

9 класс Смешанное трение

Решение.

Часть 1.

Скрепим два магнитных шарика вместе. Поместим их в пустую акриловую трубку. Будем постепенно наклонять трубку, слегка постукивая по ней. В определенный момент шарики начнут уверенно (не останавливаясь после постукивания) скатываться по поверхности трубки (Рис. 1).

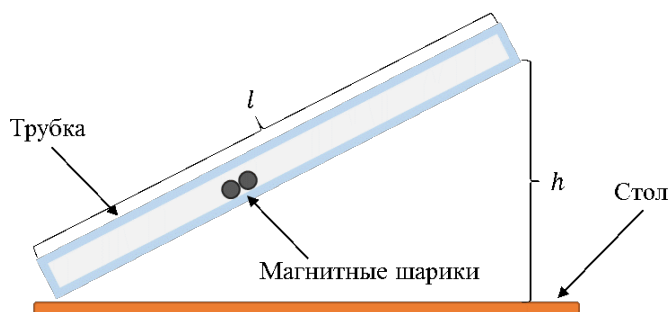


Рис. 1. Установка для измерения коэффициента трения шариков о внутреннюю поверхность трубки

Измерим по длине трубки и уровню поднятия одного из ее концов тангенс наклона угла трубки, соответствующий коэффициенту трения шариков о поверхность трубки:

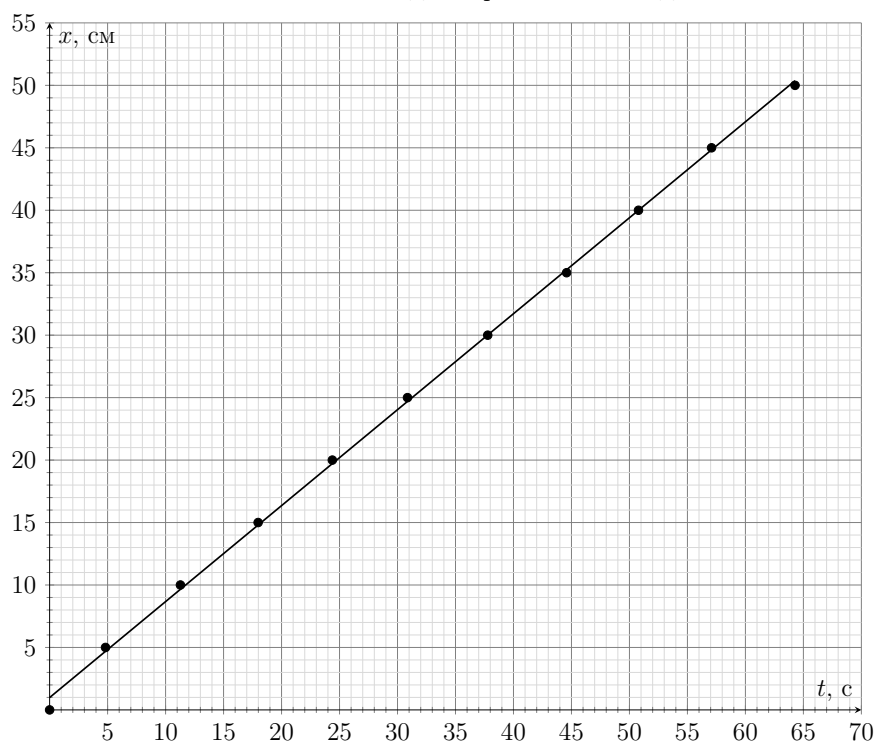
h , см	11.7	11.8	12.2	12.6	11.8
----------	------	------	------	------	------

Отсюда для h получаем: $h = (12.0 \pm 0.4)$ см. Измерим длину пустой трубки $L = (33.0 \pm 0.1)$ см. Коэффициент трения рассчитывается как тангенс угла наклона трубки — $\mu = \frac{h}{\sqrt{l^2 - h^2}} = (0.36 \pm 0.02)$

Часть 2.

1. Снимем зависимость координаты от времени при вертикальном скольжении шарика вдоль одной из стенок трубки и построим её график. Для этого с помощью мерной ленты и маркера нанесем на трубку шкалу с шагом 5 см. Запускать шарик будем так, как написано в условии — вдоль стенки трубки. Результаты измерений и график представлены ниже.

x , см	t , с
0	0
5	4.82
10	11.28
15	17.98
20	24.38
25	30.86
30	37.78
35	44.58
40	50.78
45	57.08
50	64.28

Зависимость x от t для вертикального падения

2. Как видно из графика, практически с самого начала движения (в рамках масштаба по горизонтальной оси) шарик движется с постоянной скоростью. Таким образом, в дальнейшем будем считать движение шарика равномерным на всем пути при любых положениях наклона трубки.

$t, \text{ c}$	64.28	60.18	62.24
----------------	-------	-------	-------

3. Рассчитаем среднее время, требующееся шарiku на преодоление 50 см пути, при разных, близких к вертикальному, положениях трубки, после чего рассчитаем среднюю скорость движения шарика в вертикальной трубке: Получаем $t = (62 \pm 2) \text{ c}$, откуда $V = (0.80 \pm 0.02) \text{ см/с}$.

Часть 3.

