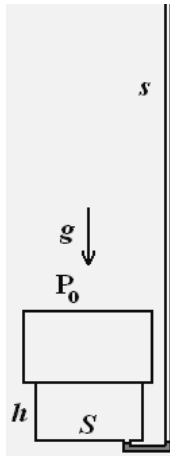


**Заключительный этап**  
**Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике**  
**13 марта 2016 г.**  
**Решения и критерии оценки**  
**11 класс**



1. Цилиндр высоты  $h = 0,1$  м и сечения  $S = 0,1$  м<sup>2</sup> герметично закрыт плитой массы  $M = 1$  т с центром масс на оси цилиндра. От цилиндра отходит высокая трубка сечения  $s = 1$  см<sup>2</sup>. Её горизонтальный участок заполнен водой, а весь объём цилиндра – воздухом. В трубку по стенке вливают воду. При какой массе налитой воды воздух начнёт выходить из цилиндра? Атмосферное давление  $P_0 = 10^5$  Па, температура неизменна, ускорение свободно-го падения  $g \cong 10$  м/с<sup>2</sup>, плотность воды  $\rho = 1$  г/см<sup>3</sup>.

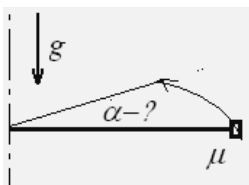
*Возможное решение*

При отрыве сила давления воздуха в цилиндре, действующая на плиту снизу,  $PS$  уравнивает силу давления атмосферного воздуха  $P_0S$  и силу тяжести:  $PS = Mg + P_0S$  <1>. Обозначим  $x$  высоту слоя жидкости в цилиндре при давлении воздуха в нём  $P$ . Исходно давление воздуха в цилиндре равно атмосферному, иначе горизонтальный столбик воды не был бы в равновесии <1>. При неизменной температуре произведение давления на объём постоянно и  $P_0Sh = PS(h - x) = (Mg + P_0S)(h - x)$  <1>. Отсюда  $x = Mgh/(Mg + P_0S)$  <1>. На уровне  $x$  давление воды в трубке равно давлению  $P$  воздуха в цилиндре <1>. С другой стороны оно равно атмосферному давлению плюс давление столбика воды высоты  $H$  над этим уровнем  $P = P_0 + \rho gH$  <1>. Откуда  $\rho gH = Mg/S$  и  $\rho H = M/S$  <1>. Полная масса налитой воды складывается из массы столба жидкости высоты  $x$  в цилиндре и в трубке и столбика высоты  $H$  в трубке  $m = \rho(x(S + s) + Hs)$  <1>. После подстановок имеем:  $m/M = \rho hg(S + s)/(Mg + P_0S) + s/S \cong 6 \cdot 10^{-3}$  и  $m = 6$  кг <1+1>.

*Разбалловка по этапам*

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Равновесие сил при отрыве	$PS = Mg + P_0S$	<b>1</b>
2	Равенство исходного давления $P_0$		<b>1</b>
3	Условие неизменности температуры	$P_0Sh = PS(h - x) = (Mg + P_0S)(h - x)$	<b>1</b>
4	Нахождение уровня воды в цилиндре	$x = Mgh/(Mg + P_0S)$	<b>1</b>
5	Равенство давления воды на уровне $x$ в трубке давлению воздуха внутри	$P = P_0 + \rho gH$	<b>1+</b> <b>1</b>
6	Следствие для $H$	$\rho gH = Mg/S$ и $\rho H = M/S$	<b>1</b>
7	Нахождение искомой массы воды	$m = \rho(x(S+s) + Hs)$ ; $m/M = \rho hg(S+s)/(Mg + P_0S) + s/S \cong 6 \cdot 10^{-3}$ и $m = 6$ кг	<b>1+</b> <b>2</b>

**Заключительный этап**  
**Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике**  
**13 марта 2016 г.**  
**Решения и критерии оценки**  
**11 класс**



2. На конец спицы надето небольшое кольцо, коэффициент трения его со спицей  $\mu$ . Спицу начинают вращать в горизонтальной плоскости, так что скорость конца с кольцом растёт пропорционально времени:  $v = at$ ,  $a$  задано. На какой угол повернётся спица к моменту срыва с неё кольца? Ускорение свободного падения  $g$ .

