



Физика. Отборочный этап

Физика

Категория участников: школьники 7-11 классов

Блок теоретических заданий отборочного этапа по **физике для школьников 7-11 классов** включает задачи разной сложности. Для повышения вероятности прохождения на заключительный этап желательно решить задачи не только по физике, но и по математике, биологии, химии, чтобы набрать больше баллов. Дополнительные баллы (50%) будут добавлены за прохождение **тестов ЗНТШ** по [химии](#), [физике](#), [математике](#), [биологии](#).

Перед отправкой заявки, пожалуйста, внимательно ознакомьтесь с [инструкцией по загрузке работ](#).

Задания

1. Костный имплант

Одним из перспективных направлений в лечении переломов костей является использование композитных материалов, состоящих из соединений, близких по составу к костной ткани, и наночастиц пьезоэлектриков (или пьезоэлектрических слоёв нанометровой толщины)...

2. Масс-спектр фуллерена

Для определения количества атомов углерода в фуллерене можно использовать метод, основанный на расщеплении молекул C_x на отдельные заряженные фрагменты (ионизированная молекула тоже считается фрагментом) с последующим анализом их массы...

3. Разделение углеводов

Герметичный сосуд при $t = 27^\circ\text{C}$ разделён на две части плотной непроницаемой заслонкой и пористой мембраной площадью $S = 10 \text{ см}^2$ и толщиной $h = 200 \text{ мкм}$ со сквозными цилиндрическими порами радиусом $r = 40 \text{ нм}$, расположенными перпендикулярно поверхности мембраны...

4. Эпитаксия нанослоя

Молекулярно-лучевая эпитаксия позволяет наносить на подложки очень тонкие слои (толщиной от монослоя до единиц и десятков нанометров). Для роста тонкого слоя AlAs на подложке GaAs используются навески чистого Al и As, которые помещаются в отдельные ячейки...

5. Нанонити для термоэлектричества

Термоэлектрический эффект позволяет преобразовывать теплоту непосредственно в электричество. В ряде теоретических работ показано, что в наноразмерных нитях эффективность преобразования тепловой энергии в электрическую выше, чем в объемных материалах...

6. Наночастица в живой ткани

Полупроводниковые и диэлектрические наночастицы имеют возможное практическое применение в биомедицине в качестве светоизлучающих маркеров или в качестве наноконтейнеров для адресной доставки лекарств. В научной литературе считается...

7. Ионное травление

Для формирования наноструктур иногда применяется метод реактивного ионного травления. В ходе этого процесса в вакуумную камеру напускается небольшое количество газа, который ионизируется, а далее под действием приложенного электрического поля ионы летят...

8. Наноробот

Так называемые нанороботы активно разрабатываются из-за перспективы их применения в области адресной доставки лекарств к небольшим участкам тканей и даже отдельных клеток. К нанороботам относятся различные наноразмерные объекты, траекторией движения которых можно управлять...

9. Нанопинцет

Для манипулирования наноструктурами в процессе их исследования была разработана наноразмерная электромеханическая система – нанопинцет на основе углеродных нанотрубок диаметром около 50 нм. Электропроводящие и механически прочные углеродные нанотрубки были прикреплены...

10. «Эффект миража»

Измерение зависимости коэффициента поглощения от частоты падающего излучения в тонких пленках толщиной 100-200 нм из оптически непрозрачного материала может быть реализовано методом термо-оптической спектроскопии. Явление, лежащее в основе данного метода...



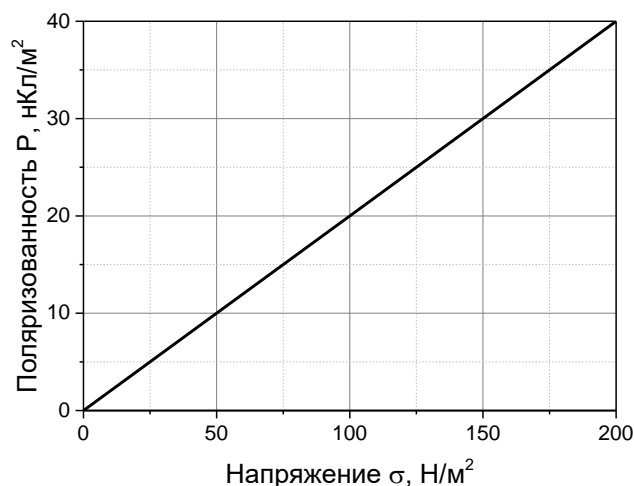
Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 1. Костный имплант

Одним из перспективных направлений в лечении переломов костей является использование композитных материалов, состоящих из соединений, близких по составу к костной ткани, и наночастиц пьезоэлектриков (или пьезоэлектрических слоёв нанометровой толщины). Благодаря такому сочетанию, имплант способен создавать локальные электрические поля, способствующие активному протеканию биохимических реакций и, следовательно, росту собственной костной ткани в месте перелома или микротрещины.



