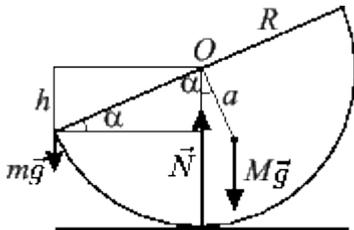


ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ  
(МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП)  
возрастная группа (11 класс)

**ЗАДАНИЕ 1.**

На горизонтальном столе стоит стеклянная чаша, имеющая форму тонкостенной полусферы массой  $M=200$  г. и радиусом  $R=20$  см. На какую высоту опустится край чаши, если к нему прилипнет кусочек теста массой 10 г.? Центр тяжести полусферы расположен на расстоянии половины радиуса от ее центра.

**Решение.**



Под действием веса кусочка теста сфера займет наклонное положение, изображенное на рисунке, где через  $\vec{N}$  обозначена сила реакции опоры стола. Уравнение моментов, записанное относительно оси, перпендикулярной плоскости рисунка и проходящей через точку касания полусферы и стола, имеет вид:

$$M \cdot g \cdot a \cdot \sin \alpha = m \cdot g \cdot R \cdot \cos \alpha$$

где  $\alpha$  — угол, на который отклонится полусфера. Отсюда

$$\tan \alpha = \frac{m \cdot R}{M \cdot a} = 2 \cdot \frac{m}{M}$$

Из рисунка видно, что искомая величина

$$h = R \cdot \sin \alpha$$

$$h = \frac{R \cdot \tan \alpha}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}} = \frac{R}{\sqrt{1 + \left(\frac{M}{2 \cdot m}\right)^2}}$$

Ответ: 0,02 м.

### **Критерии оценивания**

Правильно сделан рисунок с указанием всех сил.	2 балла
Правильно записано уравнение моментов относительно любой точки	2 балла
Правильно определен тангенс угла наклона	2 балл
Правильно определена высота, на которую опустится край чаши	2 балл
Получен верный результат	2 балла
Всего	10 баллов

### **ЗАДАНИЕ 2.**

Искусственный спутник Земли, имеющий форму шара радиусом 0,5 метра, движется по круговой орбите со скоростью 7,9 км/с. Давление воздуха на орбите спутника 0,9 Па, температура 270 К. Полагая, что скорость теплового движения молекул воздуха пренебрежимо мала по сравнению со скоростью спутника, найдите среднее число столкновений молекул со спутником за секунду.

### **Решение.**

Поскольку по условию скорость теплового движения молекул воздуха пренебрежимо мала по сравнению со скоростью спутника, для решения задачи можно воспользоваться следующей моделью: летящий со скоростью  $v$  спутник сталкивается с практически неподвижными молекулами. Следовательно, за малое время  $t$  спутник столкнется с молекулами, находящимися в воображаемом цилиндре сечением  $S = \pi \cdot R^2$  и длиной  $v \cdot t$ . Число таких молекул  $N = S \cdot v \cdot t \cdot n$ , где  $n$  - их концентрация. Считая, что разреженный воздух на высоте орбиты спутника подчиняется уравнению состояния идеального газа  $p = n \cdot k \cdot T$ , находим, что

$$n = \frac{p}{k \cdot T}$$

Учитывая, что искомая величина

$$z = \frac{N}{t}$$

получаем

$$z = \pi \cdot R^2 \cdot v \cdot \frac{p}{k \cdot T} = \pi \cdot 0,5^2 \cdot 7900 \cdot \frac{0,9}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 270} = 1,5 \cdot 10^{24} \text{с}^{-1}$$

Ответ:  $1,5 \cdot 10^{24} \text{с}^{-1}$

### **Критерии оценивания**

Правильно определена модель движения спутника.	2 балла
Правильно определена площадь цилиндра и его длина.	2 балла
Правильно определено число молекул	2 балл
Правильно определена концентрация молекул	2 балл
Получен верный результат	2 балла
Всего	10 баллов

### **ЗАДАНИЕ 3.**

Атмосфера некоторой сферической планеты состоит по массе на  $\frac{3}{4}$  из азота и на  $\frac{1}{4}$  из метана. Атмосферное давление вблизи поверхности планеты равно  $1,6 \cdot 10^5$  Па, ускорение свободного падения  $1,4 \text{ м/с}^2$ . При глобальном похолодании на планете образовался метановый океан, и у поверхности этого океана давление метана стало составлять 50% от давления его насыщенных паров. Пренебрегая вращением планеты, найдите глубину океана, если плотность жидкого метана равна  $430 \text{ кг/м}^3$ , а давление его насыщенных паров при данной температуре равно  $40 \text{ кПа}$ . Высота атмосферы и глубины океана намного меньше радиуса планеты.

