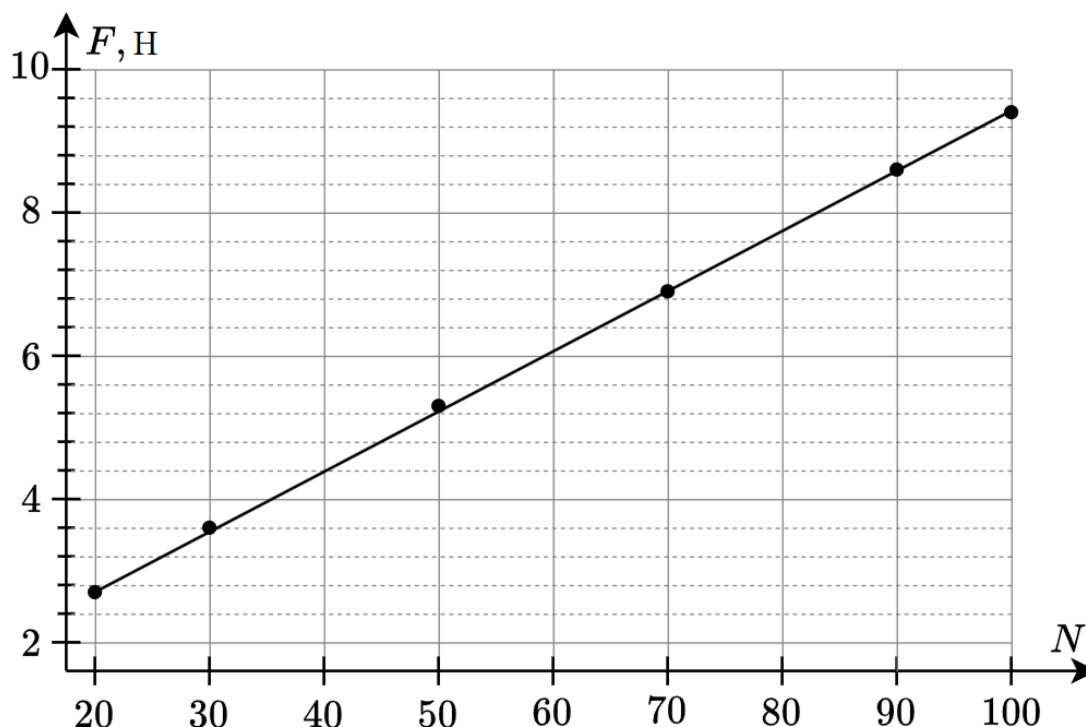


Решение экспериментального тура областного этапа СО по физике (2024-2025 учебный год)  
9 класс, 10 баллов

Часть А

Нарисуем график зависимости по заданным точкам и проведём сглаживающую прямую.



Начертив продолжение данного графика к области  $N = 0$ , можно увидеть, что график не пересекает начало координат. Это значит, что закон равновесия нужно записать в виде

$$F = F_0 + Nmg, \quad (1)$$

где  $F_0$  является пересечением координат, и это можно охарактеризовать как вес чаши, который искать не требуется. По графику можно найти коэффициент наклона:

$$b = 0.083 \text{ Н.}$$

Также, можно найти результат методом наименьших квадратов:

$$b = \frac{\langle XY \rangle - \langle X \rangle \cdot \langle Y \rangle}{\langle X^2 \rangle - \langle X \rangle^2} \Big|_{\substack{X=N \\ Y=F}} = 0.0835 \text{ Н.}$$

Из уравнения (1) видно, что данный коэффициент и есть средний вес одного болта. Оттуда получаем

$$m = \frac{b}{g} = 8.47 \text{ г.}$$

Погрешность измерения массы главным образом происходит из-за неточности динамометра: погрешность составляет половину цены деления,  $\Delta F = 0.05 \text{ Н}$ . Поскольку размах границ измерения силы составляет  $2\Delta F$ , максимальная неточность в измерении коэффициента наклона составляет

$$\Delta b = \frac{2\Delta F}{\Delta N} = \frac{2 \cdot 0.05}{100 - 20} \text{ Н} = 1.25 \cdot 10^{-3} \text{ Н.}$$

Отметим, что поскольку данные расчёты несут оценочный характер, можно также (но с меньшей точностью) записать результат без множителя 2. Погрешность измерения массы, отсюда, составляет

$$\Delta m = \frac{\Delta b}{g} \approx 0.13 \text{ г.}$$

Другим способом расчёта является применение формулы наименьших квадратов для погрешности коэффициентов:

$$\Delta b = 2 \sqrt{\frac{\sigma_Y^2 / \sigma_X^2 - b^2}{n - 2}} = 1.076 \cdot 10^{-3} \text{ Н.}$$

Итак, конечный ответ:

$$m = (8.47 \pm 0.13) \text{ г} \approx (8.5 \pm 0.1) \text{ г}$$

с относительной погрешностью  $\varepsilon = \frac{\Delta m}{m} \approx 12\%$  (за вычисление  $\varepsilon$  балл не ставится).

