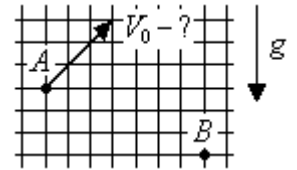


**Второй (муниципальный) этап Всероссийской олимпиады школьников по физике  
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра  
2021-2022 учебный год**

**Физика. 11 класс**

**1. Бросок.** С какой скоростью  $V_0$  бросили тело из точки  $A$ , если оно попало в точку  $B$ ? На рисунке показано направление скорости в точке  $A$ , вертикальная масштабная сетка имеет квадратные ячейки со стороной 1 м, ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ , сопротивлением воздуха можно пренебречь.



*Решение:*

*Первый способ решения:*

Выберем систему координат так, что ее начало находится в точке  $A$ , ось  $OY$  направлена вверх, а ось  $OX$  - вправо.

Из рисунка следует, что проекции начальной скорости на выбранные оси равны

$$V_{0x} = V_{0y}.$$

Для краткости их обозначим через величину  $V$  и будем ее находить, так как через эту величину выражается необходимый модуль начальной скорости

$$V_0 = (V_{0x}^2 + V_{0y}^2)^{1/2} = (V^2 + V^2)^{1/2} = (2V^2)^{1/2}.$$

Проекция перемещения тела при его движении из точки  $A$  в точку  $B$  за время  $t$  равны

$$x = V_{0x}t = Vt = 7 \text{ м},$$

$$y = V_{0y}t - gt^2/2 = Vt - 10t^2/2 = -3 \text{ м}.$$

При этом мы сразу подставили известные числовые значения проекций перемещения из рисунка и ускорения свободного падения. Остается решить систему последних двух уравнений. Для этого из первого ее уравнения выразим  $t = 7/V$  и после подстановки во второе получаем:

$$V(7/V) - 10(7/V)^2/2 = -3,$$

$$10 = 10(7/V)^2/2,$$

$$2V^2 = 49.$$

Окончательно подставляем последнее выражение в формулу для  $V_0$  и получаем

$$V_0 = (2V^2)^{1/2} = (49)^{1/2} = 7 \text{ м/с}.$$

*Второй способ решения:*

Решение можно получить более компактно из уравнения траектории движения (но при этом его надо знать):

$$y = x \operatorname{tg} \alpha - gx^2/(2V_0^2 \cos^2 \alpha),$$

$$V_0 = gx^2/[2 \cos^2 \alpha (x \operatorname{tg} \alpha - y)] = 7 \text{ м/с},$$

где при подстановке числовых значений учтено:

$$x = 7 \text{ м}, y = -3 \text{ м}, \alpha = 45^\circ.$$

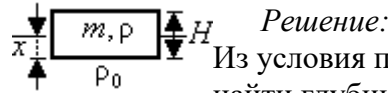
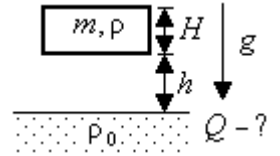
*Ответ:*  $V_0 = 7 \text{ м/с}$ .

**Критерии оценивания:**

Шаги выполнения задания	Число баллов
Считывание данных из рисунка	2
Выражение модуля скорости через проекции	2
Уравнения движения по координатам	4
Их решение и ответ	2
<b>Сумма баллов:</b>	<b>10</b>

**Второй (муниципальный) этап Всероссийской олимпиады школьников по физике  
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра  
2021-2022 учебный год**

**2. Падение бруска в воду.** Плоский деревянный брусок массой  $m$  и толщиной  $H$  удерживают в горизонтальном положении на высоте  $h$  над поверхностью воды. Брусок отпускают, он падает в воду, погружается, всплывает, создает много брызг и волн. Какое количество тепловой энергии  $Q$  выделится в системе после того, как все успокоится, и брусок будет плавать в горизонтальном положении? Считайте, что вода никуда не выливается, плотность материала бруска  $\rho$ , воды  $\rho_0$ , ускорение свободного падения  $g$ .



**Решение:** Из условия плавания бруска (масса вытесненной воды равна его массе) можем найти глубину  $x$  его погружения:

$$m_0 = m,$$

$$\rho_0 Sx = \rho SH,$$

$$x = \rho H / \rho_0,$$

где  $S$  - площадь основания бруска.

