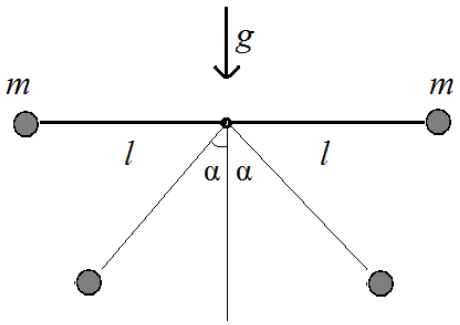
Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
в 2026-2027 учебном году

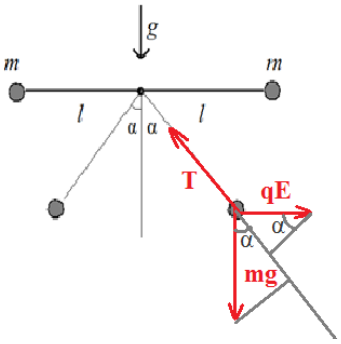
Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*09.11.2026*	*10.00*	*13.00*

1. Два заряда

Два одинаковых маленьких шарика массы m с одинаковыми зарядами привязали к гвоздю на изолированных нитях одинаковой длины l. Шарики отпустили из горизонтального положения. Скорость шариков оказалась максимальна, когда угол нитей с вертикалью составлял α = 45°. Найдите эту скорость. Чему равно натяжение нити в этот момент. Ускорение свободного падения g. Нити невесомы и нерастяжимы.



Возможное решение:



На шарик действуют сила Кулона, сила натяжения нити и сила тяжести. Скорость максимальна, когда $a_\tau = 0$, тогда $F_k cos\alpha = mgsin\alpha$,

$F_k = \frac{kq^2}{(2lsin\alpha)^2} = \frac{kq^2}{2l^2}$

$\frac{kq^2}{(2lsin\alpha)^2} cos\alpha = mg\, sin\alpha$, для α = 45° получаем

$\frac{kq^2}{2l^2} = mg$ **(1)**

Чтобы найти скорость в этот момент, запишем закон сохранения энергии для системы:

$\frac{kq^2}{2l} = \frac{kq^2}{2lsin\alpha} + 2\,\frac{mv^2}{2} - 2mglcos\alpha$, для α = 45° упрощаем

$\frac{kq^2}{2l} = \frac{kq^2}{l\sqrt{2}} + mv^2 - mgl\sqrt{2}$, используем выражение **(1)**

$mgl = \frac{2mgl}{\sqrt{2}} + mv^2 - mgl\sqrt{2}$, получаем ответ для максимальной скорости:

$$v = \sqrt{gl}$$

Найдем натяжение нити в этот момент:

Запишем 2 закон Ньютона в проекции на нить: $ma_n = \mathrm{T} - F_k sin\alpha - mgcos\alpha$,

где $a = a_n = \frac{v^2}{l}$

используя выражение (1), получим $m\frac{v^2}{l} = \mathrm{T} - mg\sqrt{2}$, подставив найденную скорость, найдем натяжение нити: $T = mg(1+\sqrt{2})$

Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*09.11.2026*	*10.00*	*13.00*

Разбалловка:

	этапы решения	*соотношения*	*баллы*
1.	Нарисованы силы, действующие на шарик (шарики)		0,5
2.	Скорость максимальна, когда $a_\tau = 0$	$a_\tau = 0$	1
3.	Равенство проекций сил на ось, перпендикулярную нити	$F_k \cos\alpha = mg \sin\alpha$	1
4.	Найдена сила Кулона (можно в общем виде)	$F_k = \frac{kq^2}{(2l\sin\alpha)^2} = \frac{kq^2}{2l^2}$	0,5
5.	Получено выражение (1)	$\frac{kq^2}{2l^2} = mg$	1
6.	Записан закон сохранения энергии *(можно поставить 1 балл, если часть энергий выписана правильно)*	$\frac{kq^2}{2l} = \frac{kq^2}{2l\sin\alpha} + 2\frac{mv^2}{2} - 2mgl\cos\alpha$	2
7.	Получена максимальная скорость	$v = \sqrt{gl}$	1
8.	Найдено ускорение	$a = a_n = \frac{v^2}{l}$	1
9.	Выписан 2 закон Ньютона для нахождения Т	$ma_n = \mathrm{T} - F_k\sin\alpha - mg\cos\alpha$	1
10.	Найдено Т	$T = mg(1+\sqrt{2})$	1
	сумма за задачу:		**10**

