



## Условия задач, авторские решения, критерии оценивания

### 1. Часы PSR B1937+21 (5 баллов)

Бычков А. И.

В современной метрологии эталонным прибором для измерения времени являются атомные часы. Перспективной альтернативой атомным часам могут стать пульсары — быстро вращающиеся нейтронные звезды. Некоторые пульсары обладают поразительной стабильностью вращения, испуская при каждом обороте звезды (через равные промежутки времени) радиосигналы, которые могут быть зарегистрированы на Земле. Пульсар PSR B1937+21 — яркий тому пример.

Период вращения пульсара PSR B1937+21 равен  $T = 1,557806449$  мс, начальная погрешность измерения этого значения равна  $\Delta T_0 = 5 \cdot 10^{-12}$  с. Скорость вращения пульсара может немного изменяться из-за внутренних процессов в звезде. Для учёта этого фактора будем считать, что погрешность периода пульсара увеличивается линейно со временем:  $\Delta T(t) = \Delta T_0 + \alpha t$ , где  $\alpha = 7 \cdot 10^{-21}$  — скорость изменения погрешности. Предположим, что часы на основе пульсара используются для измерения большого промежутка времени  $t$ . При каком значении  $t$  накопленная погрешность измерения станет равна 1 секунде? Считайте, что среднее значение периода вращения пульсара постоянно и равно  $T$ . Ответ выразите в годах.

**Ответ:**  $(8,3 \pm 0,1)$  лет.

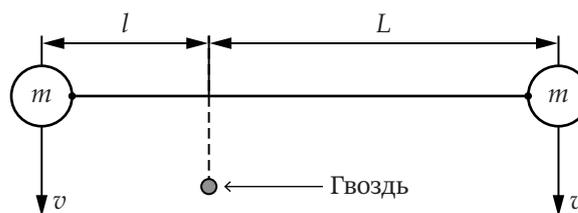
#### Критерии

№	Критерий	Балл
1.1	Высказана мысль о том, что к моменту времени $t$ средняя погрешность измерения одного периода составляет $\Delta \bar{T} = \Delta T_0 + \frac{\alpha t}{2}$ .	2,0
1.2	Указано, что число оборотов пульсара за время $t$ равно $N = \frac{t}{T}$ .	1,0
1.3	Получено квадратное уравнение для времени $t$ .	1,0
1.4	Найдено верное числовое значение времени $t$ .	1,0

### 2. Нецентральный удар (7 баллов)

Черников Ю.А.

Две одинаковые шайбы массой  $m$ , связанные нерастяжимой лёгкой нитью, движутся по горизонтальной гладкой поверхности со скоростью  $v$ , как показано на рисунке, представленном ниже.



Нить не провисает, но и не натянута. В процессе движения нить налетает на гвоздь. Длины отрезков нити между шайбами и гвоздём равны  $l$  и  $L$ . Трение между нитью и гвоздём отсутствует.

а) (5 баллов) Найдите силу натяжения нити сразу после того, как нить коснётся гвоздя, а также ускорение точки нити, соприкасающейся с гвоздём в этот момент времени.

б) (2 балла) Определите радиусы кривизны траекторий шайб в момент, когда нить коснётся гвоздя.

**Ответ:** а)  $T = mv^2 \frac{L+l}{2Li}$ ,  $a = v^2 \frac{L-l}{2Li}$ ; б)  $R = \frac{2Li}{L+l}$ .

#### Критерии

Если в основе решения лежит переход в неинерциальную систему отсчёта (НИСО), то решения такого типа оцениваются по следующей схеме.

№	Критерий	Балл
2а.1	Предложен переход в НИСО, связанной с точкой касания нити и гвоздя.	1,0
2а.2	Указаны радиусы кривизны траекторий шайб в этой системе отсчёта.	1,0
2а.3	Записаны законы Ньютона для шайб с учётом силы инерции. $t$ .	1,0
2а.4	Получен верный ответ для силы натяжения нити: $T = mv^2 \frac{L+l}{2Li}$ .	1,0
2а.5	Получен верный ответ для ускорения точки касания нити и гвоздя: $a = v^2 \frac{L-l}{2Li}$ .	1,0
2б.1	Указано, что радиусы кривизны траекторий шайб в лабораторной системе отсчёта одинаковы.	1,0
2б.2	Получено выражение для радиуса кривизны шайб в лабораторной системе отсчёта: $R = \frac{2Li}{L+l}$ .	1,0

Если движение шайб рассматривается в лабораторной системе отсчёта (ИСО), то решения такого типа оцениваются по следующей схеме.

