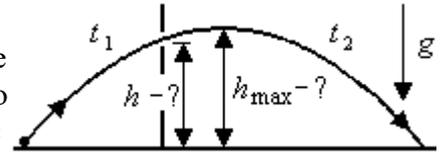


### Задание для 10-ого класса

#### 1. Бросок в дырку

**1. Бросок в дырку.** Брошенный камешек пролетел через дырку в высоком заборе, не задев ее. На какой высоте  $h$  от поверхности земли находилась дырка, если от земли до нее время полета составляло  $t_1 = 1$  с, а от нее до земли -  $t_2 = 3$  с. Считайте, что бросок делается прямо с поверхности земли, сопротивлением воздуха можно пренебречь, ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



*Решение:*

Так как траектория движения обратима, то при броске камешка назад по прежней траектории он будет двигаться до забора в течение времени  $t_2$ . Тогда из рассмотрения движения камешка по вертикали при броске в одном и другом направлениях следует:

$$h = V_{0y}t_1 - gt_1^2/2,$$

$$h = V_{0y}t_2 - gt_2^2/2,$$

где  $V_{0y}$  - вертикальная компонента начальной скорости броска камешка. Решением системы этих двух уравнений является

$$V_{0y} = g(t_1 + t_2)/2,$$

$$h = gt_1t_2/2 = 15 \text{ м.}$$

Еще из рассмотрения движения камешка по вертикали с учетом того, что в верхней точке траектории вертикальная компонента его скорости равна нулю, следует

$$h_{\max} = V_{0y}^2/(2g) = [g(t_1 + t_2)/2]^2/(2g) = g(t_1 + t_2)/8 = 20 \text{ м.}$$

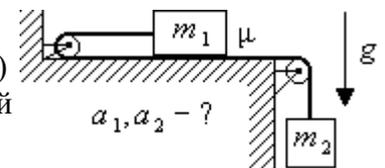
*Ответ:*  $h = gt_1t_2/2 = 15$  м;  $h_{\max} = g(t_1 + t_2)/8 = 20$  м.

*Критерии оценивания:*

Шаги выполнения задания	Число баллов
Первое уравнение	1
Второе уравнение	2
Решение системы уравнений и ответ для $h$	4
Выражение и ответ для $h_{\max}$	3
<b>Сумма баллов:</b>	<b>10</b>

#### 2. Грузы на ленте

**2. Грузы на ленте.** Грузы массой  $m_1$  и  $m_2$  соединены между собой плоской легкой лентой перекинутой через валики (блоки) так, что второй груз висит на ленте, а первый - находится на ней на горизонтальном столе. Найдите ускорения тел  $a_1$  и  $a_2$ , если коэффициент трения между лентой и первым грузом  $\mu$ , трением между столом и лентой можно пренебречь, ускорение свободного падения  $g$ .



*Решение:*

При движении грузов из-за их равного перемещения величины их ускорений одинаковы  $a = a_1 = a_2$ . Поэтому движение системы "груз-лента-груз" можно выстроить вдоль одной прямой. При этом в направлении их движения на всю систему действует равнодействующая сила

$$F = (m_2 - 2\mu m_1)g.$$

Здесь учтено, что на груз  $m_1$  и на ленту противоположно направлению движения действует сила трения  $\mu m_1 g$  и появляется "2". Отсюда получаем

**Второй (муниципальный) этап Всероссийской олимпиады школьников по физике  
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра  
2020-2021 учебный год**

$$a = a_1 = a_2 = F/(m_1 + m_2) = g(m_2 - 2\mu m_1)/(m_1 + m_2).$$

Такое решение справедливо при  $m_2 > 2\mu m_1$ , когда сила тяжести второго груза больше сил трения. Иначе  $a_1 = a_2 = 0$ .

Ответ:  $a_1 = a_2 = g(m_2 - 2\mu m_1)/(m_1 + m_2)$  для  $m_2 > 2\mu m_1$ ;  $a = 0$  для  $m_2 < 2\mu m_1$ .

*Критерии оценивания:*

Шаги выполнения задания	Число баллов
Равенство ускорений тел	1
Правильная расстановка сил. Можно сразу выражение $F = (m_2 - 2\mu m_1)g$	3
Второй закон Ньютона для всех тел. Можно сразу в виде $a = F/(m_1 + m_2) = g(m_2 - 2\mu m_1)/(m_1 + m_2)$	4
Ответ	2
<b>Сумма баллов:</b>	<b>10</b>

### 3. Бусинки на струне

**3. Бусинки на струне.** На горизонтально натянутой струне длиной  $L = 100$  см движутся без трения две одинаковые бусинки, сталкиваясь абсолютно упруго между собой и со стенками. При этом провисанием струны можно пренебречь. Оказалось, что в некоторый момент времени бусинки одновременно отразились от стенок и стали двигаться навстречу друг другу со скоростями  $V_1 = 30$  см/с и  $V_2 = 70$  см/с.

