



Физика. Заключительный этап

Комплекс предметов

Категория участников: школьники 7-11 классов

Задания заключительного этапа XVI Всероссийской олимпиады "Нанотехнологии - прорыв в будущее!" по физике. Задачи 1-5 – простые, задачи 6-8 – сложные.

Задания

1. Напыление контактов

2. Масс-спектр фуллерена

3. Плёнки Ленгмюра-Блоджетт

4. Нанолазер

5. Модификация оптических свойств тонких металлоорганических плёнок

6. Адсорбция азота

7. Квантовые точки CdS

8. Фотогипертермия раковой опухоли

ВСЕ ЗАДАЧИ СОБРАНЫ В ОДНОМ ФАЙЛЕ (список констант приведен в начале файла):

Список констант

Постоянная Планка $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с

Скорость света в вакууме $c = 2,99 \cdot 10^8$ м/с

Элементарный заряд $e = 1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл

Масса электрона $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг

Масса протона $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг

Постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К

Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К)

Постоянная Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹

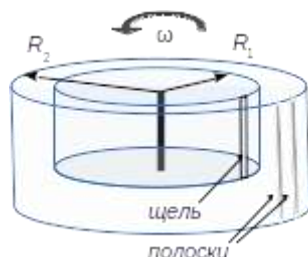
Ускорение свободного падения $g = 9,81$ м/с²



Физика для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)
Вариант IV

Задача 1. Напыление контактов (8 баллов)

Для напыления тонких медных полосок на гибкую подложку предложена следующая схема.



Раскаленная нить меди Cu (атомная масса – 64 а.е.м.) находится на оси цилиндра ($R_1 = 2$ см), имеющего узкую щель, позволяющую пролетать испарившимся атомам. Напыление происходит на боковую поверхность другого цилиндра ($R_2 = 5$ см), ось которого совпадает с осью первого.

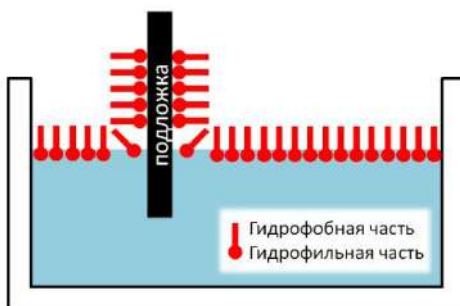
1. Каково будет расстояние между центрами полосок, если оба цилиндра вращаются относительно оси с постоянной угловой скоростью $\omega = 1000$ об/мин, а напыление происходит сначала при температуре раскаленной нити $T_1 = 625$ К, а потом при температуре $T_2 = 900$ К. **(5 баллов)**
2. Чему равны среднеквадратичные скорости атомов меди при температурах T_1 и T_2 ? **(3 балла)**

Задача 2. Масс-спектр фуллерена (8 баллов)

В научных исследованиях используется масс-спектрометр, в котором атомные кластеры ионизируются, разгоняются в однородном электрическом поле, а затем отклоняются однородным магнитным полем. Известно, что для однозарядного иона C_{60}^+ самый интенсивный пик ионного тока наблюдается при значении магнитного поля $B = 0,2$ Тл.

1. При каком значении магнитного поля будет наблюдаться пик ионного тока для двузарядного иона C_{70}^{2+} ? **(5 баллов)** Ускоряющее электрическое поле и траектория в магнитном поле остаются прежними, ионы влетают перпендикулярно линиям индукции магнитного поля.
2. Во сколько раз отличаются скорости ионов, подлетающих к приемнику? **(3 балла)**

Задача 3. Плёнки Ленгмюра-Блоджетт (8 баллов)



Одним из способов синтеза тонких плёнок является метод Ленгмюра-Блоджетт, суть которого заключается в вытягивании или погружении подложки в жидкость, на поверхности которой располагается монослой молекул поверхностно-активного вещества (ПАВ), имеющих гидрофобную и гидрофильную части. Путём многократного повторения таких несложных операций можно также получать многослойные плёнки необходимой толщины.