Комментарии: Часть этапов могут быть объединены. Можно решить альтернативным способом. Записать закон сохранения энергии, выразить скорость в общем виде и найти v_{max} из условия, что производная v или энергии $(2\frac{mv^2}{2}) = 0$ (по углу).

В этом случае в п.(2), (3), (5) можно ставить баллы, за идею про производную – 1 балл, за правильную реализацию – 2 балла. Подставляя в производную α = 45°, должно быть получено выражение (1). Подставляя далее это выражение в зсэ, также находится максимальная скорость.

Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*09.11.2026*	*10.00*	*13.00*

2. Конденсатор

Металлический шарик радиуса ***R*** и металлический шарик в два раза меньшего радиуса, соединяют длинными проводами с обкладками незаряженного плоского конденсатора (см. рис.). Ключ исходно не замкнут, большой шарик заряжают зарядом q_0, затем замыкают ключ. Расстояние между пластинами конденсатора ***d***, ёмкость ***c***.

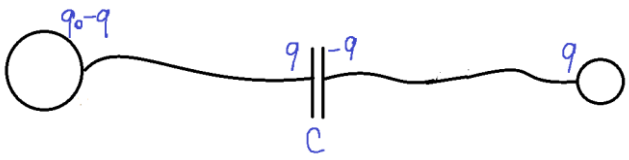
1. Какой заряд окажется на конденсаторе?
2. Найдите силу, с которой будут притягиваться пластины конденсатора.
3. Какое количество тепла выделилось в системе?

Ёмкостью проводов пренебречь.



Возможное решение:

После замыкания заряды перераспределятся, если на левой обкладке конденсатора оказался заряд q, то на правой будет $-q$, и по закону сохранения заряда, на поверхности левого шара будет заряд $q_0 - q$, а на поверхности правого шара q.



Напряжение на конденсаторе $U = \frac{q}{c}$

С другой стороны оно равно разности потенциалов сфер

$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{k(q_0 - q)}{R} - \frac{k\,q}{R/3} = \frac{k(q_0 - 4q)}{R}$

Сила притяжения одной пластины конденсатора к другой $F = qE_1 = qE/2$,

Где E_1 –это поле другой пластины, которое равно половине поля в конденсаторе.

Поле в конденсаторе можно выразить через напряжение $E = \frac{U}{d}$,

Тогда $F = q\frac{U}{2d} = \frac{kq(q_0 - 4q)}{2dR}$, зависимость силы от заряда квадратична, максимум будет при $q = \frac{q_0}{8}$, тогда $F_{max} = q\frac{U}{2d} = \frac{kq_0^2}{32dR}$

Ёмкость в этом случае равна $c = \frac{q}{U} = \frac{R \cdot q_0/8}{k(q_0 - 4q_0/8)} = \frac{R}{4k} = \pi\varepsilon_0 R$

Комментарии: сила может быть выражена и через $E_1 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = \frac{q}{2S\varepsilon_0}$, $c = \frac{S\varepsilon_0}{d}$,

$F = \frac{q_0^2}{2S\varepsilon_0(R/ck + 2)^2}$, тогда для нахождения максимума берется производная.