- а) Какими будут скорости бусинок  $V'_1$  и  $V'_2$  после их первого столкновения после этого момента?
- б) Каково расстояние  $\Delta x_{12}$  между точками первого и второго столкновений бусинок между собой?

*Решение:*

а) При первом абсолютно упругом столкновении бусинок массой  $m$  можем записать законы сохранения импульса и энергии

$$mV_1 - mV_2 = -mV'_1 + mV'_2,$$

$$mV_1^2/2 + mV_2^2/2 = mV'^2_1/2 + mV'^2_2/2.$$

Остается решить эту систему двух уравнений. Но, так как это решение очень простое, то его можно просто угадать:

$$V'_1 = V_2 = 70 \text{ см/с},$$

$$V'_2 = V_1 = 30 \text{ см/с}.$$

То есть медленная бусинка, движущаяся вправо со старостью  $V_1$ , после столкновения станет быстрой и начнет двигаться влево со скоростью  $V'_1 = V_2$ . Аналогично быстрая бусинка, движущейся влево со скоростью  $V_2$ , после столкновения станет медленной и начнет двигаться вправо со скоростью  $V'_2 = V_1$ . Интересно отметить, что бусинки при столкновении отскакивают назад, обмениваясь своими скоростями.

б) Так как скорость сближения бусинок  $V_{сб} = V_1 + V_2$ , то время их движения до первого столкновения

$$t_1 = L/V_{сб} = L/(V_1 + V_2),$$

и их первое столкновение происходит на следующем расстоянии от левой стенки:

$$x_1 = V_1 t_1 = LV_1/(V_1 + V_2) = 30 \text{ см}.$$

После первого столкновения бусинок левая из них будет двигаться в сторону левой стенки со скоростью  $V_2$ , отразится от левой стенки и на некотором расстоянии  $x_2$  от левой стенки догонит правую бусинку, движущуюся вправо со скоростью  $V_1$ . Приравнявая времена движения бусинок от первого до второго столкновений, находим:

$$t_{1-2} = (x_1 + x_2)/V_2 = (x_2 - x_1)/V_1,$$

$$x_2 = x_1(V_1 + V_2)/(V_2 - V_1) = 75 \text{ см},$$

**Второй (муниципальный) этап Всероссийской олимпиады школьников по физике  
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра  
2020-2021 учебный год**

$$\Delta x_{12} = x_2 - x_1 = 2x_1 V_1 / (V_2 - V_1) = 2LV_1^2 / (V_2^2 - V_1^2) = 45 \text{ см.}$$

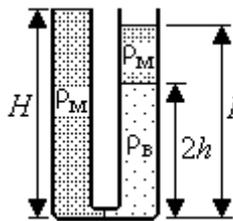
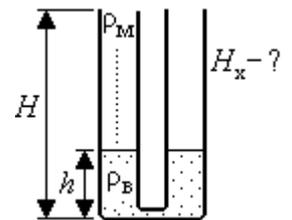
Ответ: а)  $V_1 = V_2 = 70 \text{ см/с}$ ,  $V_2 = V_1 = 30 \text{ см/с}$ ; б)  $\Delta x_{12} = 2LV_1^2 / (V_2^2 - V_1^2) = 45 \text{ см.}$

*Критерии оценивания:*

Шаги выполнения задания	Число баллов
Законы сохранения импульса и энергии	3
Получение скоростей после отражения	2
Получение $x_1$	1
Получение $x_2$	3
Получение $\Delta x_{12}$	1
<b>Сумма баллов:</b>	<b>10</b>

#### 4. Вода и масло в трубке

**4. Вода и масло в трубке.** В вертикальную U-образную трубку высотой  $H = 15 \text{ см}$  сначала до высоты  $h = 4,5 \text{ см}$  от дна налили воду. Затем в одно колено стали до самого верха подливать масло. На какой высоте  $H_x$  от дна трубки установится верхний уровень жидкости в другом колене? Плотность воды  $\rho_B = 1 \text{ г/см}^3$ , масла  $\rho_M = 0,9 \text{ г/см}^3$ . Считайте, что масло и вода не перемешиваются, объемом нижней, соединительной, части трубки можно пренебречь.



