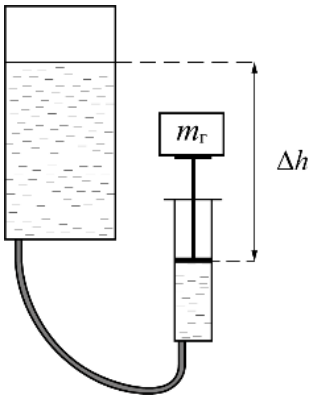
Задача 1.8.4. Физика в медицине (20 баллов). Для измерения некоторых технических характеристик медицинского шприца экспериментатор Глюк собрал установку, изображенную на рисунке. Исследуемый шприц он закрепил в вертикальном положении. Вместо иглы к нему присоединил тонкую гибкую трубку, второй конец которой соединил с отверстием в дне цилиндрического сосуда. Затем Глюк измерил разность уровней Δh воды в сосуде и шприце, при которой поршень шприца начинал двигаться вверх в процессе плавного подъема сосуда. Оказалось, что величина Δh зависит от массы $m_г$ груза, закрепленного на верхнем упоре поршня. Результаты измерений зависимости $\Delta h(m_г)$ он представил в таблице, в которой также приведена $\Delta h_х$ для груза неизвестной массы $m_х$.



Примечания: массой поршня можно пренебречь; воздушная прослойка между поршнем и водой в шприце отсутствует; плотность воды $\rho = 1{,}0 \cdot 10^3$ кг/м^3; $g = 10$ Н/кг ,

Определите площадь S поршня и силу трения скольжения $F_{тр}$ между поршнем и стенкой шприца. Для этого:

1. Выведите теоретическую зависимость $\Delta h(m_г)$.
2. Постройте график экспериментальной зависимости $\Delta h(m_г)$
3. С помощью графика определите $F_{тр}$ и S.
4. Чему равна неизвестная масса $m_х$ груза в шестой строке таблицы?

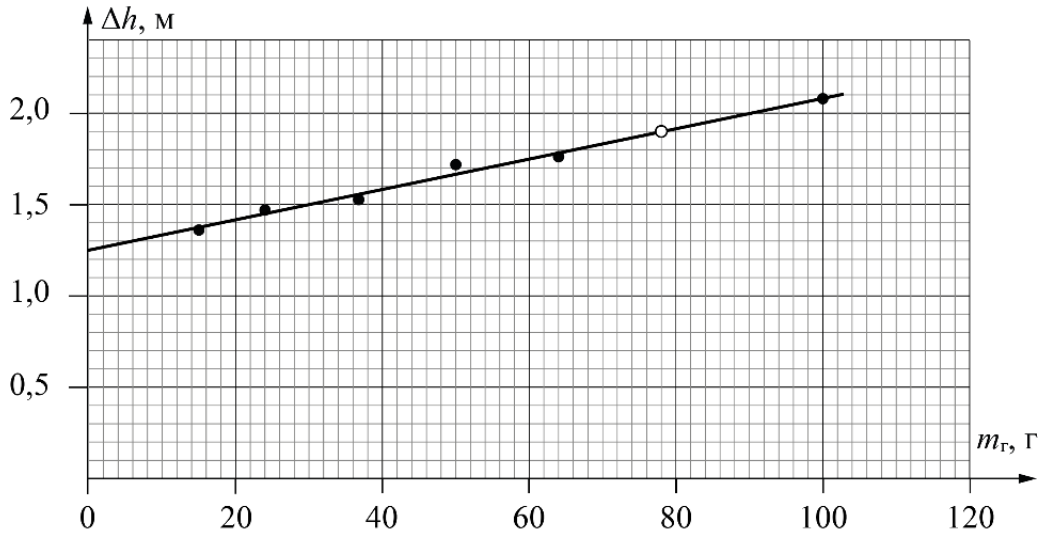
№	$m_г$, г	Δh, м
1	15	1,36
2	24	1,47
3	37	1,53
4	52	1,72
5	64	1,76
6	$m_х$	1,90
7	100	2,08

Решение (М. Чжан, С. Кармазин).

1. При равномерном движении поршня вверх сила тяжести груза и сила трения между поршнем и стенкой шприца уравновешены силой давления столба воды высотой Δh (атмосферное давление можно не учитывать):

$$m_г g + F_{тр} = \rho g S \Delta h,$$

Откуда



(1)

2. Мы видим, что Δh линейно зависит от $m_г$ (см. график).

3. Для вычисления углового коэффициента прямой линии на графике удобно использовать точку $m_{г1}$ = 6 г, Δh_1 = 1,3 м, а также $m_{г2}$ = 90 г, Δh_2 = 2 м.

Из формулы (1) и графика вычисляем угловой коэффициент

$$k = \frac{1}{\rho S} = \frac{\Delta h_2 - \Delta h_1}{\Delta m_г} = \frac{0,7}{0,084}\left(\frac{м}{кг}\right) = 8,33\left(\frac{м}{кг}\right)$$

и находим площадь поршня $S = \frac{1}{k\rho} = \frac{1}{8330}\,м^2 = 1,2\ см^2$.

Из графика видно, что при $m_г$ = 0 прямая линия пересекает вертикальную ось в точке Δh_0 = 1,25 м. В соответствие с (1) находим $F_{тр} = \rho g S \Delta h_0 = 10^3 10 \cdot 1,2 \cdot 10^{-4}\ 1,25\ Н = 1,5\ Н$.

4. Из графика видно, что при Δh_x = 1,9 м масса груза должна быть равной m_x = 78 г.

№	**Задача 1.8.4. Критерии оценивания (20 баллов)**	**Баллы**
1	Получена зависимость (1)	5
2	Построен график зависимости $\Delta h(m_г)$	5
	Указаны единицы измерения по обоим осям (1 балл)	
	Выбран разумный масштаб осей (1 балл)	
	Нанесены значения у делений осей (1 балл)	
	Нанесены экспериментальные точки (1 балл)	
	Через экспериментальные точки проведена прямая (1 балл)	
3	Найдена площадь поршня $S \in$ (1,15 см^2 – 1,25см^2)	4
	$S \in$ (1,10 см^2 – 1,14 см^2) или (1,26 см^2 – 1,30 см^2) (2 балла)	
	$S \in$ (1,00 см^2 – 1,09 см^2) или (1,31 см^2 – 1,40 см^2) (1 балл)	
4	С помощью графика определена $F_{тр}$: $F_{тр} \in$ (1,45 Н – 1,55 Н)	4
	$F_{тр} \in$ (1,40 Н – 1,44 Н) или (1,56 Н – 1,60 Н) (2 балла)	
	$F_{тр} \in$ (1,30 Н – 1,39 Н) или (1,61 Н – 1,70 Н) (1 балл)	
5	Найдена масса груза m_x: $m_x \in$ (76 г – 80 г)	2
	$m_x \in$ (73 – 75 г) или (81 – 83 г) (1 балл)	