

## Физика

### Простые задачи

#### Задача 1

Для элементного анализа пробу наночастиц готовят следующим образом: сперва её испаряют, а затем ионизируют электронным пучком. Температура кипения серебра  $T = 2485$  К, масса атома серебра  $m_{\text{Ag}} = 1.7 \cdot 10^{-25}$  кг, масса электрона  $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}$  кг. Постоянная Больцмана  $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К. Заряд электрона  $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$  Кл. Энергия электронного пучка  $E_e = 70$  эВ.

Найти отношение кинетической энергии электрона к средней кинетической энергии испаренного атома серебра (**3 балла**).

Найти отношение импульса электрона к импульсу атома серебра в ионизационной камере. (**5 баллов**).

#### Задача 2

Итальянский гравитационный интерферометр VIRGO планируется сделать на базе маятниковых зеркал, подвешенных на высоте  $L = 10$  м и массой  $M = 60$  кг. Для того, чтобы исключить паразитные соударения зеркал с твердыми частицами, их поместили в сверхвысокий вакуум. Представим себе, что с зеркалом абсолютно упруго сталкивается кремниевая наночастица с диаметром  $d = 100$  нм и горизонтальной скоростью  $v = 50$  м/с. Найдите максимальное отклонение зеркала  $l$ ? Как соотносятся (в процентах) смещения зеркала, вызванных ударом наночастицы  $l$  и распространением гравитационной волны  $l_0$ . Примите:  $l_0 = 10^{-17}$  м. Плотность кремния —  $2,3$  г/см<sup>3</sup>.

### **Задача 3**

С появлением наночастиц появилась необходимость измерения их массы. Представим гипотетический масс-спектрометр для наночастиц, в котором будет использоваться эффект давления света. Прибор будет состоять из вакуумной камеры, источника света и детектора наночастиц. Для определения массы падающих наночастиц будет регистрироваться их отклонение от вертикали, вызванное действием горизонтального светового пучка, освещающего наночастицы на начальном участке их траектории.

Какое минимальное давление должен обеспечивать световой пучок высотой 40 см, чтобы сферическая наночастица радиусом 3 нм и массой  $2.6 \cdot 10^{-22}$  кг, падающая от потолка вакуумной камеры высотой 200 см без начальной скорости, отклонилась при достижении дна камеры не менее чем на 10 см? **(6 баллов)**.

Нарисуйте траекторию движения наночастицы внутри камеры масс-спектрометра **(2 балла)**.

#### **Задача 4**

Принцип работы некоторых типов памяти состоит в считывании состояния о заряде ячейки. На проводящую подложку наносится тонкая плёнка карбида кремния. Толщина плёнки  $d = 100$  нм. На верхнюю поверхность пленки напыляют металлический контакт. Площадь контакта  $S = 4$  см<sup>2</sup>. Удельное сопротивление карбида кремния  $\rho = 10^7$  Ом·м, диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 10$ .  $\epsilon_0 = 8 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.

Какое напряжение возникнет между контактами, если на напыленный контакт поместить заряд  $q = 400$  нКл? (5 баллов)

Найдите максимальный ток утечки заряда. (3 балла)

### Задача 5

Недавно был предложен оригинальный метод создания идеально сферических наночастиц, названный лазерной печатью. Суть метода состоит в облучении тонкой пленки исходного материала (например, металла) фемтосекундным лазерным импульсом (см. рис. 1). Вследствие короткой длительности импульса происходит локальный нагрев и расплавление материала пленки с последующим формированием сферической наночастицы (см. рис. 2а). При правильном подборе энергии лазерного импульса можно добиться отрыва образовавшейся наночастицы от исходной пленки и ее переноса на прозрачную приемную подложку (см. рис. 1 и рис. 2б).

Используя рисунок 2, оценить минимальную энергию лазерного импульса, необходимую для осуществления переноса сформированной золотой наночастицы диаметром 200 нм на прозрачную приемную подложку, расположенную над пленкой на расстоянии  $\Delta z = 10$  мкм (**8 баллов**). Плотность золота  $19.3 \text{ г/см}^3$ , удельная теплота плавления –  $67 \text{ кДж/кг}$ , удельная теплоемкость –  $129 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ , температура плавления –  $1064 \text{ }^\circ\text{C}$ . Эксперимент проводится в вакууме, начальная температура золотой пленки  $300 \text{ К}$ .