#### **Решение.**

Атмосферное давление вблизи поверхности сферической планеты и в отсутствие океана, и при его наличии определяется полной массой атмосферы. Поэтому после образования океана давление у его поверхности равно

$$p_1 = p_0 - \rho \cdot g \cdot h$$

$h$  - где искомая глубина океана. С другой стороны, это давление складывается из давления  $(\frac{3}{4}) \cdot p_0$ , которое оказывает оставшийся в атмосфере азот, и из давления  $r \cdot p_H$  паров оставшегося в атмосфере метана:

$$p_1 = \frac{3}{4} p_0 + r \cdot p_H$$

Отсюда для глубины океана получаем:

$$h = \frac{1}{\rho \cdot g} \cdot \left( \frac{p_0}{4} - r \cdot p_H \right) \approx 33 \text{ м}$$

Отметим, что решение задачи существует при

$$r < \frac{p_0}{4 \cdot p_H}$$

Для того чтобы решить эту задачу, нужно понимать, что давление на участок поверхности планеты зависит только от веса столба вещества, находящегося над этим участком, причем неважно, в каком состоянии - жидком или газообразном - находится вещество.

Ответ:  $h = 33 \text{ м}$

### **Критерии оценивания**

Правильно определено давление у поверхности планеты при наличии океана.	4 балла
Правильно определено давление у поверхности, исходя из состава.	4 балла
Правильно получена формула для расчета глубины и правильно посчитана.	2 балл
Всего	10 баллов

### **ЗАДАНИЕ 4.**

Миномет установлен на расстоянии 8000 м от вертикального обрыва высотой 105 м. Как близко к основанию обрыва могут «подобраться» мины, если их начальная скорость 300 м/с?

**Решение.**

$$L = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{g} \text{ - пролёт возле края}$$

$$\sin 2\alpha = \frac{L \cdot g}{v^2}$$

Очевидно, чем больше будет угол, под которым выпущена мина, тем ближе она упадет к основанию обрыва, поэтому в интересующем нас случае следует выбрать больший из углов, т.е.

$$\alpha \approx 63^\circ$$

Зная угол, можно найти время всего полета:

$$g \cdot \frac{t^2}{2} + v \cdot \sin(\alpha) \cdot t - h = 0$$

Это квадратное уравнение, откуда получается два значения  $t$ , но одно отрицательное.

$$t = 0,39 \text{ с.}$$

Зная время, найдем расстояние от миномета до точки, куда попала мина, относительно оси ОХ.

$$X = v \cdot \cos(\alpha) \cdot t$$

Ответ: 53 м.

### ***Критерии оценивания***

Правильно определено расстояние до края обрыва.	2 балла
Правильно выбран угол подлета.	4 балла
Правильно получено время полета за краем обрыва.	2 балл
Правильно найдено расстояние до точки падения от края обрыва	2 балла
Всего	10 баллов

### **ЗАДАНИЕ 5.**

Бусинка массой  $m = 30$  мг с положительным зарядом  $q = 2$  мКл может скользить вдоль закрепленной длинной спицы (рис.1). Бусинка со спицей находятся в однородное магнитное поле с индукцией  $B = 3$  Тл. Угол между вектором индукции и спицей равен  $\alpha = 90^\circ$ . Бусинке сообщают скорость  $v_0 = 1$  м/с. Коэффициент трения между бусинкой и спицей равен  $\mu = 0,1$ . Действие силы тяжести не учитывать. Найдите расстояние  $s$ , которое проедет бусинка вдоль спицы.