## Часть Б

Запишем уравнения статики для заданной системы. Если сила натяжения наклонной части нити  $T$ , тогда в проекциях на горизонтальную и вертикальную оси

$$T \sin \theta = F, \quad T \cos \theta = Mg.$$

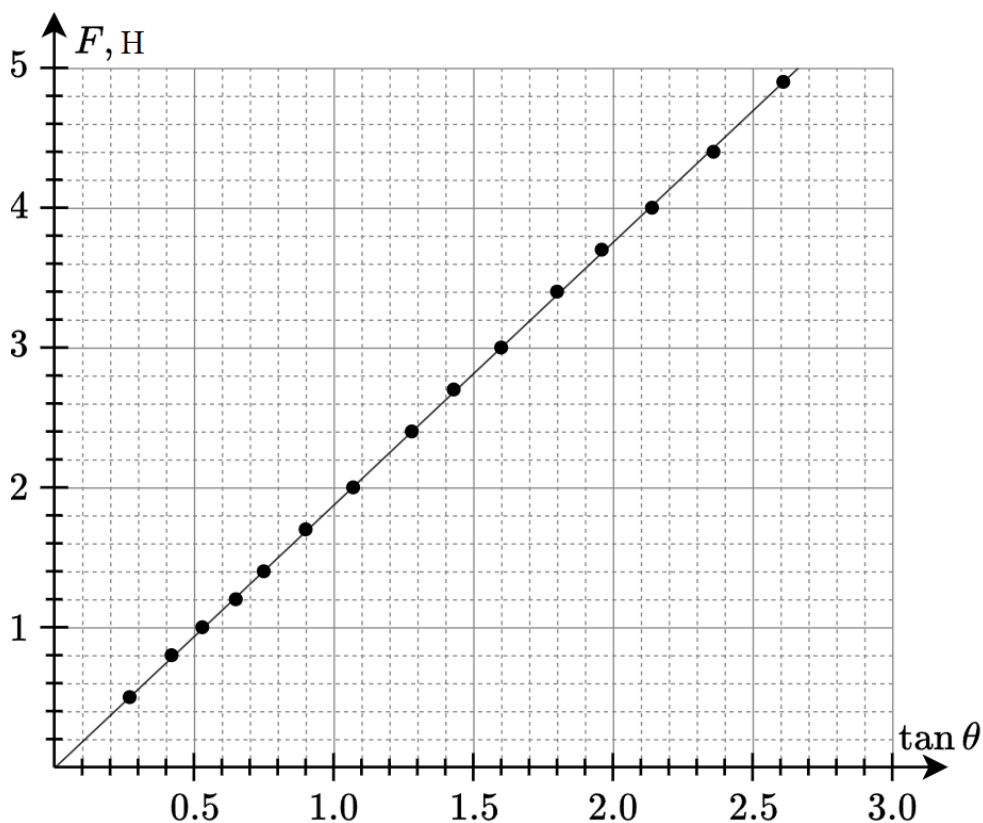
Отсюда получаем

$$F = Mg \tan \theta. \quad (2)$$

Считав точки из заданного в условии графика, можно построить новую линейную зависимость в координатах  $F(\tan \theta)$ . Таблица точек будет следующей:

$\theta^\circ$	15	23	28	33	37	42	47	52	55	58	61	63	65	67	69
$F, \text{ Н}$	0.5	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	2	2.4	2.7	3.0	3.4	3.7	4.0	4.4	4.9
$\tan \theta$	0.27	0.42	0.53	0.65	0.75	0.90	1.07	1.28	1.43	1.60	1.80	1.96	2.14	2.36	2.61

Начертим новый график зависимости и проведём сглаживающую прямую:



Коэффициент наклона для данного графика равен:

$$b = 1.875 \text{ Н.}$$

Отсюда масса термоса Маргулана равна

$$M = \frac{b}{g} = 191 \text{ г.}$$

Содержание	Баллы
Нарисован график $F(N)$	2.0
<i>Оси подписаны и оцифрованы</i>	+0.5/2.0
<i>Нанесены все точки в соответствии с таблицей</i>	+1.0/2.0
<i>Проведена сглаживающая прямая</i>	+0.5/2.0
Рассчитан коэффициент наклона графика (графически или по МНК)	0.5
Записано уравнение (1)	0.5
<i>Не учтено свободное слагаемое <math>F_0</math></i>	-0.2
Вычисление массы $m$ (по наклону или решением уравнения (1) по двум точкам)	0.2
Ответ в пределах 8.4-8.6 г	0.8
<i>В пределах 8.2-8.8 г.</i>	-0.3
<i>Вне диапазона</i>	-0.8
Погрешность вызвана неточностью динамометра. Если вместо этого использован МНК для погрешности, ставится полный балл	0.5
Формула расчёта погрешности наклона по МНК / методу границ	0.3
<i>Методом границ без учёта множителя 2</i>	-0.2
Погрешность измерения массы около 0.1 г	0.2
<b>Итого за часть А</b>	<b>5.0</b>
Записано уравнение (2)	1.0
Численно записаны значения $F$ и $\theta$ из графика в условии по 12-15 точкам	0.7
<i>По 8-11 точкам</i>	-0.2
<i>7 или меньше точек</i>	-0.7
Верно записаны значения $\tan \theta$ из экспериментальных точек	0.3
Построен график зависимости $F(\tan \theta)$	2.0
<i>Оси подписаны и оцифрованы</i>	+0.5/2.0
<i>Нанесены все точки в соответствии с таблицей</i>	+1.0/2.0
<i>Проведена сглаживающая прямая</i>	+0.5/2.0
Вычисление массы $M$ (по наклону или решением уравнения (2) по двум точкам)	0.2
Ответ в пределах 190-192 г	0.8
<i>В пределах 188-194 г</i>	-0.3
<i>Вне диапазона</i>	-0.8
<b>Итого за часть Б</b>	<b>5.0</b>
<b>Итого</b>	<b>10.0</b>