



**Физика для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)**  
**Простые задачи**

**Задача 1. Пробег электронов (10 баллов)**

Электронная микроскопия является распространенным методом исследования нанообъектов. Для того, чтобы получить изображение в электронном микроскопе, исследуемый объект помещают в вакуумную камеру с остаточным давлением воздуха  $P_1 = 10^{-6}$  мм рт. ст. При этом длина свободного пробега электрона составляет  $\lambda_1 = 1$  м, а температура в камере  $t = 27^\circ\text{C}$ .

1. Найдите число молекул в камере объемом  $V = 10$  л при давлении  $P_1$ . **(5 баллов)**
2. Какова будет длина свободного пробега электрона  $\lambda_2$  при атмосферном давлении и той же температуре? **(5 баллов)**

**Задача 2. Ионная имплантация (10 баллов)**

Ионная имплантация – эффективный метод формирования наноструктур. В результате ионной имплантации ионы  $\text{Ag}^+$  проникают в глубину пластины кристаллического Ge. Максимальная глубина проникновения ионов при ускоряющем напряжении  $U_1$  равна  $d_1 = 50$  нм. Ускоряющее напряжение увеличили в 4 раза. Найдите глубину проникновения при ускоряющем напряжении  $U_2$ , полагая, что средняя тормозящая сила  $F$ :

1. не зависит от скорости подлетающих ионов и постоянна во всей толще пластины; **(5 баллов)**
2. пропорциональна скорости подлетающих ионов и постоянна во всей толще пластины. **(5 баллов)**

**Задача 3. Опасные наночастицы (10 баллов)**

Наночастицы являются зачастую побочным продуктом или видом отходов на промышленных предприятиях, при этом они могут представлять опасность для здоровья при попадании внутрь человеческого организма (например, наночастицы тяжелых металлов). Для ограничения распространения наночастиц на предприятиях могут использоваться специальные мембранные фильтры.

1. Оцените, с какой максимальной скоростью  $v_{\text{max}}$  могут двигаться наночастицы кобальта (плотность  $\rho = 8,9$  г/см<sup>3</sup>) диаметром  $d = 50$  нм, чтобы они могли быть удержаны мембраной (без ее разрыва) с пределом прочности  $\sigma_0 = 4$  МПа? Считайте, что движение наночастиц происходит по нормали к поверхности мембраны, а время взаимодействия с мембраной составляет  $\Delta t = 1$  нс. **(10 баллов)**

#### **Задача 4. Неразрушающий метод (10 баллов)**

Одной из уникальных особенностей нанообъектов является увеличение работы выхода электронов при уменьшении размеров изучаемых частиц. Благодаря этому возможна реализация метода анализа наночастиц, который позволяет сохранить их первоначальные форму и размер и заключается в воздействии монохроматического излучения на исследуемый материал.

Для эксперимента взяли два образца: наночастицы серебра с диаметром 50 нм (образец **A**, работа выхода 4,7 эВ) и наночастицы серебра с диаметром 5 нм (образец **B**, работа выхода 4,8 эВ).

1. Рассчитайте величину запирающего напряжения для образцов **A** и **B**, если на каждый из них подействовали излучением с длиной волны 250,0 нм. **(6 баллов)**
2. На сколько нанометров отличается красная граница фотоэффекта для образцов **A** и **B**? Ответ подтвердите расчётом. **(4 балла)**

#### **Задача 5. Механическая активация наночастиц (10 баллов)**

Как известно, химические реакции между твердыми веществами происходят только при довольно высокой температуре, даже если размеры реагентов составляют десятки нанометров. Однако температуру такого процесса можно существенно снизить благодаря интенсивному механическому воздействию на исходные наночастицы. Например, методом механической активации удаётся синтезировать карбид никеля из простых веществ.

1. Пусть в результате неупругого столкновения двух одинаковых наночастиц никеля, летевших навстречу друг другу с равной по модулю скоростью 10 м/с, скорость каждой из них снижается на 30%. Определите минимальное количество таких столкновений, необходимое для увеличения температуры наночастиц на 100 К. Процесс считайте адиабатическим. Атомная масса никеля 0,0587 кг/моль, теплоёмкость никеля 26,1 Дж/(моль·К). **(8 баллов)**
2. Какие процессы, кроме изменения температуры, могут происходить при механическом воздействии на наночастицы? **(2 балла)**

## Список констант

Постоянная Планка  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с

Скорость света в вакууме  $c = 2,998 \cdot 10^8$  м/с

Элементарный заряд  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл

Масса электрона  $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31}$  кг

Масса протона  $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27}$  кг

Постоянная Больцмана  $k = 1,381 \cdot 10^{-23}$  Дж/К

Универсальная газовая постоянная  $R = 8,314$  Дж/(моль·К)

Постоянная Авогадро  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>

Ускорение свободного падения  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>