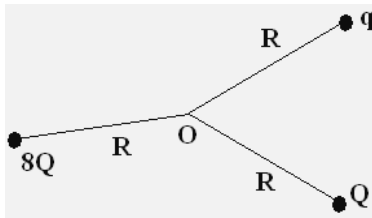
*Возможное решение*

Пусть проекция силы нормального давления на направление скорости  $N_x$ , из 2-го закона Ньютона для продольного ускорения имеем:  $N_x = ma$  <1>. По вертикали ускорение нулевое, поэтому проекция силы нормального давления на вертикаль уравнивает силу тяжести  $N_y = mg$  <1>. Центробежное ускорение  $v^2/R$  обеспечивает сила трения  $f = mv^2/R$  <2>. Условие срыва достижение силы трения максимального значения  $f_{\max} = \mu N$  <1>, где  $N^2 = N_x^2 + N_y^2$  <1>. Связь скорости с пройденным путём  $s = R\alpha$ , а значит и углом поворота, можно найти из кинематики или из равенства приращения кинетической энергии работе силы:  $v^2 = 2aR\alpha$  <2>. Окончательно  $\alpha = (\mu/2)\sqrt{(g/a)^2 + 1}$  <2>.

*Разбалловка по этапам*

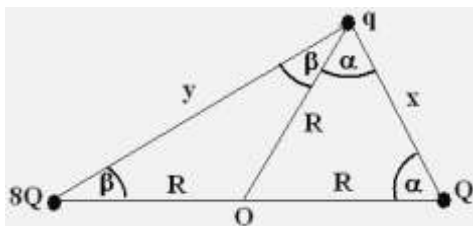
	Этапы решения	соотношения	Балл
1	2-й закон Ньютона в проекции на скорость	$N_x = ma$	<b>1</b>
2	Равновесие по вертикали	$N_y = mg$	<b>1</b>
3	2-й закон Ньютона в проекции на «радиус»	$f = mv^2/R$ , $f$ сила трения	<b>2</b>
4	Условие срыва	$f_{\max} = \mu N$	<b>1</b>
5	Нахождение $N$ по проекциям	$N^2 = N_x^2 + N_y^2$	<b>1</b>
6	Связь скорости с углом поворота	$v^2 = 2aR\alpha$	<b>2</b>
7	Нахождение искомого угла	$\alpha = (\mu/2)\sqrt{(g/a)^2 + 1}$	<b>2</b>

**Заключительный этап**  
**Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике**  
**13 марта 2016 г.**  
**Решения и критерии оценки**  
**11 класс**



3. Три нити равной длины  $R$  связаны в одной точке  $O$ . На концах нитей – одноимённые заряды  $8Q$ ,  $Q$  и  $q$ . Каковы расстояния между этими зарядами в равновесии, если заряд  $q$  пренебрежимо мал в сравнении с  $Q$ ? Система находится на горизонтальной плоскости без трения.

*Возможное решение*



Ввиду малости  $q$  силами со стороны этого заряда при рассмотрении равновесия зарядов  $8Q$  и  $Q$  пренебрегаем  $\langle 0,5 \rangle$ . Натяжения соответствующих нитей уравнивают кулоновскую силу отталкивания, направленную по прямой, соединяющей заряды, по этой прямой тогда направлены и нити  $\langle 1 \rangle$ . Тогда расстояние  $z$  между зарядами  $8Q$  и  $Q$  равно  $2R \langle 0,5 \rangle$ .

«Большие» заряды стремятся оказаться как можно дальше!