Рис. 1. Костная ткань с наноимплантом

1. Что такое пьезоэлектрик? **(1 балл)**
2. Оцените относительную деформацию ϵ импланта пяточной кости человека массой $m = 70$ кг, когда он стоит на одной ноге, содержащей этот имплант. Модуль Юнга импланта $E_u = 2$ ГПа, площадь его сечения $S = 4.9$ см². Нагрузку считать приложенной только к импланту и распределённой равномерно. **(3 балла)**
3. На рисунке ниже представлен график зависимости поляризованности P некоторой пьезоэлектрической наночастицы от механического напряжения σ . Определите её пьезоэлектрический коэффициент d , то есть коэффициент пропорциональности, связывающий поляризованность и механическое напряжение. **(2 балла)**



4. Можно ли использовать такую наночастицу в составе костного импланта (и если можно, то в каком диапазоне механических напряжений), если лечебный эффект проявляется при поляризованности наночастицы не менее $0,1 \text{ мКл/м}^2$, а различие в деформациях наночастицы и материала импланта более чем в 20 раз приводит к болевым ощущениям? Модуль Юнга наночастицы $E_n = 20 \text{ ГПа}$, модуль Юнга импланта $E_u = 2 \text{ ГПа}$, предел прочности импланта $\sigma_{max} = 10 \text{ МПа}$. Ответ подтвердите расчётами. **(4 балла)**

Всего – 10 баллов

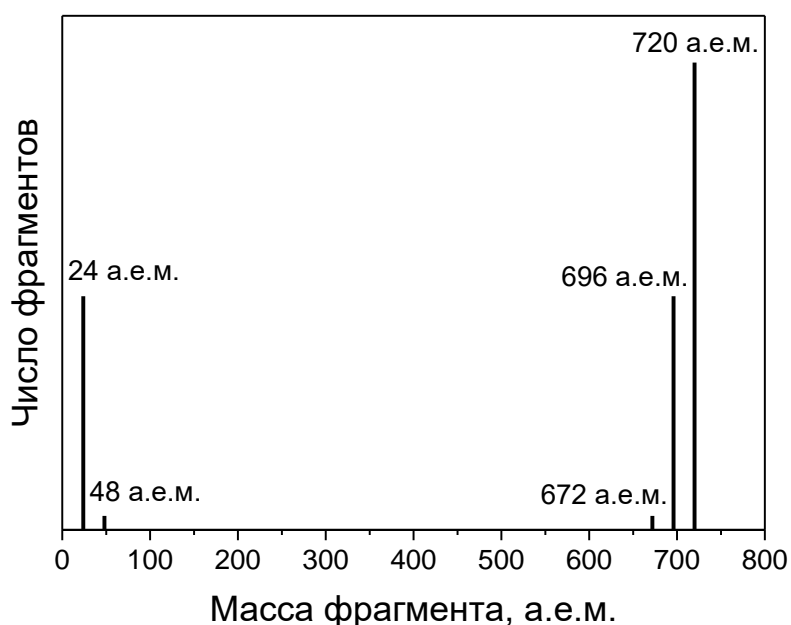


Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)

Задача 2. Масс-спектр фуллерена

Для определения количества атомов углерода в фуллерене можно использовать метод, основанный на расщеплении молекул C_x на отдельные заряженные фрагменты (ионизированная молекула тоже считается фрагментом) с последующим анализом их массы с помощью времяпролётного масс-анализатора. Такой метод позволяет разделять ионы по времени, которое им необходимо для преодоления камеры анализатора, и, следовательно, детектировать все присутствующие частицы по отдельности.

Для эксперимента фуллерен C_x был расщеплён на положительно заряженные фрагменты, которые были ускорены однородным электростатическим полем с разностью потенциалов $U = 2$ кВ и направлены в камеру масс-анализатора, где напряжённость электрического поля и магнитная индукция равны нулю. Полученный масс-спектр приведён на рисунке.



