



**Комплекс предметов «химия, физика, математика, биология»  
для школьников 10 – 11 классов (заключительный этап)  
Физика. Вариант IV. Решения**

**Решение задачи 1. Углеродные нанотрубки (5 баллов)**

1. Сопротивление металлов с ростом температуры линейно растет, а полупроводников – экспоненциально падает. Поэтому кривые А и В соответствуют металлическому типу проводимости, а кривые С и D – полупроводниковому.
2. Температурная зависимость сопротивления:

$$R = R_0(1 + \alpha t), \alpha = \left(\frac{R}{R_0} - 1\right)/t$$

Таким образом, температурный коэффициент сопротивления - это тангенс угла наклона прямой на рисунке.

$$\alpha = \frac{0.2}{100} = 2 * 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

3. Чувствительность детектора тем больше, чем больше относительное изменение сопротивления  $\frac{\Delta R}{R}$  при одинаковом изменении температуры  $\Delta t$ . По графику видно, что при изменении температуры в области 0-10 °С самое большое относительное изменение сопротивления имеет нанотрубка с полупроводниковой проводимостью и диаметром  $D = 1$  нм (кривая D):  $\frac{|\Delta R|}{R} \approx 0.6$ . В области высоких температур (90-100 °С) - нанотрубка с металлической проводимостью и диаметром  $D = 1$  нм (кривая А):

$$\frac{|\Delta R|}{R} \approx 0.04.$$

**Решение задачи 2. Ионное травление (5 баллов)**

1. Потенциальная энергия частицы с зарядом  $q$  в электрическом поле с разностью потенциалов  $U$  равна

$$E_p = qU$$

Кинетическая энергия частицы массой  $m$ , движущейся со скоростью  $v$ , равна

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

По закону сохранения энергии максимальная кинетическая энергия должна быть равна потенциальной энергии, то есть

$$qU = \frac{mv^2}{2}$$

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

Следовательно,

$$E_k = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 2300 \text{ В} = 3.68 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 3.68 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}}{131 \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}}} = 58002 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2. Кинетическая энергия теплового движения равна

$$E_k = \frac{3}{2} kT$$

$$E_k = \frac{3}{2} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot 298 \text{ К} = 6.17 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

Скорость такого иона ксенона равна

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 6.17 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}}{131 \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}}} = 237 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Скорость иона ксенона, ускоренного разностью потенциалов 2.3 кВ, в  $\frac{58002}{237} = 245$  раз больше скорости теплового движения.

3. Ускорять ионы необходимо для повышения их кинетической энергии и, следовательно, увеличения силы удара ионов о поверхность материала. Это позволит эффективно выбивать (сравливать) атомы с поверхности материала.

### Решение задачи 3. Лазерное плавление (5 баллов)

1. Масса облучаемой области металлической пленки:

$$m = V\rho = \frac{\pi D^2}{4} h\rho$$

Теплота, необходимая для полного плавления облучаемой области металлической пленки:

$$Q = cm\Delta T + \lambda m = \frac{\pi D^2}{4} h\rho(c\Delta T + \lambda)$$

Эта теплота должна быть равна энергии в одном импульсе лазера  $E$ , связанной со средней мощностью излучения  $P$  через частоту следования импульсов  $f$ :

$$P(1 - R) = Ef = Qf = \frac{\pi D^2}{4} h\rho(c\Delta T + \lambda)f$$

Минимальная средняя мощность  $P$  импульсного лазера, необходимая для полного плавления облучаемой области:

$$P = \frac{\pi D^2}{4(1-R)} h\rho(c\Delta T + \lambda) f = \frac{3.14 \cdot 4 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot 2700 \cdot (897 \cdot 635 + 390000) \cdot 10^5}{4 \cdot 0.2} \approx 8.15 \text{ Вт}$$

2. Плотность алюминия при плавлении уменьшается, как и для большинства металлов, следовательно, объем – увеличивается.