1. Для чего применяются поверхностно-активные вещества? Поясните происходящие физические явления и приведите примеры. **(2 балла)**
2. Рассчитайте толщину h плёнки Ленгмюра-Блоджетт площадью $S = 3,6 \text{ см}^2$, если для её синтеза потребовалось $m = 17,4 \text{ мкг}$ ПАВ. Площадь поперечного сечения молекулы ПАВ $S_1 = 0,09 \text{ нм}^2$, её длина $L = 3,2 \text{ нм}$, а молярная масса $M = 0,87 \text{ кг/моль}$. Плёнки считайте идеальными: молекулы ПАВ образуют сплошные слои без пустот, а гидрофобные «хвосты» молекул располагаются строго перпендикулярно поверхности подложки. **(6 баллов)**

Задача 4. Нанолазер (8 баллов)

Флуоресцентные нанонити претендуют на роль одного из наиболее миниатюрных типов лазеров с оптической накачкой. Лазерный эффект (т.е. резкое увеличение интенсивности излучения на резонансной длине волны) наблюдается при постепенном увеличении мощности оптической накачки до достижения определенного порога, соответствующего возбуждению как минимум половины от общего числа элементарных излучателей. Недавно было продемонстрировано, что для достижения лазерного эффекта такие нанонити достаточно облучать светом через боковую поверхность (см. рис. 1). При этом наиболее интенсивное излучение (на характерной для геометрии и типа нанонити длине волны) выходит из торцов, играющих роль зеркал резонатора (см. рис. 2).

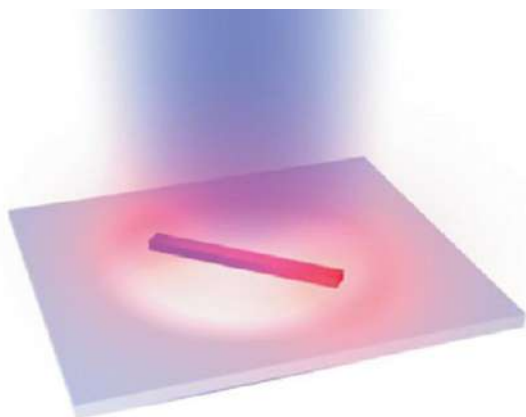


Рис. 1

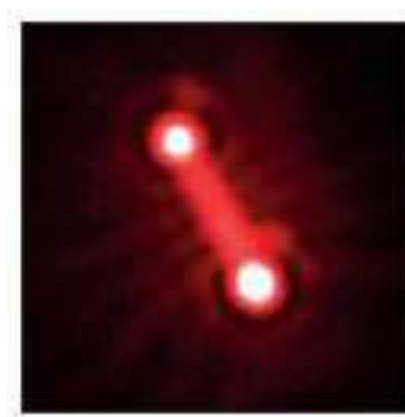
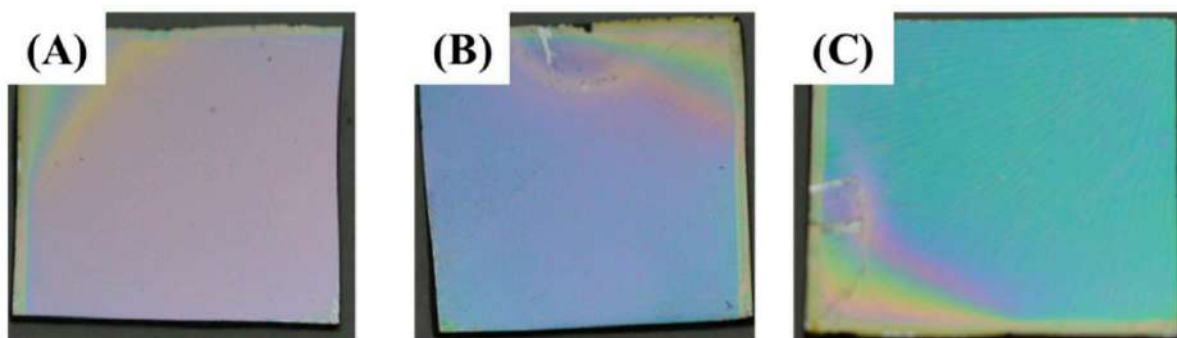