1. Используя масс-спектр, определите количество атомов углерода в молекуле изученного фуллерена. Ответ обоснуйте. **(4 балла)**
2. Сколько наносекунд составляет разница во времени между обнаружением фрагментов массами 696 и 720 а.е.м.? Длина камеры масс-анализатора $L = 20$ см, все частицы имеют заряд $q = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл. **(4 балла)**
3. Можно ли описанным методом различить фрагменты, состоящие из одинакового числа атомов углерода, но имеющие заряд $1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл и $3.2 \cdot 10^{-19}$ Кл? Ответ обоснуйте. **(2 балла)**

Всего – 10 баллов

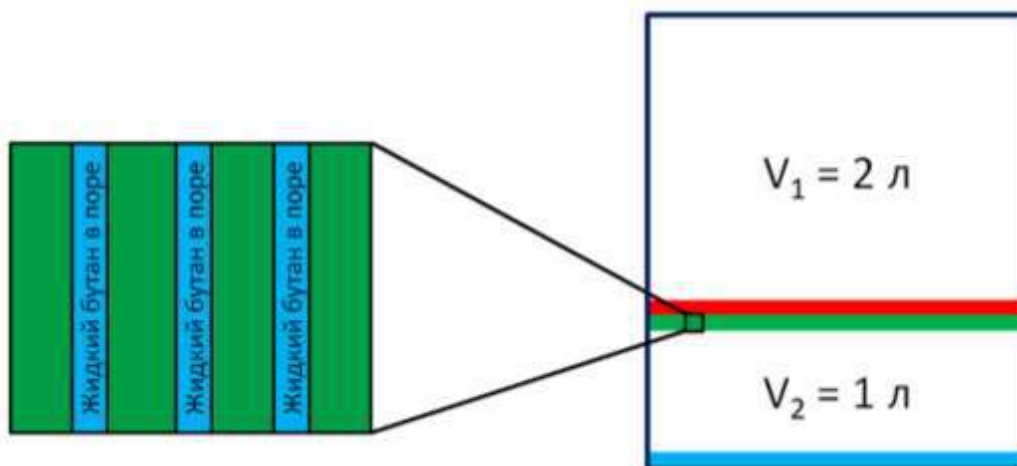


Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 3. Разделение углеводородов

Герметичный сосуд при $t = 27^\circ\text{C}$ разделён на две части плотной непроницаемой заслонкой и пористой мембраной площадью $S = 10 \text{ см}^2$ и толщиной $h = 200 \text{ мкм}$ со сквозными цилиндрическими порами радиусом $r = 40 \text{ нм}$, расположенными перпендикулярно поверхности мембраны. Верхняя часть сосуда имеет объём $V_1 = 2 \text{ л}$ и заполнена чистым газообразным бутаном под давлением $p_1 = 0.1 \text{ атм}$. Нижняя часть сосуда имеет объём $V_2 = 1 \text{ л}$ и содержит $V_L = 12 \text{ мл}$ жидкого бутана, находящегося в равновесии со своим паром, и газообразный метан с парциальным давлением $p_2 = 3 \text{ атм}$. Кроме того, в результате адсорбции и капиллярной конденсации поры мембраны целиком заполнены конденсатом бутана.

Справочные данные:

Плотность жидкого бутана $\rho = 601.3 \text{ кг/м}^3$, коэффициент поверхностного натяжения бутана $\sigma = 11.3 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$, молярная масса бутана $M_1 = 5.8 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}$, молярная масса метана $M_2 = 1.6 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}$, при температуре $t = 27^\circ\text{C}$ давление насыщенного пара бутана $p_0 = 2.53 \text{ атм}$, метан при температуре $t = 27^\circ\text{C}$ не конденсируется.



Красная линия – непроницаемая заслонка, зелёная линия – пористая мембрана, синяя линия – жидкий бутан. На увеличении слева – поры мембраны, заполненные конденсатом

1. Почему жидкий бутан не вытекает из поры? Ответ подтвердите расчётом. **(2 балла)**
2. Какой из углеводородов будет преимущественно проникать через мембрану в начальный момент времени после удаления непроницаемой заслонки? Ответ обоснуйте. **(2 балла)**
3. Определите массу жидкого бутана, сконденсировавшегося в порах мембраны, если поры занимают $\omega = 20\%$ от её объёма. **(2 балла)**
4. Определите парциальное давление бутана p в сосуде после удаления непроницаемой заслонки и установления равновесия в системе. **(4 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 4. Эпитаксия нанослоя

Молекулярно-лучевая эпитаксия позволяет наносить на подложки очень тонкие слои (толщиной от монослоя до единиц и десятков нанометров).

Для роста тонкого слоя AlAs на подложке GaAs используются навески чистого Al и As, которые помещаются в отдельные ячейки с нагревательным элементом.