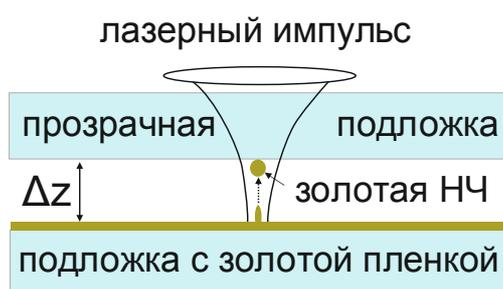


Рисунок 1. Схема метода лазерной печати.

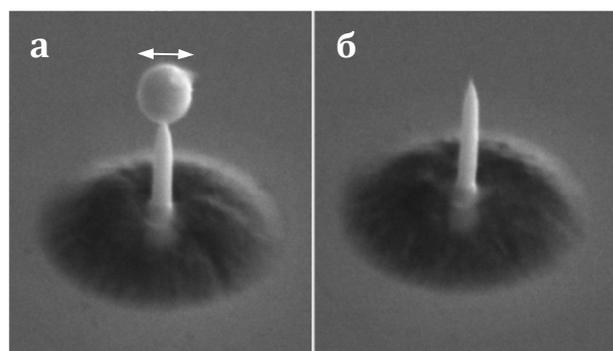


Рисунок 2. Микрофотографии поверхности золотой пленки до (а) и после (б) переноса наночастицы.

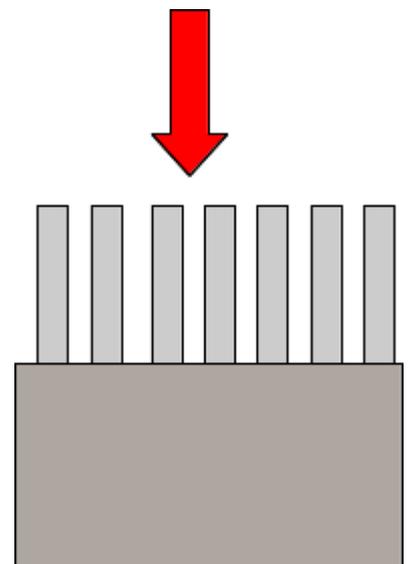
## Более сложные задачи

### Задача 6.

На массив вертикальных полупроводниковых нанонитей, выращенных на подложке (см. рис.), падает монохроматическая электромагнитная волна, распространяющаяся вдоль нитей, имеющих диаметр  $D = 100$  нм. Амплитуда напряженности электрического поля волны равна  $E = 10^4$  В/м. При какой частоте электромагнитной волны электроны проводимости будут испытывать столкновения со стенками? Длина свободного пробега электронов проводимости превышает диаметр нанонити.  $\epsilon_0 = 8 \cdot 10^{-12}$  Ф/м,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м, заряд электрона  $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$  Кл, масса электрона  $m = 9.1 \cdot 10^{-31}$  кг,  $\epsilon = 16$ ,  $\mu = 1$ . Дисперсию диэлектрической проницаемости не учитывать. **(10 баллов)**