Рис. 2

1. Какая необходима минимальная энергия для возбуждения всех элементарных излучателей? Нанонить состоит из элементарных ячеек в виде параллелепипедов с размерами $0,78 \times 0,78 \times 1,15$ нм. Размеры нанонити: $0,55 \times 0,55 \times 55$ мкм. При расчетах принять, что каждая элементарная ячейка нанонити является элементарным излучателем с собственной энергией возбуждения $4,1 \times 10^{-21}$ Дж. **(3 балла)**
2. Оцените минимальную плотность энергии импульсной оптической накачки (т.е. количество энергии в импульсе на единицу площади – см^2), требуемой для достижения лазерного эффекта в одиночной нанонити. Потерями пренебречь. Длительность импульса накачки полагать много меньшей, чем время жизни возбужденного состояния элементарных излучателей. **(5 баллов)**

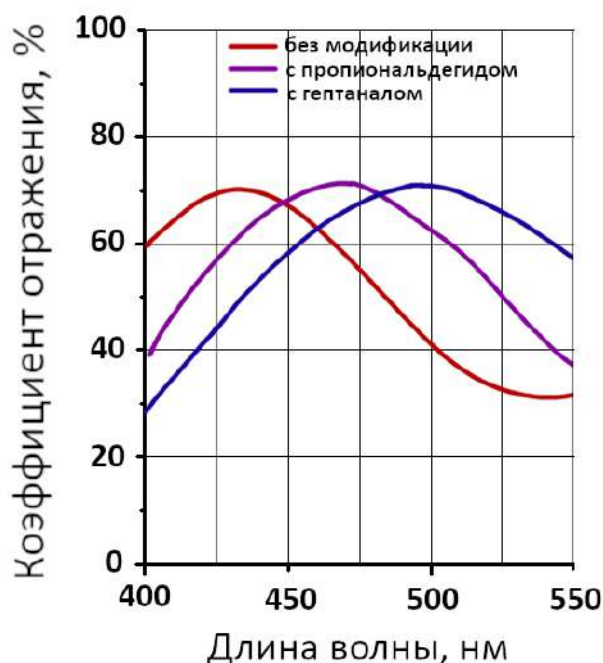
Задача 5. Модификация оптических свойств тонких металлорганических пленок (8 баллов)

Тонкие металлорганические пленки (MOF) можно модифицировать, изменяя их оптические свойства. В исследовании китайских ученых в результате реакции аминогрупп MOF с альдегидами изменялся показатель преломления пленок. На рисунке представлены фотографии пленки до модификации (A) и после модификации пропионовым альдегидом (B) и гептаналем (C). Толщина каждой пленки $d = 300$ нм.



1. Почему на фотографиях пленки имеют разные цвета? (2 балла)

Зависимости коэффициентов отражения пленок от длины волны в части видимого диапазона представлены ниже. Спектры отражения получены при угле падения $\alpha = 45^\circ$.



2. Определите показатель преломления пленки без модификации, если известно, что показатель преломления пленки, модифицированной пропионовым альдегидом, $n_2 = 1,371$. (6 баллов)

Задача 6. Адсорбция азота (20 баллов)

Известно, что пористые материалы обладают большой полной площадью поверхности, которая значительно превышает видимые размеры исследуемого образца. Для определения полной площади поверхности пористой мембраны размером $S = 20,1 \text{ см}^2$ и толщиной $h = 200 \text{ мкм}$ со сквозными цилиндрическими порами, расположенными перпендикулярно её поверхности, мембрана была помещена в герметичный сосуд объёмом $V = 2,3 \text{ л}$, содержащий газообразный азот при температуре $T_1 = 297 \text{ К}$ и давлении $p_1 = 378,6 \text{ кПа}$. Затем сосуд с помещённой в него мембраной был охлаждён до температуры кипения азота $T_2 = 77 \text{ К}$ и оставлен до установления равновесия.

