

МОШ, 2024/25, заключительный этап, 8 класс

[Условия, ответы и решения](#)

1 Часы PSR B1937+21

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, погрешность измерения этого значения равна $\Delta T = 5 \cdot 10^{-12}$ с. Скорость вращения пульсара может немного изменяться из-за внутренних процессов в звезде. Для учёта этого фактора будем считать, что погрешность измерения периода пульсара увеличивается на 1 пикосекунду (10^{-12} с) каждые 5 лет, причём это увеличение происходит скачком в конце каждого пятилетнего периода. 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.

Подсказка

Накопленная погрешность равна числу периодов, умноженному на погрешность одного периода. Сначала найдите погрешность за первые пять лет, а потом подумайте, как она растёт при скачках.

Ответ

Приблизительно 9,1 лет.

2 Течение Пуазейля

Объёмным расходом жидкости Q при течении по трубе называется объём жидкости, проходящий через поперечное сечение трубы в единицу времени. Формула Пуазейля используется для расчёта объёмного расхода при течении жидкости по трубе постоянного сечения с учётом вязкого трения. В случае небольшой скорости течения она имеет вид

$$Q = A \cdot \Delta p^x \cdot R^y \cdot \nu^z \cdot l^{-1},$$

где Δp — перепад давления на концах трубы; R и l — радиус и длина трубы соответственно; ν — коэффициент динамической вязкости жидкости, которая измеряется в кг/(м·с); A , x , y , z — некоторые безразмерные постоянные.

1. Пользуясь соображениями размерности, определите значения постоянных x , y и z .
2. Во сколько раз изменится скорость потока жидкости в водопроводной сети, если при том же давлении на входе увеличить диаметр труб вдвое?

Подсказка

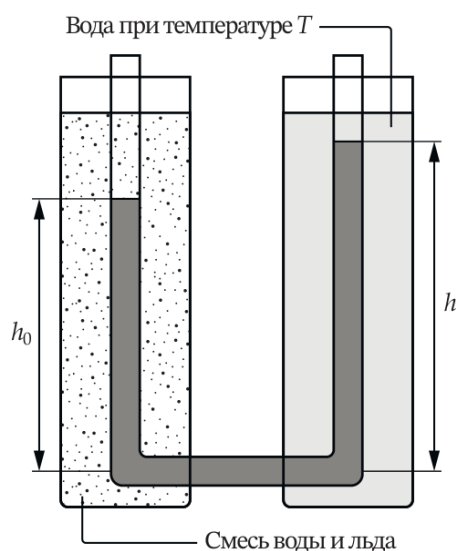
Выпишите единицы Q , Δp , R , ν , l и потребуйте, чтобы справа и слева стояли одинаковые степени кг, м и с. Для пункта б) свяжите расход со скоростью и площадью сечения.

Ответ

1) $x = 1$, $y = 4$, $z = -1$; 2) скорость течения жидкости увеличится в 4 раза.

3 Изменение объёма

Измерение коэффициента объёмного расширения жидкости осложняется тем, что объём сосуда также изменяется с температурой. Представленный на рисунке прибор позволяет преодолеть эту трудность. В нём одно колено U-образной трубки, заполненной исследуемой жидкостью, находится в банке со льдом и водой, а другое — в термостате с температурой $T > 0^\circ\text{C}$. Соединительная трубка расположена горизонтально. В ходе эксперимента были измерены высоты столбов h и h_0 , а температура воды в термостате равнялась T . Чему равен коэффициент объёмного расширения β жидкости?



Указание. Если при 0°C объём жидкости равен V_0 , то при температуре T её объём даётся формулой $V = V_0(1 + \beta T)$.

Подсказка

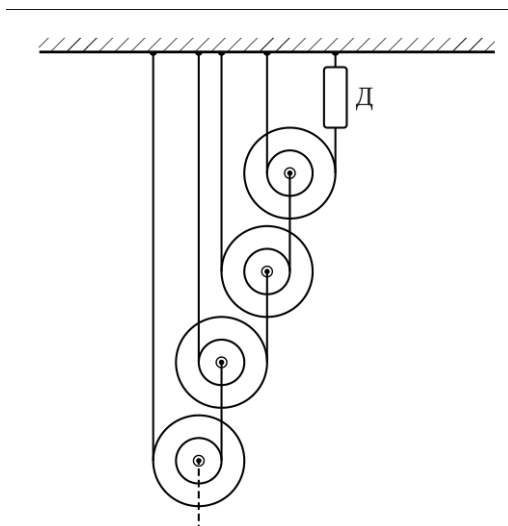
Масса жидкости при нагреве не меняется, а объём растёт, значит, меняется плотность. Сравните давления в обоих коленах на уровне горизонтальной трубки.

Ответ

$$\beta = \frac{1}{T} \left(\frac{h}{h_0} - 1 \right).$$

4 Бесконечность не предел

Из очень большого количества одинаковых двухступенчатых блоков массой $M = 420$ г каждый и лёгких нитей собрана приведённая на рисунке система. Определите показания динамометра Д, если больший и меньший радиусы ступеней блоков равны соответственно $R = 10$ см и $r = 5$ см. Ускорение свободного падения равно $g = 10$ Н/кг. Трение в осях блоков пренебрежимо мало.



Подсказка

Для каждого блока запишите условие равновесия сил и моментов относительно его оси. Система бесконечна, поэтому часть, начиная со второго блока, устроена так же, как вся система целиком.

Ответ

3 Н.