### Решение.

Выберем инерциальную систему отсчёта связанную со спицей, ось X направим вдоль спицы. Пусть бусинка находится в начале координат. Укажем силы, действующие на бусинку силы (рис. 1):

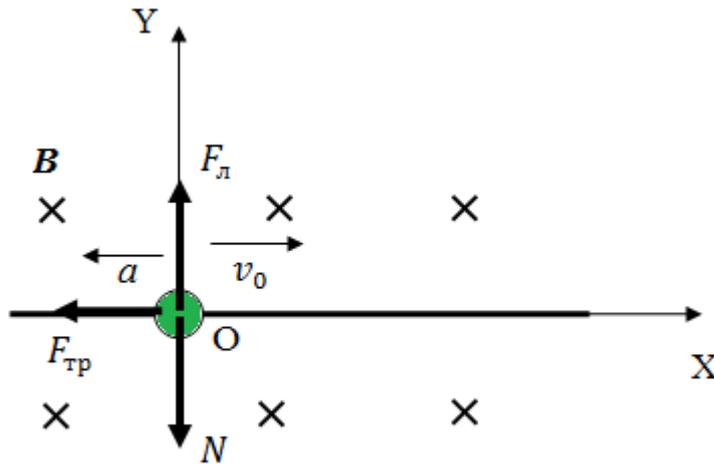


Рис. 1

$\vec{F}_L$  – сила Лоренца,  $\vec{N}$  – сила реакции опоры (бусинки), которая возникает вследствие третьего закона Ньютона и по модулю равна силе Лоренца, и  $\vec{F}_{\text{тр}}$  – сила трения. По второму закону Ньютона:  $m\vec{a} = \vec{F}_L + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}}$

$$\text{на ось OX: } ma = F_{\text{тр}}, \quad (1)$$

$$\text{на ось OY: } N = F_L, F_L = qvB \sin \alpha, \text{ тогда } N = qvB \sin \alpha. \quad (2)$$

$F_{\text{тр}} = \mu N$ , с учётом (2) и то, что сила трения всегда направлена против скорости движения, получим  $F_{\text{тр}} = -\mu qvB \sin \alpha. \quad (3)$

Важно отметить, т.к. сила трения в нашем случае зависит от скорости движения, то движение бусинки является не равноускоренным, ускорение будет меняться по величине.

$$\text{Уравнение (1) примет вид } ma == -\mu qvB \sin \alpha. \quad (4)$$

По определению  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v-v_0}{\Delta t}$ , когда бусинка остановиться  $v = 0$  и  $a = -\frac{v_0}{\Delta t}. \quad (5)$

$$\text{По определению } v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x-x_0}{\Delta t} = \frac{s}{\Delta t}. \quad (6)$$

Подставив (5) и (6) в уравнение (4) найдём путь, который пройдет бусинка за время  $\Delta t$ :  $s = \frac{mv_0}{\mu qvB \sin \alpha}$ . (7) Подставив в (7) числовые значения, данные по условию задачи, получим ответ  $s = 0,05$  м.

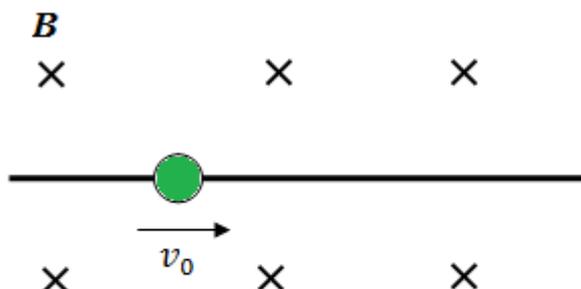


Рис. 1

Ответ:  $s = 0,05$  м.

### Критерии оценивания

1) Сделан правильный рисунок с указанием всех сил, действующих на бусинку	1 балла
2) Обоснованно получены уравнения (1) и (2)	2 балла
3) Обоснованно получено уравнения (3)	2 балла
4) Обоснованно получено уравнение (4)	1 балл
5) Обоснованно получены уравнения (5) и (6)	2 балла
6) Получена формула(7) и получен правильный ответ: 0,05 м или 5 см.	2 балла
Всего	10 баллов