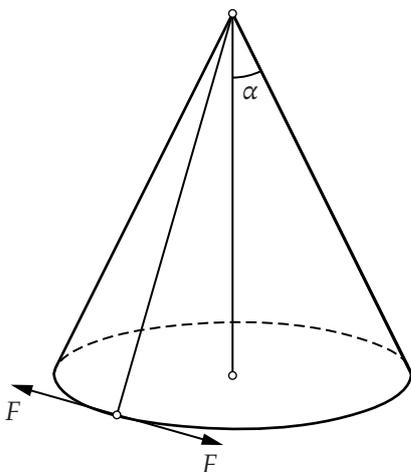
№	Критерий	Балл
2б.1	Указано, что радиусы кривизны траекторий шайб в ИСО одинаковы.	1,0

**86-я Московская олимпиада школьников по физике (2025 г.) 9 класс**

№	Критерий	Балл
2б.2	Записано условие нерастяжимости нити.	1,0
2б.3	Поиск радиуса кривизны осуществляется с использованием приближенных формул.	1,0
2б.4	Получен верный ответ для радиуса кривизны траектории в ИСО.	1,0
2а.1	Получен верный ответ для ускорения точки касания нити и гвоздя.	1,0
2а.2	Записаны законы Ньютона для шайб в ИСО.	1,0
2а.3	Найдена сила натяжения нити.	1,0

**3. Бумажный конус (7 баллов)**  
**Кузнецов Е. Г.**

Из листа бумаги в форме сектора круга свернули конус массы  $m$  с углом раствора  $2\alpha$ . Конус помещают на горизонтальную поверхность стола, прогибания бумаги не происходит. Трение между бумагой и столом отсутствует. Чтобы под действием силы тяжести конус не развалился, к краям бумаги, расположенным на линии разреза, прикладывают пару сил величиной  $F$ , направленных по касательной к окружности основания конуса (см. рисунок, представленный ниже). Распределение массы по листу считайте однородным. Пренебрегая всеми эффектами, связанными с изгибом, найдите значение силы  $F$ .



**Ответ:**  $F = \frac{mg}{6\pi} \cdot \operatorname{tg} \alpha$ .

**Критерии**

Если в основе решения лежит метод виртуальных перемещений, то решения такого типа оцениваются по следующей схеме.

№	Критерий	Балл
3.1	Предложен метод виртуальных перемещений.	1,0
3.2	Найден центр масс конуса.	1,0
3.3	Правильно найдена связь между изменением радиуса основания и высоты конуса.	2,0
3.4	Правильно найдена связь между изменением радиуса основания и длины окружности в основании конуса.	1,0
3.5	Правильно записан закон сохранения энергии для виртуального перемещения.	1,0
3.6	Получен верный ответ.	1,0

Если в основе решения лежит деление конуса на малые сектора, то решения такого типа оцениваются по следующей схеме.

№	Критерий	Балл
3.1	Предложена идея разбить конус на маленькие сектора.	1,0
3.2	Найден центр масс конуса.	1,0
3.3	Найдена сила нормальной реакции опоры, действующая на один сектор.	1,0
3.4	Найдена проекция на радиальное направление сил реакции между секторами.	2,0
3.5	Правильно записано уравнение моментов для сектора.	1,0
3.6	Получен верный ответ.	1,0

**4. Остывание бульона (6 баллов)**  
**Черников Ю. А.**

Школьник исследовал остывание жидкостей в термосе. Он обнаружил, что остывание одного литра бульона с  $95^\circ\text{C}$  до  $90^\circ\text{C}$  в открытом термосе происходит за  $t_1 = 100$  с, а в закрытом тонкой фольгой за  $t_2 = 180$  с. С другой стороны, он заметил, что вода того же объёма остывает с  $95^\circ\text{C}$  до  $90^\circ\text{C}$  в открытом термосе за  $t_3 = 80$  с. Считайте, что остывание жидкости происходит за счёт испарения воды и конвекции воздуха, граничащего с её поверхностью. При этом часть поверхности бульона покрыта жиром, испарения с этой части поверхности не происходит. Если бульон накрыть фольгой, испарение практически прекращается. В рассматриваемом температурном диапазоне теплотерии можно считать постоянными, фольга и жировой слой на поверхности не

оказывают существенного влияния на теплопотери, осуществляемые посредством конвекции.

Теплоёмкость и плотность бульона и воды совпадают. Удельная теплоёмкость удельная теплота парообразования воды равны соответственно  $c = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$  и  $L = 2,3 \text{ МДж}/\text{кг}$ .

а) (3 балла) Рассчитайте, какая часть площади поверхности бульона покрыта жиром?

б) (3 балла) Рассчитайте, какая масса воды испарилась с поверхности бульона за время его остывания с  $95^\circ\text{C}$  до  $90^\circ\text{C}$ .