Предмет	***Класс***	***Дата***	***Время начала***	***Время окончания***
физика	*11*	*09.11.2026*	*10.00*	*13.00*

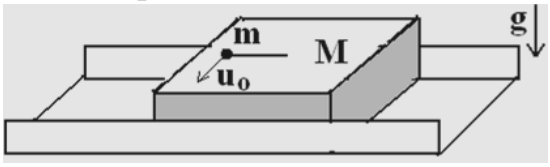
Критерии оценивания:

		баллы
1.	Показано, как перераспределились заряды	1
2.	Найдено напряжение на конденсаторе, как разность потенциалов заряженных сфер	1
3.	Связь напряжения на конденсаторе с ёмкостью	1
4.	Правильно найдены потенциалы сфер $\frac{k(q_0-q)}{R}$ и $\frac{k\,q}{R/3}$	1
5.	Сила притяжения одной пластины конденсатора к другой $F = qE_1 = qE/2$	1
6.	Выражена сила $F = q\frac{U}{2d} = \frac{kq(q_0-4q)}{2dR}$, через заряды или через ёмкость	2
7.	Найден максимум функции $F_{max} = \frac{kq_0^2}{32dR}$	1
8.	Найдена ёмкость, при которой сила максимальна $c = \frac{R}{4k} = \pi\varepsilon_0 R$	2
	Сумма баллов:	**10**

Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*09.11.2026*	*10.00*	*13.00*

3. Скорость после поворота

Брусок массы M стоит на горизонтальном дне закреплённого лотка, касаясь боковых стенок. На бруске находится шайба массы m, привязанная нитью к центру бруска. Нить направлена вдоль лотка. Шайбу толкнули под прямым углом к нити со скоростью u_o. Какова скорость шайбы в момент, когда она повернётся на угол α = 30°? Трения нет.



Возможное решение:

При отсутствии трения проекция внешних сил на направление движения бруска нулевая. Поэтому проекция импульса на это направление сохраняется <2>.

Поскольку в начале она равна нулю, то из сохранения её после поворота на угол $\alpha = 30^o$ имеем $mu/2 = Mv$, где v скорость бруска <3>.

При отсутствии трения суммарная кинетическая энергия неизменна <1>.

Откуда имеем $mu_o^2/2 = mu^2/2 + Mv^2/2 = (mu^2/2)(1 + m/4M)$ <2>.

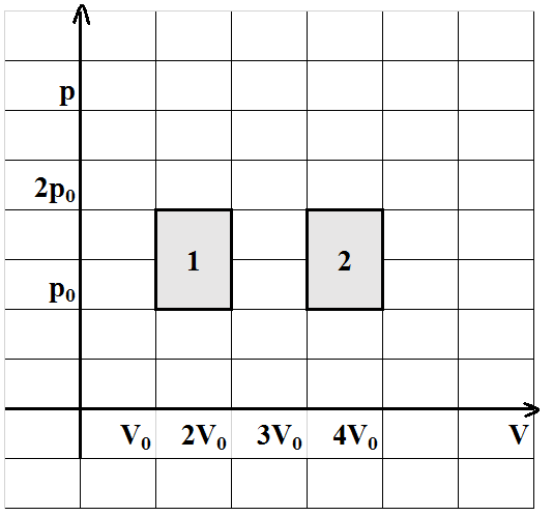
А для квадрата искомой скорости $u^2 = 4Mu_o^2/(m + 4M)$ или соответствующее выражение для u: $u = \sqrt{\frac{4Mu_0^2}{(m+4M)}}$ <2>.

Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*09.11.2026*	*10.00*	*13.00*

Критерии оценивания:

№	Этапы решения	соотношения	балл
1	Сохранение проекции импульса вдоль лотка		2
2	Нахождение связи скоростей при $\alpha = 30^o$	$mu/2 = Mv$	3
3	Сохранение суммарной кинетической энергии		1
4	Уравнение для искомой скорости	$mu_o^2/2 = mu^2/2 + Mv^2/2 = (mu^2/2)(1 + m/4M)$	2
5	Нахождение искомой скорости	$u^2 = \frac{4Mu_0^2}{(m + 4M)}$ $u = \sqrt{\frac{4Mu_0^2}{(m + 4M)}}$	2
		сумма	**10**

Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*09.11.2026*	*10.00*	*13.00*

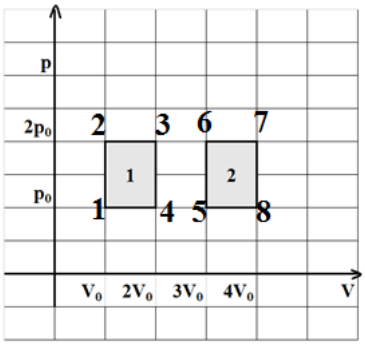


4. Два простых цикла

Найдите отношение КПД двух циклов, изображенных на pV – диаграмме. (см. рис.) В качестве рабочего тела используется гелий. Обход циклов осуществляется по часовой стрелке.

Возможное решение:

Работа газа за цикл в первом и во втором цикле одинакова и равна $A = p_0V_0$ (площадь внутри цикла на pV – диаграмме); $\eta = A/Q_н$. Первое начало термодинамики $\Delta Q = \Delta U + A$.



Найдем $Q_н$ в первом цикле $Q_{н1} = Q_{12} + Q_{23}$, во втором цикле $Q_{н2} = Q_{56} + Q_{67}$

Процессы 1-2 и 5-6 – изохорные: $A = 0$, $\Delta Q = \Delta U$, находим, используя уравнение состояния идеального газа $Q_{12} = 3/2\ \nu R(T_2 - T_1) = 3/2(2p_0V_0 - p_0V_0) = 3/2p_0V_0$, аналогично $Q_{56} = 3/2\ \nu R(T_6 - T_5) = 3/2(6p_0V_0 - 3p_0V_0) = 9/2p_0V_0$.

Процессы 2-3 и 6-7 – изобарные $A = p\Delta V$, $\Delta Q = \Delta U + A$

$Q_{23} = 3/2\ \nu R(T_3 - T_2) + 2p_0(2V_0 - V_0) = 5/2(2p_0(2V_0 - V_0) = 5p_0V_0$, аналогично

$Q_{67} = 3/2\ \nu R(T_7 - T_6) + 2p_0(4V_0 - 3V_0) = 5/2(8p_0V_0 - 6p_0V_0) = 5p_0V_0$.

$Q_{н1} = Q_{12} + Q_{23} = 13/2\ p_0V_0$

$Q_{н2} = Q_{56} + Q_{67} = 19/2\ p_0V_0$, тогда $\eta_1/\eta_2 = Q_{н2}/Q_{н1} = 19/13$

Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*09.11.2026*	*10.00*	*13.00*

Разбалловка:

	этапы решения	*соотношения*	*баллы*
1.	Найдена работа в циклах	$A = p_0V_0$	1
2.	КПД цикла	$\eta = A/Q_н$	1
3.	Первое начало термодинамики	$\Delta Q = \Delta U + A$	1
4.	$Q_н$ в первом и втором циклах	$Q_{н1} = Q_{12} + Q_{23}$ $Q_{н2} = Q_{56} + Q_{67}$	1
5.	Выражение для внутренней энергии газа (гелий - одноатомный идеальный газ)	$\Delta U = 3/2\ \nu R\Delta T = 3/2\Delta(pV)$,	1
6.	Нахождение $Q_{н1}$, используя 1 начало термодинамики, уравнение состояния и график.	$Q_{н1} = 13/2\ p_0V_0$	2
7.	Нахождение $Q_{н2}$	$Q_{н2} = 19/2\ p_0V_0$	2
8.	Найдено отношение КПД	$\eta_1/\eta_2 = Q_{н2}/ Q_{н1}=19/13 \approx 1{,}46$ или $\eta_2/\eta_1 = 13/19 \approx 0{,}68$	1
	сумма за задачу:		**10**

Комментарии: Часть этапов могут быть объединены. Можно не разделять по процессам, а сразу находить ΔU_{13} и ΔU_{57}, и работу, как площадь под графиком $A_{13}= 2\ p_0V_0$, аналогично для второго цикла. Можно тепло находить через теплоемкости, тогда пункты объединяются. Выражать в виде десятичной дроби ответ не обязательно, баллы за это не снижаются.

Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*09.11.2026*	*10.00*	*13.00*

5. Пружинный маятник



При изучении колебаний пружинного маятника девятиклассники Николай и Кирилл подвешивали к пружине грузики массой (50±1) г, выводили систему из положения равновесия и наблюдали вертикальные колебания. Засекая время 20 полных колебаний для различного количества грузов, ребята вносили данные в таблицу.

Количество грузов N, шт.	*8*	*7*	*6*	*5*	*4*	*3*
Время, с	*7,3*	*6,8*	*6,3*	*5,7*	*5,1*	*4,4*

Используя данные измерений:

1) постройте график зависимости квадрата периода колебаний от массы грузов $T^2(m)$;

2) используя график, определите жёсткость пружины, оцените погрешности;

3) по графику определите, каков будет период колебаний одного груза массой (50±1) г на этой пружине.

Примечание. *График необходимо строить на листе выданной Вам миллиметровой бумаги.*

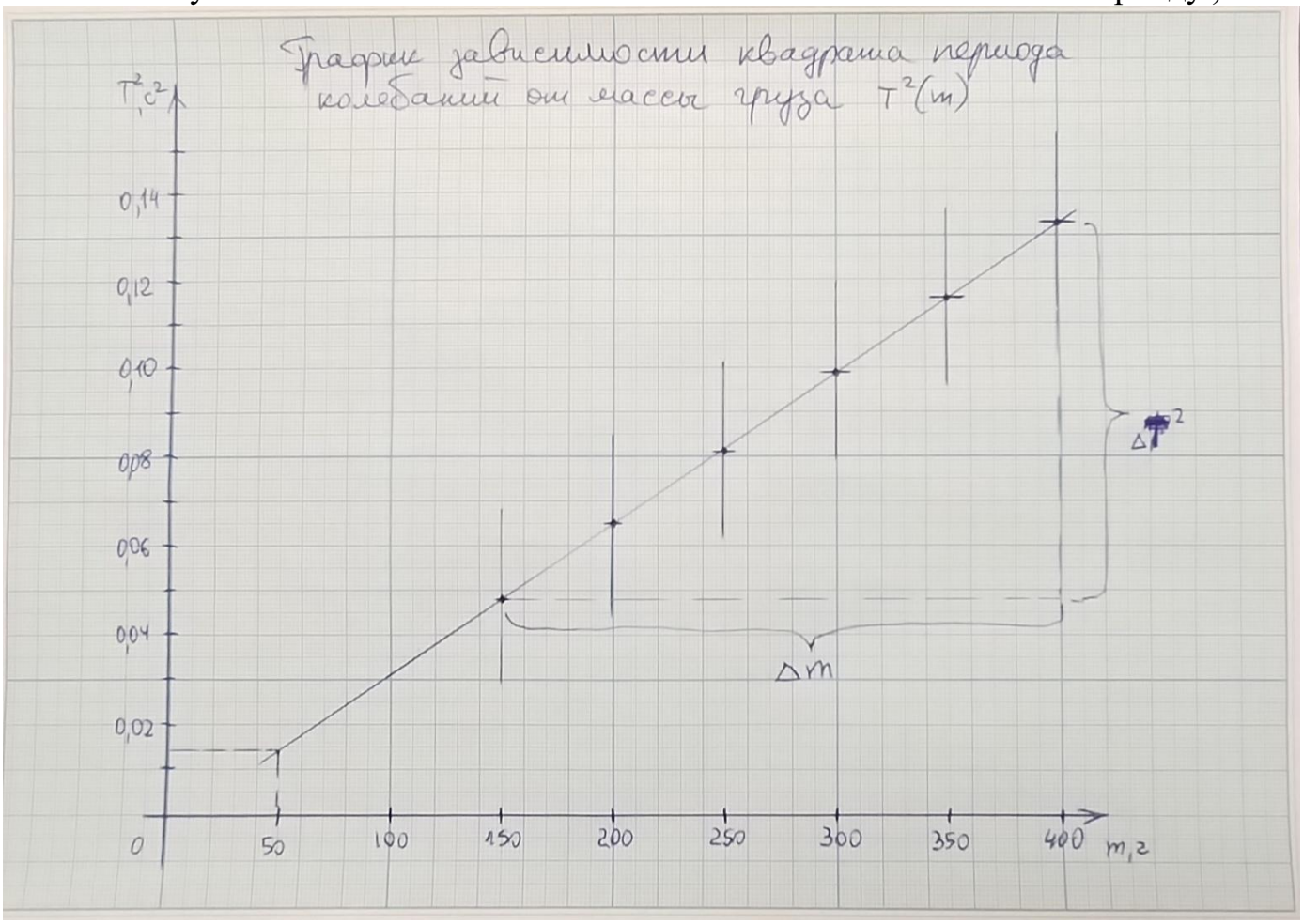
Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*09.11.2026*	*10.00*	*13.00*