В соответствии с законом сохранения энергии количество выделенной теплоты  $Q$  равно разности уменьшения потенциальной энергии бруска массой  $m$  из-за его опускания на  $h + x$  и увеличения потенциальной энергии вытесненной им воды такой же массы  $m_0 = m$  из-за ее подъема с глубины  $x/2$  (ее центра масс) на поверхность:

$$Q = \Delta E_{\text{пот}} = mg(h + x) - m_0(x/2) =$$

$$= mg(h + \rho H / \rho_0) - mg[(\rho H / \rho_0) / 2] =$$

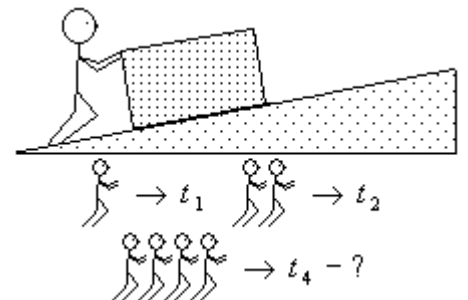
$$= mg[h + H\rho / (2\rho_0)].$$

**Ответ:**  $Q = mg[h + H\rho / (2\rho_0)].$

**Критерии оценивания:**

Шаги выполнения задания	Число баллов
Отыскание погружения в равновесии	3
Закон сохранения энергии с учетом изменения потенциальной энергии бруска и воды (если не учитывается потенциальная энергия воды, то давать 2 балла)	6
Решение уравнения и ответ	1
<b>Сумма баллов:</b>	<b>10</b>

**3. Подъем льдины по склону.** Гномы стали проводить опыты по подъему льдины по плоскому ледяному склону. Для этого они стали толкать льдину вверх вдоль склона по прямой дистанции (не наискосок), разгоняя ее из состояния покоя. Оказалось, что один гном, толкая льдину, может поднять ее на некоторую высоту за время  $t_1 = 30$  с. Два гнома, толкая эту льдину уже вместе, могут поднять ее на такую же высоту за время  $t_2 = 10$  с. За какое время  $t_4$  на такую же высоту смогут поднять льдину четыре гнома, также толкая ее вместе? Предполагается, что каждый гном действует на льдину с одинаковой силой, направленной вверх вдоль склона, и льдина при этом не крутится. Должен быть получен не приближенный, а точный ответ.



**Решение:**

Пусть  $F$  - сила действия одного гнома,  $F_{\text{сопр}}$  - действующая на льдину сила сопротивления (учитывает силу трения и проекцию силы тяжести на направление склона),  $m$  - масса льдины,  $L$  - длина дистанции вдоль склона при подъеме на рассматриваемую высоту. Тогда в случае одного гнома по второму закону Ньютона ускорение льдины вдоль склона равно

**Второй (муниципальный) этап Всероссийской олимпиады школьников по физике  
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра  
2021-2022 учебный год**

$$a_1 = (F - F_{\text{тр}})/m.$$

С другой стороны это ускорение можем выразить из кинематики равноускоренного движения:

$$a_1 t_1^2 / 2 = L,$$

$$a_1 = 2L/t_1^2.$$

С учетом последнего выражения для  $a_1$  первое уравнение можем переписать в следующем виде:

$$F - F_{\text{тр}} = 2Lm/t_1^2.$$

В случае двух гномов после замены  $F$  на  $2F$  и  $t_1$  на  $t_2$  последнее уравнение можем переписать в следующем виде:

$$2F - F_{\text{тр}} = 2Lm/t_2^2.$$

Это же уравнение в случае четырех гномов после замены  $F$  на  $4F$  и  $t_1$  на  $t_4$  можем переписать в таком виде:

$$4F - F_{\text{тр}} = 2Lm/t_4^2.$$

Собственно говоря, на этом физика закончилась. Осталось решить систему последних трех уравнений и найти  $t_4$ , исключив  $F$  и  $F_{\text{тр}}$  и сократив  $L$  и  $m$ . Это можно сделать разными способами, например, стандартным методом последовательного исключения.

Мы приведем одно из решений этой системы уравнений. Для этого в ней первое уравнение умножим на  $-2$ , второе уравнение - на  $3$ , а третье уравнение - на  $-1$  и сложим после этого все три полученные уравнения. После этого  $F$  и  $F_{\text{тр}}$  сокращаются и получается одно следующее уравнение:

$$-4Lm/t_1^2 + 6Lm/t_2^2 - 2Lm/t_4^2 = 0.$$

Остается из последнего уравнения после преобразования найти  $t_4$ :

$$1/t_4^2 = 3/t_2^2 - 2/t_1^2,$$

$$t_3^2 = 1/(3/t_2^2 - 2/t_1^2) = t_1^2 t_2^2 / (3t_1^2 - 2t_2^2),$$

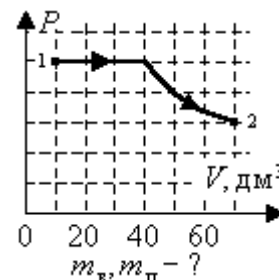
$$t_3 = t_1 t_2 / (3t_1^2 - 2t_2^2) = 10 \text{ с.}$$

$$\text{Ответ: } t_3 = t_1 t_2 / (3t_1^2 - 2t_2^2) = 6 \text{ с.}$$

**Критерии оценивания:**

Шаги выполнения задания	Число баллов
Запись необходимого второго закона Ньютона	2
Запись уравнения кинематики	1
Получение уравнения, связывающего силы и время	2
Распространение последнего уравнения на второй случай	2
Его же на третий случай	2
Решение уравнений и ответ	1
<b>Сумма баллов:</b>	<b>10</b>

