

## 10 класс

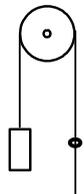
1. (30 баллов) При взрыве гранаты на поверхности земли осколки полетели во все стороны с одинаковой скоростью  $V_0$ . Граница области поражения осколками движется по поверхности земли вначале от точки взрыва, затем в обратном направлении. Во сколько раз средняя скорость границы на этапе ее удаления от точки взрыва меньше средней скорости границы на этапе приближения к этой точке?

**Ответ:** В  $\frac{1}{\sqrt{2}-1} \approx 2,5$  раза.

**Решение:** Движение границы от точки взрыва обеспечивается осколками, вылетевшими из точки взрыва под углами, меньшими  $45^\circ$  (чем больше угол вылета такого осколка, тем больше время его полета и тем дальше от точки взрыва он падает). Движение границы в обратном направлении обеспечивается осколками, вылетевшими под углами, большими  $45^\circ$  (чем больше угол вылета такого осколка, тем больше время его полета и тем ближе к точке взрыва он падает). Поскольку граница проходит одно и то же расстояние в обоих направлениях, отношение средних скоростей ее движения равно обратному отношению времен выпадения осколков, вылетевших под углами, меньшими и большими  $45^\circ$ . Время движения границы от точки взрыва равно времени полета осколка, вылетевшего под углом  $45^\circ$ , т.е.  $2V_0 \sin 45^\circ / g = \sqrt{2} V_0 / g$ . Время движения границы в обратном направлении равно разности времен полета осколков, вылетевших под углами  $90^\circ$  и  $45^\circ$ , т.е.  $(2 - \sqrt{2}) V_0 / g$ . Отсюда находим искомое отношение.

**Разбалловка:** Понято, что движение границы от точки взрыва обеспечивается осколками, вылетевшими под углами, меньшими  $45^\circ$  - 5 баллов  
 Найдено время движения границы от точки взрыва - 5 баллов  
 Понято, что движение границы к точке взрыва обеспечивается осколками, вылетевшими под углами, большими  $45^\circ$  - 5 баллов  
 Найдено время движения границы в обратном направлении - 5 баллов  
 Найдено искомое отношение - 10 баллов

2. (20 баллов) К левому концу идеальной нити, переброшенной через невесомый блок, подвешен груз массы  $m$ , а по правой части нити скользит с постоянной относительно нити скоростью кольцо массы  $m/2$  (см. рисунок). Найти ускорение груза (10 баллов) и силу трения, действующую на кольцо (10 баллов). Ускорение свободного падения  $g$  считать известным.



**Ответ:** Ускорение груза равно  $g/3$ . Сила трения равна  $2mg/3$ .

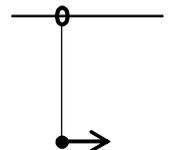
**Решение:** Ускорение кольца направлено вверх и равно по величине ускорению груза. Записывая второй закон Ньютона для груза и кольца в виде

$$ma = mg - T, \quad ma/2 = F_{\text{тр}} - mg/2$$

и учитывая, что действующая на кольцо сила трения  $F_{\text{тр}}$  равна силе натяжения нити  $T$ , находим  $a$  и  $T$ .

**Разбалловка:** Понято, что ускорения груза и кольца равны по величине - 5 баллов  
 Понято, что сила трения равна силе натяжения нити - 5 баллов  
 Найдено ускорение груза - 5 баллов  
 Найдена сила трения - 5 баллов

3. (30 баллов) Шарик висит на идеальной нити, прикрепленной к кольцу, которое может скользить без трения по неподвижной горизонтальной спице. Массы шарика и кольца равны. После того, как шарик сообщили некоторую начальную скорость вдоль спицы (см. рисунок), максимальный угол отклонения нити от вертикали составил  $45^\circ$ . Найти отношение ускорений шарика и кольца в момент максимального отклонения нити.



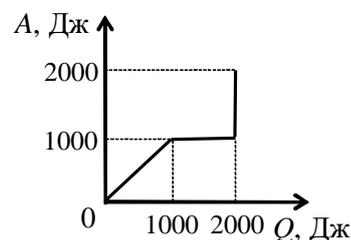
**Ответ:** Ускорение шарика в  $\sqrt{5}$  раз больше ускорения кольца.

**Решение:** Ускорение шарика можно представить в виде векторной суммы ускорения кольца и ускорения шарика относительно кольца. Поскольку ускорение кольца горизонтально, то вертикальное ускорение шарика одинаково и относительно кольца, и в неподвижной системе отсчета. В неподвижной системе отсче-

та ускорение кольца и горизонтальное ускорение шарика всегда равны по величине и противоположны по направлению (в силу сохранения импульса системы в направлении вдоль спицы). Отсюда следует, что горизонтальная компонента относительного ускорения шарика всегда вдвое больше ускорения кольца. В положении максимального отклонения нити ускорение шарика относительно кольца направлено перпендикулярно нити (является тангенциальным). Поскольку при этом нить отклонена на  $45^\circ$ , горизонтальная и вертикальная проекции относительного ускорения шарика равны между собой и равны удвоенному ускорению кольца. Таким образом, в неподвижной системе отсчета в положении максимального отклонения нити горизонтальное ускорение шарика равно ускорению кольца, вертикальное – вдвое больше, а модуль ускорения в  $\sqrt{5}$  раз превышает ускорение кольца.

**Разбалловка:** Понято, что относительное ускорение шарика направлено перпендикулярно нити – 10 баллов  
 Понято, что горизонтальная компонента ускорения шарика относительно земли равна ускорению кольца – 5 баллов  
 Показано, что вертикальная компонента ускорения шарика относительно земли вдвое больше его горизонтальной компоненты – 10 баллов  
 Найдено искомое отношение – 5 баллов

4. (20 баллов) В ходе некоторого процесса, проведенного с одним молем одноатомного идеального газа, совершенная газом работа и полученное газом тепло изменялись так, как показано на рисунке. Считая, что температура газа в начале процесса равнялась 300 К, найти максимальную температуру газа в ходе процесса (10 баллов) и изменение внутренней энергии газа в результате процесса (10 баллов).



**Ответ:** Максимальная температура газа равна  $300 + 2000/(3R)$  К, где  $R \approx 8,31$  Дж/К·моль – универсальная газовая постоянная, т.е. примерно 380 К. Изменение внутренней энергии равно нулю.

**Решение:** На первом участке процесса работа газа равна полученному теплу, поэтому данный участок соответствует изотерме, и температура газа остается равной 300 К. На втором участке газ не совершает работы, и подводимое тепло идет на увеличение внутренней энергии газа, При этом температура газа возрастает на величину  $2000/(3R)$  К. На последнем участке тепло не подводится (адиабатический процесс), и газ совершает работу за счет убыли его внутренней энергии. Температура газа на этом участке уменьшается. Таким образом, температура газа максимальна в конце второго участка и равна  $300 + 2000/(3R) \approx 380$  К. Поскольку полная совершенная газом работа равна полному полученному газом теплу, изменение внутренней энергии в результате всего процесса равно нулю.

**Разбалловка:** Найдено приращение температуры на втором участке процесса – 5 баллов  
 Найдена максимальная температура – 5 баллов  
 Показано, что внутренняя энергия в результате процесса не изменилась – 10 баллов