#### Решение задачи 4. Кто быстрее? (10 баллов)

1. Для решения задачи важно в первую очередь учесть, что взрослый и ребенок различаются по своей массе. При отсутствии силы сопротивления и равных значениях коэффициента трения  $\mu$  ускорение не будет зависеть от массы лыжника и будет определяться выражением:

$$a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$$

Время спуска по склону длиной  $L$  связано с ускорением формулой (при условии нулевой начальной скорости):

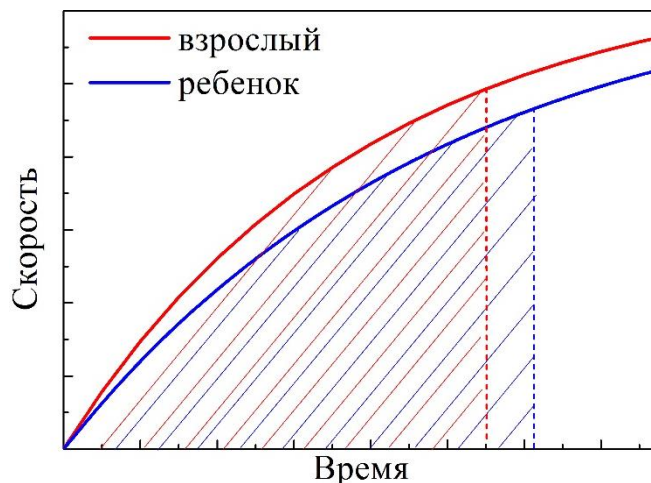
$$t = \sqrt{\frac{2L}{a}}$$

Таким образом, оба лыжника достигнут основания горы одновременно, поскольку их ускорения равны.

2. В случае, если сила сопротивления воздуха зависит только от скорости ( $k$  – коэффициент пропорциональности), ускорение лыжника будет определяться выражением:

$$a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) - \frac{k}{m}v$$

Из этой формулы следует, что ускорение максимально в начальный момент времени (когда скорость равна нулю) и уменьшается в дальнейшем с ростом скорости лыжника. При этом мгновенное значение ускорения будет всегда больше у лыжника с большей массой при условии равенства их скоростей. При неограниченной длине спуска ускорение в определенный момент обратится в ноль, а скорость, возраставшая изначально, выйдет на установившееся значение. График зависимости скорости от времени для ограниченного по длине склона схематично представлен на рисунке.



Кривая скорости взрослого находится выше кривой скорости ребенка, что отражает факт зависимости мгновенного ускорения от массы: угол наклона касательной в точке с определенным значением скорости будет больше для кривой скорости взрослого лыжника по сравнению с углом наклона касательной в точке с тем же значением скорости для ребенка. Пройденный путь есть площадь под кривой  $v(t)$ . Из равенства площадей для спуска по склону конечной длины  $L$  (заштрихованные области на рисунке) следует, что время, затраченное на спуск взрослым лыжником, будет меньше, чем время, затраченное на спуск ребенком.

3. В случае, если сила сопротивления воздуха зависит как от скорости, так и от площади поперечного сечения лыжника  $S$  ( $n$  – результирующий коэффициент пропорциональности), ускорение лыжника будет определяться выражением:

$$a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) - \frac{n}{m}Sv$$

В последнее слагаемое входит отношение площади поперечного сечения лыжника к его массе. Массу можно выразить через плотность  $\rho$  и объем, а объем в свою очередь приближённо можно представить как произведение площади поперечного сечения и некой средней «толщины» лыжника  $h$ . Таким образом, ускорение приближённо будет определяться выражением:

$$a \approx g$$

Учитывая, что средняя «толщина» взрослого больше, чем средняя «толщина» ребенка (а их плотности можно считать одинаковыми), мгновенное ускорение взрослого лыжника будет больше мгновенного ускорения ребенка при условии равенства их скоростей. Применяя далее рассуждения для графика  $v(t)$ , приведенные в п.2, снова приходим к выводу, что взрослый лыжник достигнет основания горы быстрее, чем ребенок.