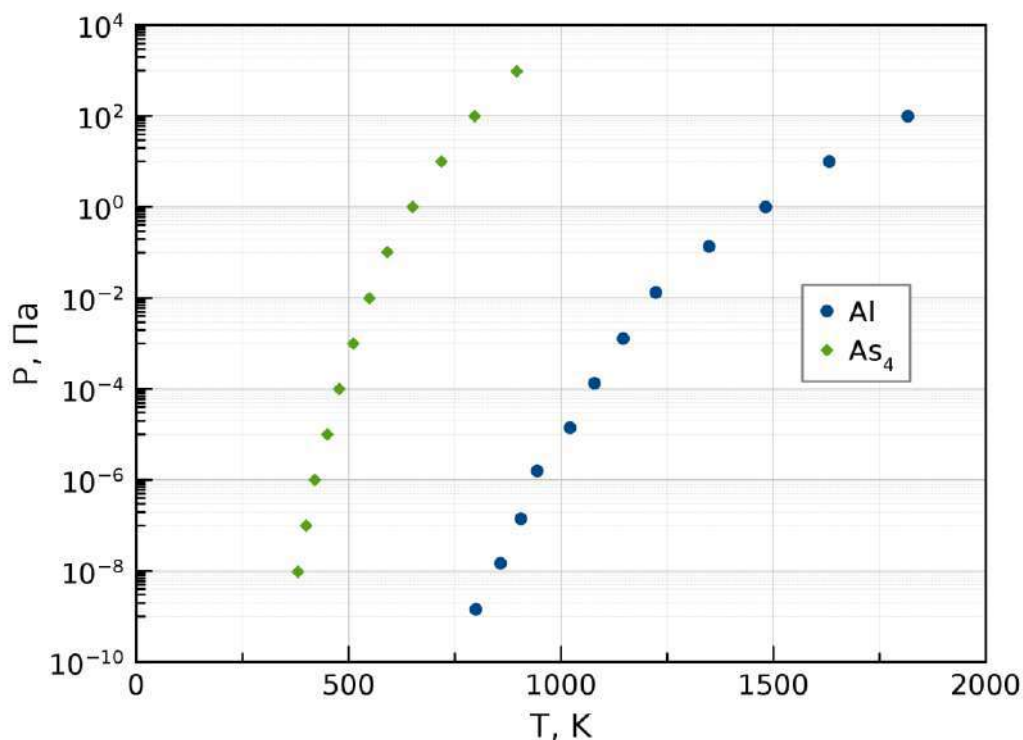


Рис. 1. Зависимость давления насыщенных паров Al, As₄ от температуры

Давление в камере напыления $p = 10^{-6}$ Па.

1. Зачем в камере нужно поддерживать столь низкое давление? **(1 балл)**
2. Оцените общее количество молекул воздуха при таком давлении и комнатной температуре в камере объемом $V = 22$ л. **(1 балл)**
3. Какие мощности должны иметь нагревательные элементы, чтобы за время $\tau = 1$ мин довести навески Al и As до состояния интенсивного испарения? Масса каждой навески $m = 5$ г. **(4 балла)**
4. Чему равны среднеквадратичные скорости испарившихся атомов Al и молекул As₄? **(4 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 5. Нанонити для термоэлектричества

Термоэлектрический эффект позволяет преобразовывать теплоту непосредственно в электричество. В ряде теоретических работ показано, что в наноразмерных нитях эффективность преобразования тепловой энергии в электрическую выше, чем в объемных материалах.