Обозначим расстояния от  $q$  до  $Q$  и  $8Q$  через  $x$  и  $y$ . Раз сумма углов при общей вершине в точке  $O$  у равнобедренных треугольников с основаниями  $x$  и  $y$  равна  $180^\circ$ , то угол  $\alpha + \beta$  между отрезками  $x$  и  $y$  равен  $90^\circ$ ! То есть треугольник со сторонами  $x$ ,  $y$  и  $z = 2R$  прямоугольный, а  $x^2 + y^2 = z^2 \langle 2 \rangle$ .

Заряд  $q$  будет в равновесии, если сумма векторов кулоновских сил и натяжения нити равна нулю. Поскольку натяжение нити направлено по ней от  $q$  к  $O$ , то проекции кулоновских сил на направление перпендикулярное нити уравниваются:  $(kqQ/x^2)\sin\alpha = (8kqQ/y^2)\sin\beta \langle 2 \rangle$ . Заметим, что  $\sin\alpha = y/z$ ;  $\sin\beta = x/z \langle 1 \rangle$ . После подстановки в условие равновесия получим  $q/x^3 = 8q/y^3$ , а то есть  $y = 2x \langle 1 \rangle$ . Учитывая, что  $x^2 + y^2 = z^2$ , находим  $x = z/\sqrt{5} = 2R/\sqrt{5}$ ;  $y = 2z/\sqrt{5} = 4R/\sqrt{5} \langle 2 \rangle$ .

*Разбалловка по этапам*

Этапы решения	соотношения	Балл
1 Равновесие «больших» зарядов при $q \rightarrow 0$	$z = 2R$	<b>0,5+1+0,5</b>
2 Вывод, что треугольник со сторонами $x$ , $y$ , $z$ прямоугольный	$x^2 + y^2 = z^2$	<b>2</b>
3 Равновесие заряда $q$ , равенство поперечных нити проекций кулоновских сил	$(kqQ/x^2)\sin\alpha = (8kqQ/y^2)\sin\beta$	<b>2</b>
4 Выражения для синусов	$\sin\alpha = y/z$ ; $\sin\beta = x/z$	<b>1</b>
5 Нахождение связи $x$ и $y$	$q/x^3 = 8q/y^3$ , а то есть $y = 2x$	<b>1</b>
6 Нахождение $x$ и $y$	$x = z/\sqrt{5} = 2R/\sqrt{5}$ ; $y = 2z/\sqrt{5} = 4R/\sqrt{5}$	<b>2</b>

**Заключительный этап**  
**Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике**  
**13 марта 2016 г.**  
**Решения и критерии оценки**  
**11 класс**

$2T_0$	$T_0$	
$V_0 P_0$	$V_0 P_0$	$P_0$
He	He	

4. В длинном горизонтальном теплоизолированном цилиндре находится гелий при атмосферном давлении. Левый отсек объёмом  $V_0$  перекрыт закреплённой теплопроводящей перегородкой, начальная температура гелия в нём  $2T_0$ . Правый отсек с начальным объёмом  $V_0$  перекрыт справа подвижным теплоизолирующим поршнем, начальная температура гелия в нём  $T_0$ . Каким станет объём второго отсека после установления равновесия, если передачей тепла от гелия цилиндру, поршню и перегородке можно пренебречь?

*Возможное решение*

Из уравнения состояния газа находим, что число молей в правом отсеке вдвое больше, чем в левом, в левом  $\nu$  и  $2\nu$  в правом  $\langle 1 \rangle$ . Тепло, переданное из левого отсека, равно убыли внутренней энергии:  $Q = (3/2)\nu R(2T_0 - T)$ , здесь  $T$  температура после установления теплового равновесия  $\langle 2 \rangle$ . Полученное газом в правом отсеке тепло от газа в левом идёт на прирост внутренней энергии  $\Delta U = (3/2)2\nu R(T - T_0)$   $\langle 1 \rangle$  и на совершение работы  $A = P_0(V - V_0) = 2\nu R(T - T_0)$ , последнее получено из уравнения состояния  $\langle 2 \rangle$ . Тогда суммарно  $Q = (3/2)2\nu R(T - T_0) + 2\nu R(T - T_0)$   $\langle 1 \rangle$ . Отсюда находим  $T = 16T_0/13$   $\langle 1 \rangle$ . При изобарическом расширении объём пропорционален температуре и  $V = 16V_0/13$   $\langle 2 \rangle$ .