1. Снимем зависимость времени, необходимого для перемещения шарика в трубке на 50 см, от угла ее наклона. Рассчитаем по этим данным зависимость установившейся скорости шарика от угла наклона трубки. Угол будем определять из данных о длине трубки с глицерином $l_0 = (102.5 \pm 0.1) \text{ см}$ и вертикальной координате ее конца, поднятого над столом.

h	$t, \text{ c}$	$V, \text{ см/с}$	$\cos \alpha$	$V / \cos \alpha, \text{ см/с}$	$\text{tg } \alpha$	$\sin \alpha$
94.2	74.63	0.67	0.35	1.92	2.69	0.94
81.6	92.97	0.54	0.58	0.92	1.39	0.81
50	213	0.23	0.87	0.27	0.57	0.5
66.4	125.57	0.4	0.75	0.53	0.88	0.66
58.4	171.34	0.29	0.81	0.36	0.71	0.58
74.2	105.1	0.48	0.67	0.71	1.09	0.74
90.2	81.23	0.62	0.44	1.4	2.04	0.9

2. Запишем уравнения движения для шарика внутри трубки, введя оси как показано на Рис.2.

$$\begin{cases} \text{Ox: } 0 = mg \sin \alpha - F_a \sin \alpha - \mu N - k_{\parallel} V \\ \text{Oy: } 0 = N - mg \cos \alpha + F_a \cos \alpha \end{cases} \quad (1)$$

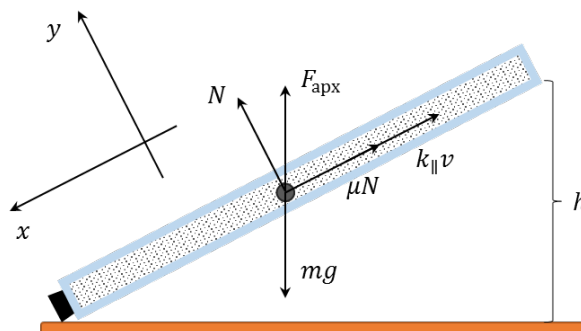
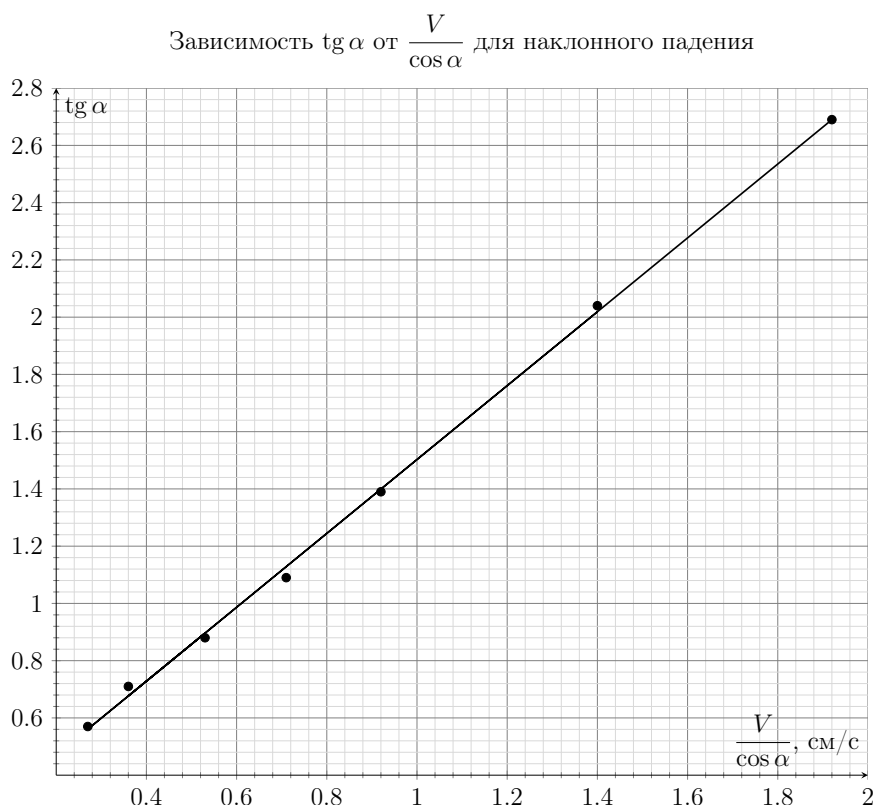


Рис. 2.

Преобразуем их в зависимость:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{k_{\parallel}}{mg - F_a \cos \alpha} \frac{V}{\cos \alpha} + \mu \quad (2)$$

Полученная зависимость в координатах $\operatorname{tg} \alpha$ от $\frac{V}{\cos \alpha}$ является линейной. Построим график этой зависимости.



3. Из графика получаем $\mu = (0.21 \pm 0.02)$. Как видно, значение коэффициента трения, полученное в этом упражнении, сильно отличается от коэффициента трения, полученного в Части 1. Объяснить это можно тем, что силы межмолекулярного взаимодействия, отвечающие за силу трения, сильно зависят от окружения. В силу того, что шарик имеет очень малую площадь соприкосновения с внутренней поверхностью трубки, смена окружения сильно влияет на коэффициент трения. Так, для цилиндра, скользящего в трубке, отличие в коэффициентах трения уже будет меньше.