**Ответ:** а) 36%; б) 4 г.

### Критерии

№	Критерий	Балл
4а.1	Записана связь мощности теплопотерь со скоростью остывания жидкости.	0,5
4а.2	Составлена система уравнений, описывающая скорость остывания в трех случаях.	1,0
4а.3	Правильно решена система уравнений.	1,0
4а.4	Получен правильный числовой ответ.	0,5
4б.1	Записано выражение для мощности потерь, осуществляемых посредством испарения.	1,0
4б.2	Получено буквенное выражение для массы испарившейся воды.	1,0
4б.3	Получено числовое значение для массы испарившейся воды.	1,0

### 5. Мост Томсона (8 баллов)

Одной из проблем при измерении малых сопротивлений является сравнительно большое сопротивление подводящих проводов и контактов этих проводов с измеряемым сопротивлением. Опишем такое малое сопротивление  $R$  с суммарным сопротивлением подводящих проводов  $r$  (включая контактные сопротивления) простейшей эквивалентной схемой, изображённой на рисунке 1.

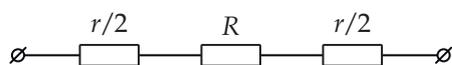


Рис. 1

Так, например, при сравнении двух малых сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  с помощью мостиковой схемы Уитстона (схема на рисунке 2), возникает ошибка, связанная с наличием контактного сопротивления.

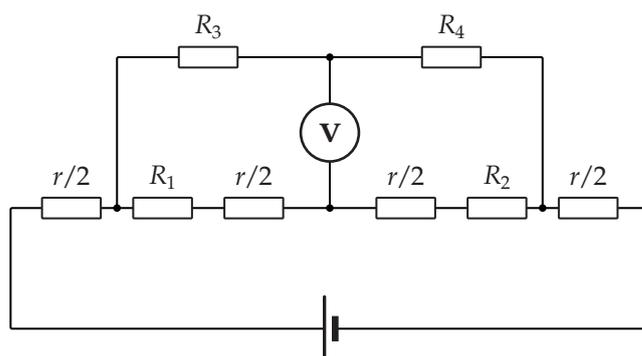


Рис. 2

Для исключения этой ошибки Уильямом Томсоном была предложена более сложная схема сравнения сопротивлений (см. рисунок 3), которая в дальнейшем приобрела название «мост Томсона».

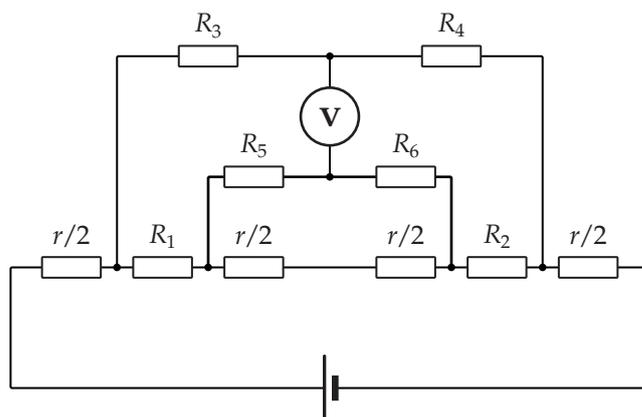


Рис. 3

а) (3 балла) Рассчитайте сопротивление  $R_1$  в схеме на рисунке 3, если напряжение, регистрируемое вольтметром, равно нулю (мост сбалансирован). Считайте остальные сопротивления, включая сопротивление подводящих проводов, известными.

б) (3 балла) При каком соотношении между сопротивлениями  $R_3, R_4, R_5, R_6$  ответ на первый вопрос не зависит от  $r$ ?

в) (2 балла) Технически наиболее удобно выбирать сопротивления  $R_3, R_4, R_5, R_6$  много большими сопротивлений  $R_1, R_2$  и сопротивления подводящих проводов  $r$ . Дайте ответ на вопрос пункта а) с учётом этого приближения (округлив ответ до первого порядка малости).

**Ответ:** а)  $R_1 = \frac{R_2 R_3}{R_4} + \frac{r}{r+R_5+R_6} \left( \frac{R_3 R_6}{R_4} - R_5 \right)$ ; б)  $R_3 R_6 = R_4 R_5$ ; в)  $R_1 = \frac{R_2 R_3}{R_4}$ .

**Критерии**

№	Критерий	Балл
5а.1	Записана система уравнений Кирхгофа, позволяющая получить ответ для сопротивления $R_1$ .	1,5
5а.2	Получено верное выражение для $R_1$ .	1,5
5б.1	Выражение для $R_1$ приведено к виду двух слагаемых, одно из которых зависит от $r$ , а второе не зависит от $r$ .	1,0
5б.2	Получено правильное соотношение между сопротивлениями: $R_3R_6 = R_4R_5$ .	1,0
5в.1	Указано, что вторым слагаемым в выражении для сопротивления можно пренебречь или показано, что потенциал нижней точки подключения вольтметра не зависит от сопротивлений $r, R_5, R_6$ .	1,0
5в.2	Получено верное выражение для сопротивления $R_1$ в случае указанного приближения.	2,0