического спектра носителей заряда в полупроводниковых нанообъектах, определите средний размер кремниевых квантовых точек, спектр фотолюминесценции которых отмечен знаком "?". (7 баллов)