*Разбалловка по этапам*

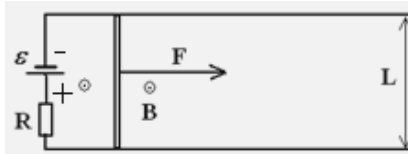
	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Отношение числа молей газа в отсеках	$1:2$	<b>1</b>
2	Нахождение отданного тепла	$Q = (3/2)\nu R(2T_0 - T)$ ,	<b>2</b>
3	Нахождение полученного тепла	$Q = \Delta U + A = (3/2)2\nu R(T - T_0) + 2\nu R(T - T_0)$	<b>1+2+1</b>
4	Нахождение конечной температуры	$T = 16T_0/13$	<b>1</b>
5	Нахождение искомого объёма	$V = 16V_0/13$	<b>2</b>

**Заключительный этап  
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике**

**13 марта 2016 г.**

**Решения и критерии оценки**

**11 класс**



5. Идеальная батарея с эдс  $\varepsilon$  через резистор с сопротивлением  $R$  подключена к длинным параллельным проводам, замкнутым подвижной массивной перемычкой длины  $L$ . Система находится в однородном магнитном поле  $B$ , перпендикулярном плоскости рисунка. В момент, когда скорость перемычки равна нулю, её начинают тянуть вправо с силой  $F$ . Укажите диапазон изменения тепловой мощности, выделяющейся на резисторе при движении перемычки. Сопротивлением проводов и перемычки пренебречь, трения нет.

**Возможное решение**

Мощность, выделяющаяся на резисторе,  $N = RI^2$ , где  $I$  ток в цепи  $\langle 1 \rangle$ . При движении перемычки со скоростью  $v$  в магнитном поле наводится эдс индукции, по закону Фарадея  $\mathcal{E}_i = -d\Phi/dt = \square - vBL \langle 1 \rangle$ . Полная эдс  $\mathcal{E} \square - vBL$ , и тогда ток  $I = (\mathcal{E} \square - vBL)/R \langle 1 \rangle$ .

Определим диапазон изменения  $N$ , выяснив как меняется скорость. Пусть масса перемычки  $m$ , тогда для её ускорения  $a = dv/dt$  из 2-го закона Ньютона с учётом магнитной силы  $ILB$  имеем:  $ma = F + ILB \langle 1 \rangle$ . Начальная скорость  $0$ , начальный ток  $I_0 = \mathcal{E}/R$ , начальное ускорение положительно  $\langle 1 \rangle$ . Скорость начинает нарастать, по мере роста скорости ток монотонно уменьшается от  $I_0$  до нуля  $\langle 1 \rangle$ . В этот момент ускорение положительно и равно  $F/m$ . Поэтому скорость продолжает расти, а ток становится отрицательным. Ускорение продолжает уменьшаться и при некоторой скорости обращается в  $0$ , что отвечает движению с установившейся скоростью  $\langle 1 \rangle$ . При это достигается наибольшее по модулю значение тока, раз  $a = 0$ , то  $I_k = -F/LB \langle 1 \rangle$ .

Итак мощность  $N = RI^2$  сначала убывает от значения  $N_0 = \mathcal{E}^2/R$  до нуля, затем нарастает от нуля до  $N_k = (F/LB)^2 R$  при установившихся скорости и токе  $I_k = -F/LB \langle 2 \rangle$ .

(При  $R < \mathcal{E}BL/F$  максимум мощности  $N_0 = \mathcal{E}^2/R$ , иначе максимум  $N_k = (F/LB)^2 R$ .)