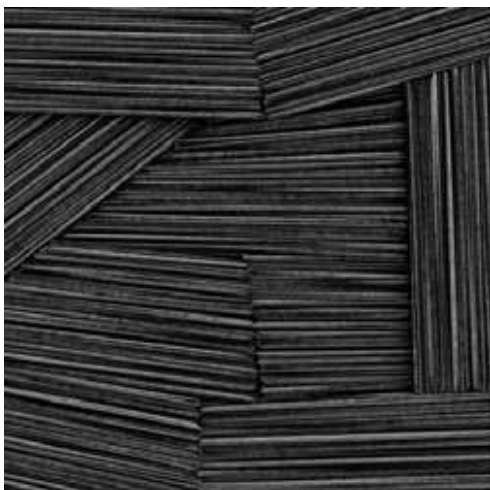


Рис. 1. Микрофотография нанонитей SnSe

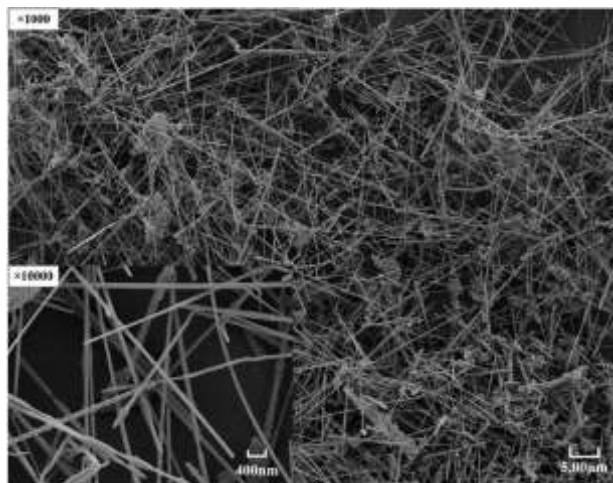


Рис. 2. Микрофотография нанонитей SiC

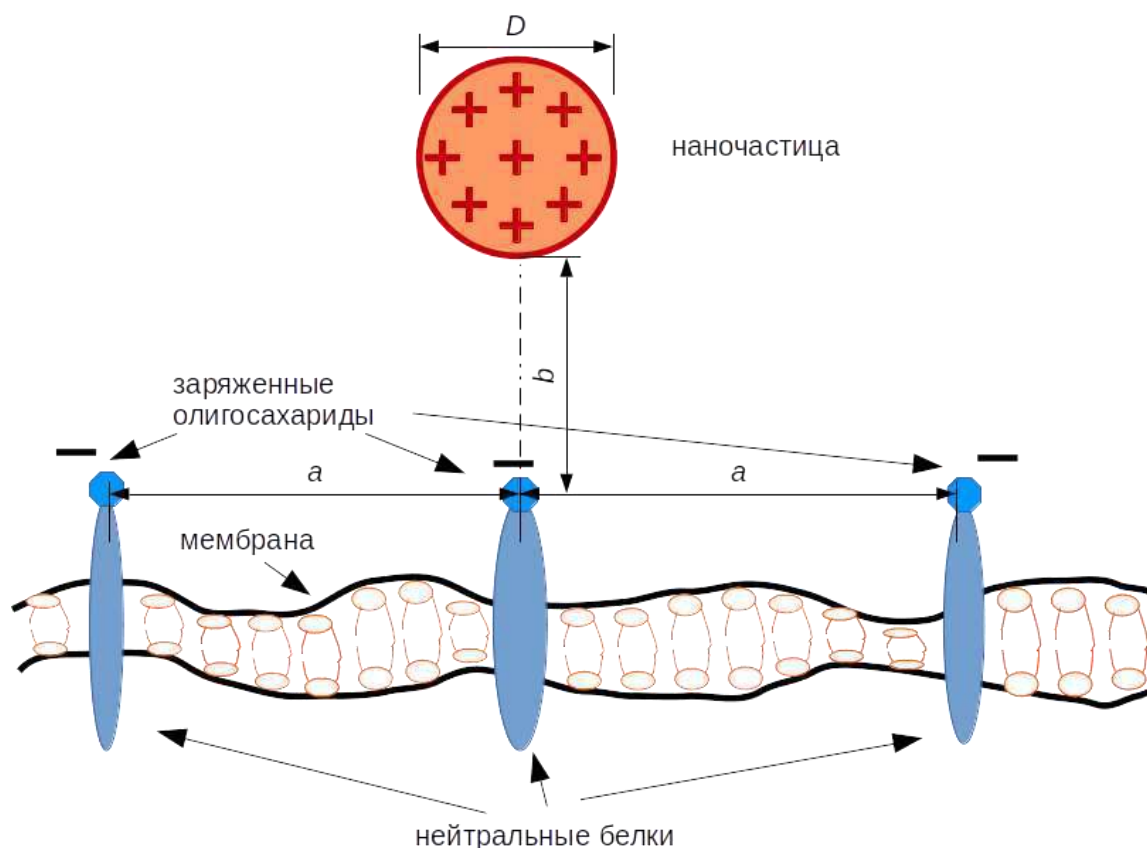
1. Рассмотрим нанонить селенида олова (SnSe), имеющую цилиндрическую форму. Диаметр основания нити $D = 20$ нм, а высота $h = 200$ нм. Один конец нити находится при комнатной температуре, а другой при повышенной температуре. Рассчитайте коэффициент теплопроводности λ_1 такой нанонити, если за время $\tau = 1$ с через нанонить SnSe проходит количество теплоты $Q_1 = 65$ нДж. Установившаяся разность температур на концах нити SnSe составляет $\Delta T = 600$ К. **(3 балла)**
2. Рассчитайте коэффициент теплопроводности λ_2 нанонити карбида кремния (SiC), если через нанонить SiC проходит количество теплоты $Q_2 = 30$ мкДж. Нить имеет диаметр основания $D = 20$ нм, и высоту $h = 1$ мкм. Установившаяся разность температур на концах нити SiC составляет $\Delta T = 1000$ К. **(3 балла)**
3. Сравните результаты, полученные в пунктах 1 и 2, и сделайте вывод о том, какие нанонити лучше использовать в термоэлектрических элементах. **(2 балла)**
4. Какие свойства наноразмерных нитей обуславливают высокую эффективность преобразования тепловой энергии в электрическую по сравнению с объемными материалами? **(2 балла)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 6. Наночастица в живой ткани