**4. Вода и пар.** В цилиндрическом сосуде под поршнем находится вода со своим паром. Температура равна  $T = 373 \text{ К}$  и поддерживается постоянной. Поршень медленно перемещают, увеличивая занимаемый паром объем, из состояния 1 в состояние 2 так, как показано на  $PV$ -диаграмме. Найдите массу воды  $m_v$  и пара  $m_n$  в сосуде в начальном состоянии 1. Объемом, занимаемым водой, можно пренебречь, давление насыщенных паров при этой температуре  $P_n = 101 \text{ кПа}$ , молярная масса воды  $\mu = 0,018 \text{ кг/моль}$ , универсальная газовая постоянная  $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ .



*Решение:*

**Второй (муниципальный) этап Всероссийской олимпиады школьников по физике  
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра  
2021-2022 учебный год**

По графику при  $V_3 = 40 \text{ дм}^3$  вся вода испаряется и находится в состоянии пара массой  $m = \mu P_n V_3 / (RT)$ .

В начальном состоянии 1 объем пара в 4 раза меньше, чем при объеме  $V_3 = 40 \text{ дм}^3$ . Поэтому  $m_{\text{п}} = m/4 = \mu P_n V_3 / (4RT) = 6,4 \text{ г}$ ,

$m_{\text{в}} = m - m/4 = 3m/4 = 3\mu P_n V_3 / (4RT) = 19,2 \text{ г}$ .

*Ответ:*  $m_{\text{п}} = \mu P_n V_3 / (4RT) = 6,4 \text{ г}$ ;  $m_{\text{в}} = 3\mu P_n V_3 / (4RT) = 19,2 \text{ г}$ , где  $V_3 = 40 \text{ дм}^3$ .

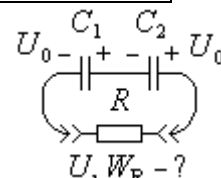
**Критерии оценивания:**

Шаги выполнения задания	Число баллов
За то, что при $V_3 = 40 \text{ дм}^3$ вся вода испаряется и находится в состоянии пара	2
За то, что начальном состоянии 1 объем пара в 4 раза меньше	1
За 1-ое уравнение	2
За 2-ое уравнение	2
За 3-е уравнение	3
<b>Сумма баллов:</b>	<b>10</b>

5. Два конденсатора емкостью  $C_1 = 10 \text{ мкФ}$  и  $C_2 = 40 \text{ мкФ}$  зарядили до напряжения  $U_0 = 20 \text{ В}$  каждый и соединили между собой их пластины разной полярности, а другие пластины соединили между собой через резистор  $R$ .

а) Какое напряжение  $U$  установится на конденсаторах?

б) Какое количество теплоты  $W_R$  выделится на резисторе?



*Решение:*

После подключения резистора через некоторый промежуток времени протекание тока через него станет пренебрежимо малым. Поэтому напряжения на конденсаторах станут одинаковыми и, следовательно, конденсаторы будут соединены параллельно. Их емкость равна  $C_1 + C_2$ , а полный заряд на этих параллельно соединенных конденсаторах равен разности величин первоначальных зарядов конденсаторов:

$$q = C_2 U_0 - C_1 U_0.$$

Тогда напряжение на этих параллельно соединенных конденсаторах равно

$$U = q / (C_1 + C_2) = U_0 (C_2 - C_1) / (C_1 + C_2) = 12 \text{ В}.$$

Полная энергия этих конденсаторов равна

$$W = q^2 / [2(C_1 + C_2)] = (C_2 - C_1)^2 U_0^2 / [2(C_1 + C_2)].$$

Еще учтем, что до подключения резистора первоначальная энергия конденсаторов равна

$$W_0 = C_1 U_0^2 / 2 + C_2 U_0^2 / 2.$$

Тогда в соответствии с законом сохранения энергии

$$W_R = W_0 - W = 2C_1 C_2 U_0^2 / (C_1 + C_2) = 6,4 \text{ мДж}.$$

*Ответ:* а)  $U = U_0 (C_2 - C_1) / (C_1 + C_2) = 12 \text{ В}$ ; б)  $W_R = 2C_1 C_2 U_0^2 / (C_1 + C_2) = 6,4 \text{ мДж}$ .

**Критерии оценивания:**

Шаги выполнения задания	Число баллов
За 1-ое уравнение	2
За 2-ое уравнение	2
За 3-е уравнение	2
За 4-ое уравнение	2
За 5-ое уравнение	2
<b>Сумма баллов:</b>	<b>10</b>

*Второй (муниципальный) этап Всероссийской олимпиады школьников по физике  
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра  
2021-2022 учебный год*