1. На сколько мг изменится масса мембраны (Δm) после установления равновесия, если конденсация азота происходит в порах мембраны? Ответ подтвердите расчётом. Давление насыщенных паров азота при $T_2 = 77 \text{ К}$ равно $p_2 = 98,1 \text{ кПа}$. Можно считать, что теплообмена между сосудом и окружающей средой нет. **(5 баллов)**
2. Определите полную площадь поверхности мембраны S_m , если молекулы азота адсорбируются на ней слоем толщиной в одну молекулу N_2 . Диаметр молекулы азота $d = 0,32 \text{ нм}$. **(5 баллов)**
3. Какова природа взаимодействия молекул азота с поверхностью мембраны, изготовленной из оксида алюминия? **(3 балла)**
4. Рассчитайте радиус пор R_p изученной мембраны, если поры занимают $\omega = 12\%$ её объёма. Можно считать, что полная площадь поверхности мембраны равна суммарной площади поверхности всех пор. **(7 баллов)**

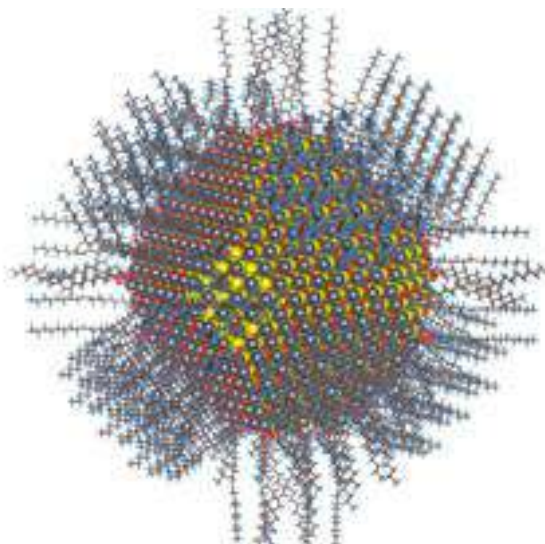
Задача 7. Квантовые точки CdS (20 баллов)

Согласно статье «Квантовая точка», приведенной в Википедии, под этим термином подразумевается «фрагмент проводника или полупроводника (например InGaAs, CdSe, CdS или GaInP/InP), носители заряда (электроны или дырки) которого ограничены в пространстве по всем трём измерениям. Размер квантовой точки должен быть настолько мал, чтобы квантовые эффекты были существенными».

В качестве иллюстрации к данной статье приводится следующий рисунок (микрофотография) с подписью «Квантовые точки сульфида кадмия».



1. Какими характерными размерами обладают квантовые точки? Каков, по вашему мнению, масштаб на приведенной микрофотографии? **(4 балла)**
2. В чем заключается очевидное несоответствие между приведенной микрофотографией и сутью статьи? **(7 баллов)**
3. Где и в качестве чего могут применяться квантовые точки? **(4 балла)**
4. Относится ли к теме «Квантовая точка» второй рисунок, приведенный в той же статье (см. ниже)? Что здесь может быть изображено? Ответ поясните. **(5 баллов)**



Задача 8. Фотогипертермия раковой опухоли (20 баллов)

Гипертермия – это метод лечения, основанный на локальном нагревании патологической области до температуры, превышающей 42 °С, с целью повредить или убить патологические клетки. В фотогипертермии источником тепла является поглощаемое тканями лазерное излучение. Современные исследования посвящены адресному внедрению в патологические ткани кремниевых наночастиц и исследованию результатов внедрения.

1. Для чего вводят кремниевые наночастицы? (4 балла)
2. Почему их использование в биомедицинских целях допустимо? (4 балла)

В препарат карциномы (злокачественная опухоль, развивающаяся из эпителиальных клеток) с размерами $a = 5$ мм, $b = 5$ мм и $d = 2$ мм ввели наночастицы кремния. Далее его начали облучать лазером мощностью $P_0 = 6$ мВт с длиной волны $\lambda = 633$ нм. Коэффициент поглощения ткани с наночастицами на данной длине волны составляет $\alpha = 15$ см⁻¹ (поглощение определяется законом Бугера-Ламберта-Бера $P_{\text{прош}} = P_0 \exp(-\alpha d)$, где $P_{\text{прош}}$ — прошедшее излучение, d – толщина).

Начальная температура препарата $T_0 = 20$ °С. Теплоемкость и плотность ткани считать равными теплоемкости и плотности мягких тканей ($c = 3360$ Дж/(кг·°С) и $\rho = 1050$ кг/м³). Считать, что препарат нагревается равномерно, теплообменом с окружающей средой пренебречь. Отражение света от ткани и рассеяние излучения в ткани такой толщины пренебрежимо мало.

3. В течение какого времени понадобится облучать препарат, чтобы нагреть его до температуры $T = 45$ °С? (12 баллов)