Полупроводниковые и диэлектрические наночастицы имеют возможное практическое применение в биомедицине в качестве светоизлучающих маркеров или в качестве наноконтейнеров для адресной доставки лекарств. В научной литературе считается, что физико-химические свойства наночастиц определяют их взаимодействие с клетками живой ткани. Определяющим в этом взаимодействии является поверхностный заряд наночастицы. Считается, что положительно заряженные наночастицы лучше захватываются клетками, чем нейтральные или отрицательно заряженные. Причина – это благоприятное электростатическое взаимодействие с отрицательно заряженной клеточной мембраной. Диэлектрическую проницаемость межклеточного пространства будем считать равной $\epsilon = 1$.



1. На рисунке изображена наночастица вблизи мембраны. Наночастица равномерно заряжена с плотностью заряда $\rho = 0.15 \cdot 10^9$ Кл/м³, заряды олигосахаридов $q = -2 \cdot 10^{-9}$ нКл, расстояние $a = 50$ нм, $b = 80$ нм, диаметр $D = 40$ нм. Отрицательные заряды считайте точечными. Найдите заряд наночастицы Q . **(1 балл)**
2. Найдите энергию электростатического взаимодействия W положительно заряженной наночастицы и трёх отрицательно заряженных олигосахаридов. **(4 балла)**
3. Как изменится энергия взаимодействия W , если наночастица будет покрыта сплошным слоем отрицательно заряженных белковых молекул толщиной $d = 5$ нм? Плотность заряда белкового слоя по модулю равна плотности заряда наночастицы. **(5 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 7. Ионное травление

Для формирования наноструктур иногда применяется метод реактивного ионного травления. В ходе этого процесса в вакуумную камеру напускается небольшое количество газа, который ионизируется, а далее под действием приложенного электрического поля ионы летят к поверхности подложки, которая подлежит ионному травлению. Для удержания плазмы может использоваться магнитное поле.

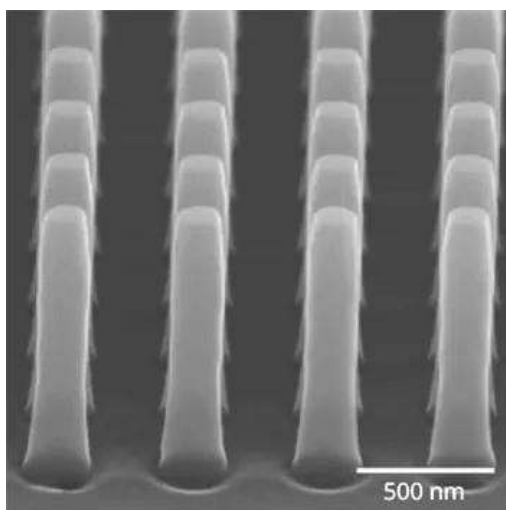


Рис. 1. Наноструктуры, полученные реактивным ионным травлением

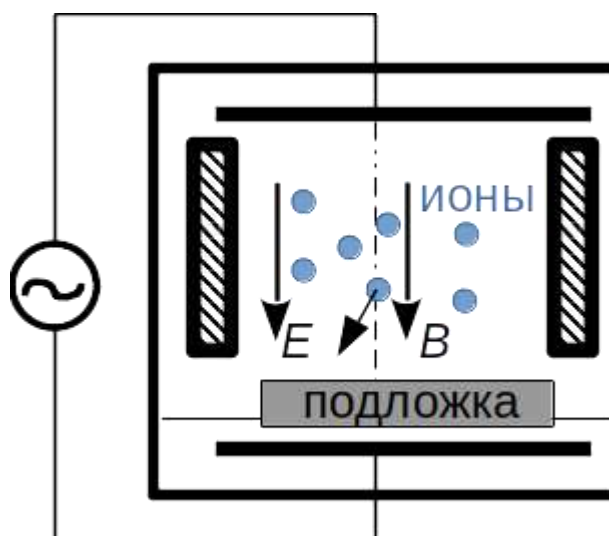


Рис. 2. Схема эксперимента

1. В камеру напускают аргон, который ионизируют, и ионы плазмы под действием переменного электрического поля начинают совершать колебательные движения. Поле меняется по закону $E(t) = E_0 \cos(\omega t)$, $E_0 = 0.05$ В/м. При какой частоте ω однозарядный ион аргона, который находился строго посередине камеры и не имел начальной скорости, коснется подложки? Расстояние от середины камеры до подложки $l = 50$ см. Считайте, что ионы не взаимодействуют друг с другом. **(5 баллов)**
2. В камере выключают переменное электрическое поле и включают постоянное магнитное поле. Вектор индукции $B = 1$ мТл направлен вдоль осевой линии. На каком расстоянии от осевой линии ударится ион о подложку, если находясь строго посередине камеры, он имеет скорость $v_0 = 100$ м/с, и она направлена под углом $\alpha = 30^\circ$ к осевой линии? **(4 балла)**
3. Какова траектория движения ионов в магнитном поле? **(1 балл)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап) Задача 8. Наноробот