**Разбалловка по этапам**

	Этапы решения	соотношения	Балл
1	Связь мощности и тока	$N = RI^2$	<b>1</b>
2	Эдс индукции	$\mathcal{E}_i = -d\Phi/dt = \square - vBL$	<b>1</b>
3	Связь тока и скорости	$I = (\mathcal{E} \square - vBL)/R$	<b>1</b>
4	2-й закон Ньютона для перемычки	$ma = F + ILB$	<b>1</b>
5	Начальный ток	$I_0 = \mathcal{E}/R$	<b>1</b>
6	Уменьшение тока до 0		<b>1</b>
7	Изменения знака тока с ростом скорости, установившееся движение $a = 0$		<b>1</b>
8	Ток, при установившемся движении	$I_k = -F/LB$ из $a = 0$	<b>1</b>
9	Указание диапазона для мощности	От $N_0 = \mathcal{E}^2/R$ до 0 до $N_k = (F/LB)^2 R$	<b>2</b>

**Комментарий:** При другой полюсовке батареи или другом направлении  $B$  начальное ускорение только при  $R > \mathcal{E}BL/F$  направлено по направлению силы  $F$ . Тогда мощность монотонно возрастает от  $N_0$  до  $N_k$ , не обращаясь в нуль. Если  $R < \mathcal{E}BL/F$ , то перемычка начнёт двигаться влево и если хватит расстояния для установления  $a \cong 0$ , то мощность монотонно убывает от  $N_0$  до  $N_k$ . За полное решение в этом случае суммарный балл 9. Если рассмотрено движение только в одну сторону, то 8 баллов.

**Критерии определения победителей и призеров  
Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике  
(2015-2016 уч. год)**

Согласно Положению победители и призеры олимпиады были определены по результатам Заключительного этапа Олимпиады. Общее количество победителей и призеров составило 198 человек из 813 участников данного этапа, что составляет 24,35 %. Количество победителей составило 62 человек, что составляет 7,75 %.

Основываясь на **общем рейтинге** участников и учитывая **наличие заметных разрывов** в баллах, набранных группами участников в верхней части рейтинга, жюри Олимпиады разработало следующие критерии определения победителей и призеров: (Максимальное возможное количество баллов – 50 баллов в 11-8 классах и 40 баллов в 7 классе.)

**11 класс:**

победители:

участники, набравшие не менее 84% от максимального количества баллов, т.е. от 42 до 50 баллов;

призеры:

**2 степени** – не менее 70 % от максимального количества баллов, т.е. от 35 до 41 баллов

**3 степени** – не менее 60 % от максимального количества баллов, т.е. от 29 до 34 баллов

**10 класс:**

победители:

участники, набравшие не менее 74% от максимального количества баллов, т.е. от 37 до 50 баллов;

призеры:

**2 степени** – не менее 68% от максимального количества баллов, т.е. от 34 до 36 баллов

**3 степени** – не менее 64 % от максимального количества баллов, т.е. от 32 до 33 баллов

**9 класс:**

победители:

участники, набравшие не менее 86% от максимального количества баллов, т.е. от 43 до 50 баллов;

призеры:

**2 степени** – не менее 70 % от максимального количества баллов, т.е. от 35 до 42 баллов

**3 степени** – не менее 66 % от максимального количества баллов, т.е. от 33 до 34 баллов

**8 класс:**

победители:

участники, набравшие не менее 84% от максимального количества баллов, т.е. от 42 до 50 баллов;

призеры:

**2 степени** – не менее 72 % от максимального количества баллов, т.е. от 36 до 41 баллов

**3 степени** – не менее 66 % от максимального количества баллов, т.е. от 33 до 35 баллов

**7 класс:**

победители:

участники, набравшие не менее 65% от максимального количества баллов, т.е. от 25 до 40 баллов;

призеры:

**2 степени** – не менее 52,5 % от максимального количества баллов, т.е. от 21 до 24 баллов

**3 степени** – не менее 40 % от максимального количества баллов, т.е. от 15 до 20 баллов

Сопредседатель жюри по физике



Н.И.Яворский