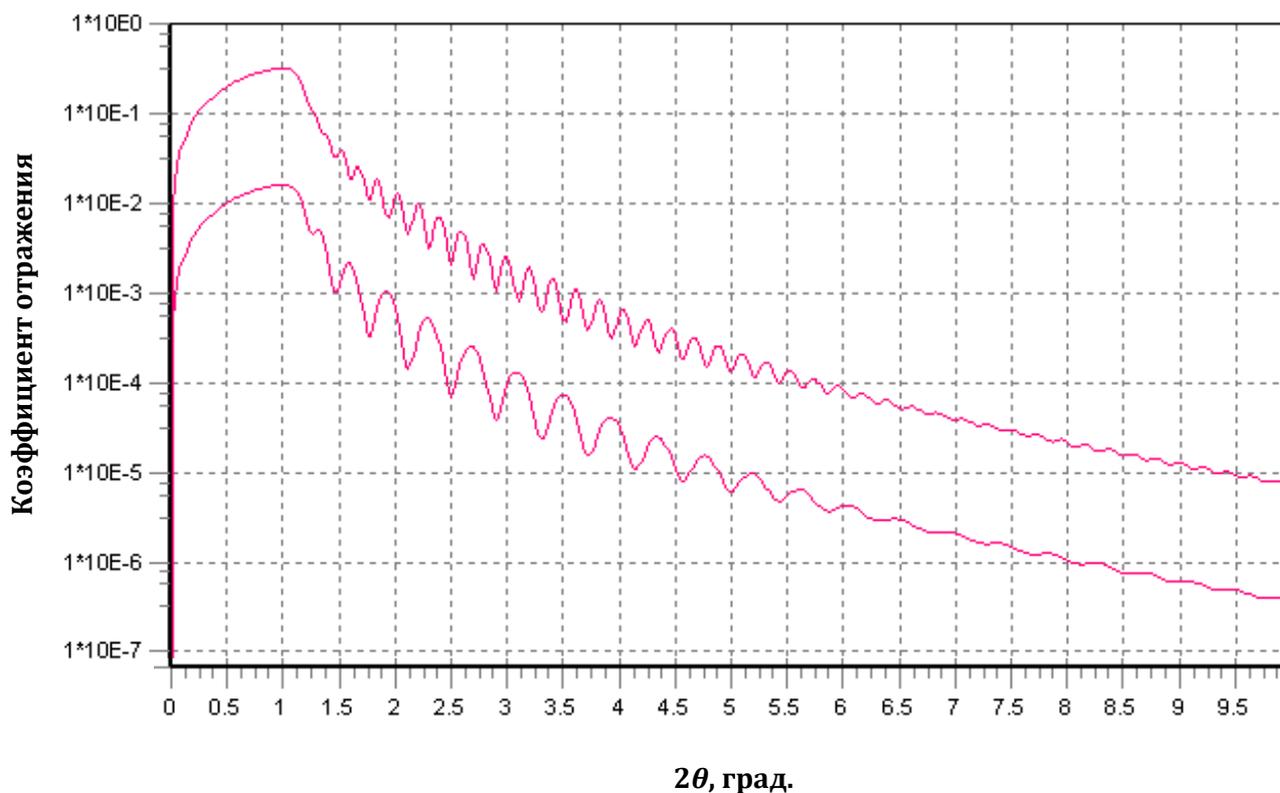
Рассчитать амплитуду вектора индукции магнитного поля волны **(2 балла)**.

Оценить максимальное смещение электронов внутри нанонити под действием магнитного поля вдоль вертикали при найденной частоте волны. **(8 баллов)**



### Задача 7

Большая энергия (малая длина волны) квантов синхротронного излучения обуславливает его применение для определения толщины тонких пленок. На рисунке приведены угловые зависимости коэффициентов отражения синхротронного излучения для двух пленок различной толщины. Известно, что толщина более тонкой пленки равна 10 нм. Пользуясь графиками, оцените толщину второй пленки (**7 баллов**) и длину волны используемого излучения (**7 баллов**). Какова наименьшая толщина тонкой пленки, которую можно измерить с помощью такой методики? (**6 баллов**). При оценках учесть, что коэффициенты отражения отложены в зависимости от удвоенного угла между падающим излучением и поверхностью пленки, выраженного в градусах.



### Задача 8

Для обнаружения гравитационных волн в Хэнфорде (США) учёные построили гигантский интерферометр Майкельсона с длиной плеч  $L = 4$  км. Луч света мощностью  $P = 40$  Вт с длиной волны  $\lambda = 1$  мкм разделяется с помощью светоделительной пластинки на два когерентных пучка, которые попадают на детектор с равными интенсивностями, но в противофазе. В момент регистрации гравитационной волны происходит искривление пространства-времени, в результате чего одно из плеч интерферометра укорачивается в  $\eta = 1 + 10^{-21}$  раз. Найдите интенсивность света на детекторе  $I$ , если известно, что лучи сфокусированы в световое пятно радиусом  $r = 1$  мкм.