Так называемые нанороботы активно разрабатываются из-за перспективы их применения в области адресной доставки лекарств к небольшим участкам тканей и даже отдельных клеток. К нанороботам относятся различные наноразмерные объекты, траекторией движения которых можно управлять с помощью света, магнитного или электрического поля. [Группа ученых под руководством Фана](#) разработала золотые нанонити, на поверхность которых прикрепляются карбоксильные (-COOH) или аминогруппы (-NH₂). При помещении этих нанонитей в воду эти группы ионизируются, что обуславливает появление отрицательного (COO⁻) или положительного (NH₃⁺) заряда. Движением таких нанороботов можно управлять с помощью электрического поля.

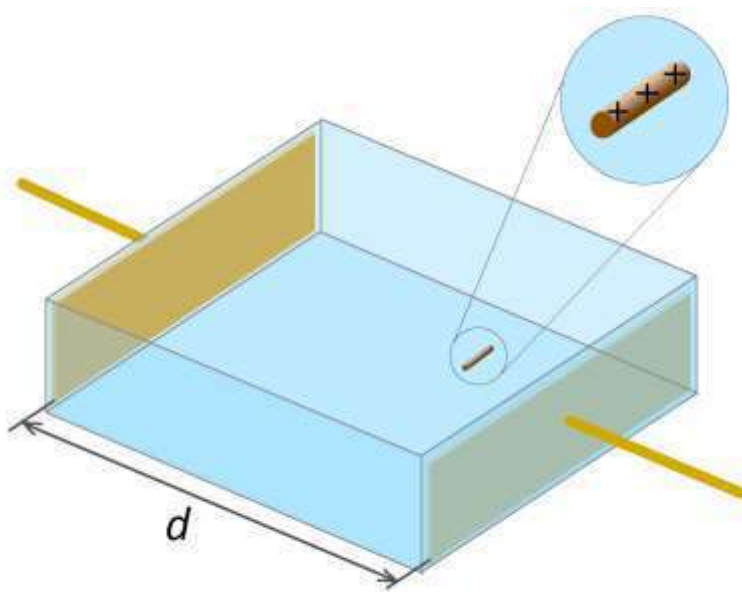


Рис. 1. Схема расположения электродов, управляющих движением нанонити

Золотые нанонити с диаметром основания $D = 300$ нм, длиной $\ell = 6$ мкм и зарядом $q = 8$ пКл, модифицированные аминогруппами, помещены в ванночку с водой и медленно оседают с установившейся постоянной скоростью $v = 10$ нм/с.

1. Определите коэффициент вязкого трения, возникающего при движении нанонити в воде. **(5 баллов)**
2. На плоскопараллельные электроды, находящиеся на расстоянии $d = 1$ см, подают напряжение $U = 2$ В. Найдите установившуюся через некоторое время постоянную скорость движения v' нанонитей под действием электрического поля. **(5 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 9. Нанопинцет

Для манипулирования наноструктурами в процессе их исследования была разработана наноразмерная электромеханическая система – нанопинцет на основе углеродных нанотрубок диаметром около 50 нм. Электропроводящие и механически прочные углеродные нанотрубки были прикреплены к независимым электродам, изготовленным на вытянутых стеклянных микропипетках. При приложении напряжения к электродам на нанотрубках появляются разноименные заряды. Вследствие электростатического взаимодействия заряженные нанотрубки притягиваются и смыкаются.

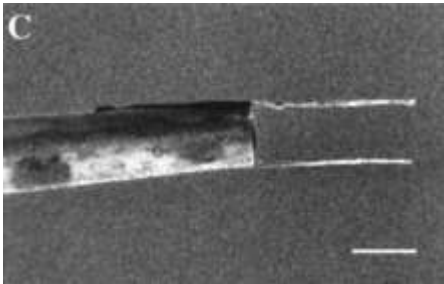


Рис. 1. Нанопинцет из углеродных нанотрубок. Масштабный отрезок 2 мкм

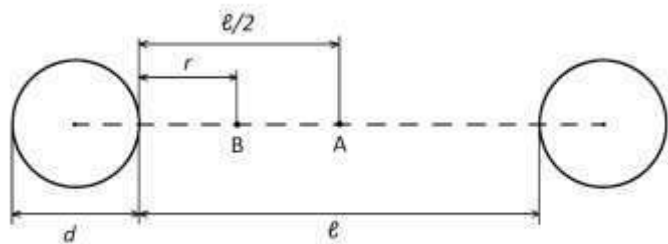


Рис. 2. Схематическое представление заряженных нанотрубок

Нанотрубки при приложении к ним напряжения можно считать параллельными заряженными цилиндрами с линейной плотностью заряда $\lambda = 0.088 \cdot 10^{-19}$ Кл/нм. Нанотрубки заряжены разноименно.