Возможное решение

Проведём вычисление массы грузов, периода колебаний $T = \frac{t}{20}$, а также квадрата периода, дополнив соответствующими значениями исходную таблицу:

Количество грузов N, шт.	*8*	*7*	*6*	*5*	*4*	*3*
Время t, с	*7,3*	*6,8*	*6,3*	*5,7*	*5,1*	*4,4*
Масс грузов m, г	*400±8*	*350±7*	*300±6*	*250±5*	*200±4*	*150±3*
Период T, с	*0,365*	*0,34*	*0,315*	*0,285*	*0,255*	*0,22*
Квадрат периода T^2, $с^2$	*0,133*	*0,116*	*0,099*	*0,081*	*0,065*	*0,048*

Построим график зависимости $T^2(m)$. Поставим «усы» погрешности для всех точек, считая погрешность измерения времени равной средней скорости реакции человека 0,2 с, тогда погрешность периода будет равна 0,01 с, не превышает , а для квадрата периода равна $2T\Delta T$ не превышает 0,0073 $с^2$. (если смотреть по наибольшему периоду.)



Определим по графику квадрат периода колебаний, соответствующий массе груза 50 г, это (0,014±0,007) $с^2$, что даёт период колебаний примерно 0,12 с.

Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*09.11.2026*	*10.00*	*13.00*

Период колебаний пружинного маятника определяется формулой $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, тогда квадрат периода $T^2 = \frac{4\pi^2}{k}m$, т.е. зависимость $\boldsymbol{T^2(m)}$ линейная.

Тогда можно через кресты графика провести прямую максимально близко к точкам и определить угловой коэффициент этой прямой $\boldsymbol{a}$.

$$a = \frac{\Delta T^2}{\Delta m} = \frac{(0{,}133 - 0{,}048)c^2}{(400 - 150)\text{г}} = \frac{0{,}085\text{с}^2}{250\text{г}} = \frac{0{,}085\text{с}^2}{0{,}25\text{кг}} = 0{,}34\frac{\text{с}^2}{\text{кг}}$$

Так как $a = \frac{4\pi^2}{k}$, то жёсткость пружины найдём по формуле $k = \frac{4\pi^2}{a}$

$k = \frac{4 \cdot 3{,}14^2}{0{,}34\frac{c^2}{\text{кг}}} \approx 116\frac{\text{кг}}{\text{с}^2} = 116\frac{\text{Н}}{\text{м}}$ (по размерности нормально, т.к. Н=$\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}$)

Относительная погрешность определения жёсткости равна сумме относительных погрешностей массы и квадрата периода.