*Решение:*

По мере добавления масла, например, в левое колено трубки вода из него будет частично выдавливаться в правое колено и полностью выдавится при некоторой высоте  $h_1$  столбика масла, когда высота столбика воды в правом колене будет равна  $2h$ . Из равенства давлений в жидкости по обе стороны соединительной части трубки можно убедиться, что вода полностью выдавится тогда, когда масло в левое колено налито еще не до самого верха:

$$\rho_M g h_1 = \rho_B g (2h),$$

$$h_1 = 2h \rho_B / \rho_M = 10 \text{ см} < H = 15 \text{ см},$$

где  $g$  - ускорение свободного падения.

При дальнейшем добавлении масла в левое колено масло, выдавливая воду, будет частично поступать в правое колено и из-за его меньшей плотности, чем у воды, начнет в правом колене всплывать над водой. При этом вода будет по-прежнему оставаться внизу правого колена и иметь высоту столбика  $2h$ . Момент полного заполнения маслом левого колена трубки показан на рисунке, где в правом колене кроме воды отмечена часть всплывшего масла. С учетом этого из условия равенства давлений в жидкости по обе стороны соединительной части трубки получаем:

$$\rho_M g H = \rho_B g (2h) + \rho_M g (H_x - 2h),$$

$$H_x = H - 2h(\rho_B - \rho_M) / \rho_M = 14 \text{ см.}$$

Ответ:  $H_x = H - 2h(\rho_B - \rho_M) / \rho_M = 14 \text{ см.}$

*Критерии оценивания:*

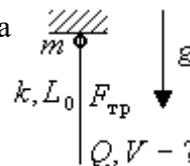
Шаги выполнения задания	Число баллов
Мысль и объяснение, что при заполнении левого колена масло из него частично выдавливается в правое	2
Мысль и объяснение, что в правом колене вода будет внизу и иметь высоту столбика $2h$	2
Запись уравнения вида $\rho_M g H = \rho_B g (2h) + \rho_M g (H_x - 2h)$	4

**Второй (муниципальный) этап Всероссийской олимпиады школьников по физике  
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра  
2020-2021 учебный год**

Его решение и ответ	2
<b>Сумма баллов:</b>	<b>10</b>

### 5. Бусинка на резиновом шнуре

**5. Бусинка на резиновом шнуре.** Тяжелая бусинка массой  $m$  натянута на легкий резиновый шнур, который прикреплен к потолку, и удерживается в самой верхней его точке. После отпускания бусинка без начальной скорости начинает скользить вниз по шнуру. Какое общее количество теплоты  $Q$  передается шнуру и бусинке при ее скольжении, если при этом на бусинку действует постоянная сила трения  $F_{\text{тр}}$ , длина нерастянутого шнура  $L_0$ , его коэффициент упругости  $k$ , ускорение свободного падения  $g$ ?



*Решение:*

Поскольку бусинка действует на шнур через силу трения, то в соответствии с законом Гука шнур в нижнем положении бусинки будет растянут на  $\Delta L = F_{\text{тр}}/k$ .

На всей растянутой длине шнура  $L_0 + \Delta L$ , по которой и "проедет" бусинка, работа силы трения, которая перейдет в теплоту, равна

$$Q = F_{\text{тр}}(L_0 + \Delta L) = F_{\text{тр}}(kL_0 + F_{\text{тр}})/k.$$

С учетом действующих на бусинку сил тяжести  $mg$  и трения  $F_{\text{тр}}$  ее ускорение при соскальзывании в соответствии со вторым законом Ньютона равно

$$a = (mg - F_{\text{тр}})/m$$

и из кинематики равноускоренного движения ее скорость на конце шнура дается формулой

$$V = [2a(L_0 + \Delta L)]^{1/2} = [2(mg - F_{\text{тр}})(kL_0 + F_{\text{тр}})/(km)]^{1/2}.$$

*Критерии оценивания:*

Шаги выполнения задания	Число баллов
Уравнение $\Delta L = F_{\text{тр}}/k$	1
Уравнение $Q = F_{\text{тр}}(L_0 + \Delta L) = F_{\text{тр}}(kL_0 + F_{\text{тр}})/k$	4
Получение ускорения $a = (mg - F_{\text{тр}})/m$	2
Кинематическая формула $V = [2a(L_0 + \Delta L)]^{1/2} = [2(mg - F_{\text{тр}})(kL_0 + F_{\text{тр}})/(km)]^{1/2}$	3
<b>Сумма баллов:</b>	<b>10</b>