1. Определите напряженность электрического поля в точке А, находящейся посередине между нанотрубками (рис. 2). Расстояние между углеродными нанотрубками $l = 2$ мкм, диаметр нанотрубок $d = 50$ нм. **(5 баллов)**
2. Определите напряженность электрического поля в точке В, находящейся на оси, соединяющей центры нанотрубок, на расстоянии $r = 400$ нм от одной из них. **(5 баллов)**

Всего – 10 баллов



Физика для школьников 7 – 11 класса (отборочный этап)
Задача 10. «Эффект миража»

Измерение зависимости коэффициента поглощения от частоты падающего излучения в тонких пленках толщиной 100-200 нм из оптически непрозрачного материала может быть реализовано методом термо-оптической спектроскопии. Явление, лежащее в основе данного метода, в литературе иногда называют «эффектом миража». Пленка поглощает излучение от монохроматического источника и нагревается, нагревая также тонкий приповерхностный слой окружающей жидкости. Из-за нагрева, который зависит от коэффициента поглощения пленки, в данной области меняется показатель преломления жидкости. Лазерный луч, направленный вдоль поверхности образца, преломляется и отклоняется от первоначального направления. Таким образом, по отклонению луча можно получить информацию о коэффициенте поглощения тонкой пленки образца.

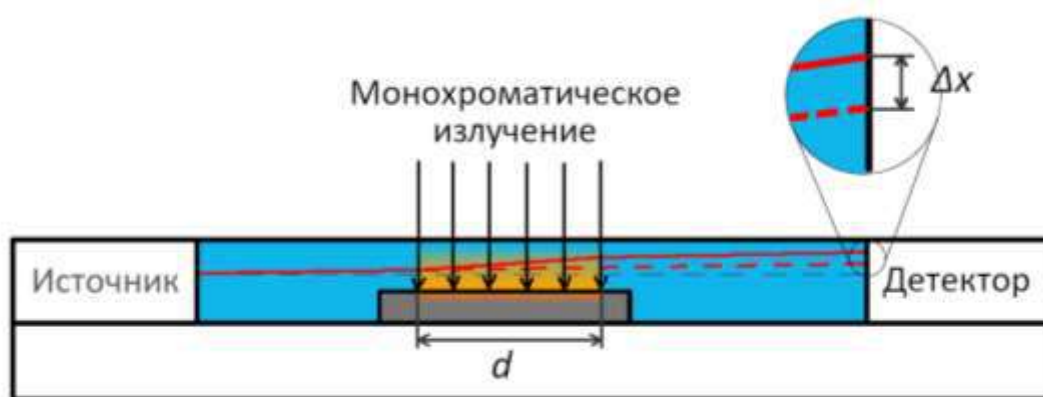


Рис. 1. Схема эксперимента

Закон зависимости коэффициента преломления n от температуры T жидкости выглядит следующим образом:

$$n = n_0 - a(T - T_0),$$

где n_0 – показатель преломления при комнатной температуре T_0 , а коэффициент a зависит от типа жидкости. В таблице представлены значения n_0 и a для различных жидкостей.

Жидкость	n_0	$a, 10^{-4} \text{ K}^{-1}$
Вода	1.333	0.9
Метанол	1.3284	4.3

1. На какую величину Δx сместится луч на экране детектора, направленный под углом $\alpha_0 = 1^\circ$ к горизонтальной поверхности тонкой титановой пленки, погруженной в воду, если в результате поглощения падающего излучения приповерхностный слой жидкости над облучаемой областью нагрелся на $T - T_0 = 90^\circ \text{C}$? Ширина облучаемой области $d = 1 \text{ см}$. Считайте границы раздела нагретой и «холодной» жидкостей резкими, а слой жидкости над облучаемой областью равномерно нагретым. **(6 баллов)**
2. Как изменится Δx , если вместо воды использовать метанол? **(2 балла)**

3. Можно ли использовать какую-то из этих жидкостей в таком эксперименте, чтобы обнаружить изменение температуры в 90 °С, если детектор представляет собой матрицу с размером пикселя 2.5 мкм? **(2 балла)**

Всего – 10 баллов