Найдём относительную погрешность массы в эксперименте:

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta m}{m} = \frac{1\text{ г}}{50\text{ г}} = 0{,}02$$

Относительная погрешность квадрата периода будет наибольшей для наименьшего значения квадрата: $\varepsilon_{T^2} = \frac{0{,}007\ c^2}{0{,}048\ c^2} \approx 0{,}15$. Тогда относительная погрешность измерения жёсткости не будет превышать их суммы:

$$\varepsilon_k = \varepsilon_m + \varepsilon_\text{Т} = 0{,}17 = 17\ \%$$

$$\Delta k = \varepsilon_k \cdot k = 0{,}17 \cdot 116\frac{\text{Н}}{\text{м}} \approx 20\frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Таким образом, жёсткость пружины $k = (120 \pm 20)\frac{\text{Н}}{\text{м}};\ \varepsilon_k = 17\%$

Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*09.11.2026*	*10.00*	*13.00*

Критерии оценивания (максимум 10 баллов)

1) Исходная таблица дополнена значениями ***m, T и T^2*** **1 балл**

2) Получена формула $T^2 = \frac{4\pi^2}{k} m$ **0,5 балла**

3) Указано, что зависимость ***$T^2(m)$*** линейная **0,5 балла**

4) Построен график зависимости ***$F_{упр}(L)$*** **4 балла**

- размер графика: не менее 12 см по каждой оси 0,5 балла
- верно расположены и подписаны оси 0,5 балла
- подходящий масштаб и оцифровка осей 1 балл
- нанесены ВСЕ точки 0,5 балла
- исключены обе точки – выбросы 0,5 балла
- верно проведена **прямая** линия графика 1 балл

5) С помощью графика найден период колебаний груза 50 г **1 балл**

- если в пределах [0,11-0,13] с 1 балл;
- *если в пределах* [0,10-0,14]*с* *0,5 балла.*

6) По графику найден угловой коэффициент *a* **1 балл**

- *найдено значение* $a = \frac{\Delta T^2}{\Delta m}$
  если в пределах [0,32-0,36] $\frac{с^2}{кг}$ 1 балл;
  если в пределах [0,28-0,40] $\frac{с^2}{кг}$ *0,5 балла.*

7) Описан способ определения границ погрешности жёсткости, произведена разумная оценка погрешности **1 балл**

Примечание: могут быть использованы другие алгоритмы оценки погрешности, отличающиеся от описанных. (максимальный и минимальный угловой коэффициент и т.п.)

8) Записан результат измерения жёсткости с указанием погрешности **1 балл**

$$k = (120 \pm 20)\frac{Н}{м};\ \varepsilon_k = 17\%$$

Предмет	*Класс*	*Дата*	*Время начала*	*Время окончания*
физика	*11*	*09.11.2026*	*10.00*	*13.00*

Рекомендации для жюри

Каждая задача оценивается из 10 баллов. Участники олимпиады могут предложить полные и верные решения задач, отличные от приведённых в ключе. За это они должны получить полный балл. Частичное решение или решение с ошибками оценивается, ориентируясь на этапы решения, приведённые в разбалловке. При этом верные выводы из ошибочных допущений не добавляют баллов. Если какой-то этап решения не полный, или частично правильный, то он оценивается частью баллов за этап. Если в решении участника олимпиады предложенные этапы объединены как один, то оценка проводится из суммарного балла. **Наличие лишь ответа без решения не оценивается.** При наличии у участника двух решений без указания, какое он считает верным, оценка проводится по худшему. Для удобства работы жюри решения и критерии оценки для каждой задачи приведены на отдельной странице и при необходимости снабжены комментарием. К некоторым задачам может приводиться два варианта решения. Следует держаться духа и буквы предлагаемой разбалловки, чтобы обеспечить сопоставимость проверки на разных площадках проведения.

С вопросами по критериям оценок можно обратится или по электронной почте masha.yuldasheva@mail.ru или по телефону 8-913-940-45-06 к председателю предметно-методической комиссии олимпиады *Юлдашевой Марии Рашидовне*.