

В этой задаче можно не оценивать погрешности.

Задание

1. Измерьте с максимальной точностью массу воскового карандаша и массу магнита.
2. Установите алюминиевую трубку в отверстие в бруске таким образом, чтобы трубка оказалась в вертикальном положении. Поместите магниты в алюминиевую трубку так, чтобы они отталкивались друг от друга. Придумайте и опишите установку, позволяющую воздействовать на верхний магнит в трубке с известной силой.
3. Опишите, какие манипуляции требуется провести с установкой для того, чтобы иметь возможность изменять силу воздействия на магнит в максимально широком диапазоне.
4. В максимально широком диапазоне измерьте зависимость силы F отталкивания между магнитами от расстояния y между их ближними торцами (Рис. 1).
5. Постройте график зависимости силы F отталкивания между магнитами от расстояния y между их ближними торцами.

Оборудование. Два магнита, восковой карандаш, деревянная линейка 50 см, штатив с лапкой, игла от шприца, брусок с трубкой.

Примечание.

Каждый магнит состоит из двух магнитиков, притянувшихся друг к другу.

Масса линейки указана на самой линейке.

С карандашом можно производить любые манипуляции, но он всего один. Замена испорченного карандаша не предусмотрена.

Соблюдайте осторожность при работе с иглой! Колпачок снимается с иглы только при её использовании. В остальное время колпачок должен быть надет.

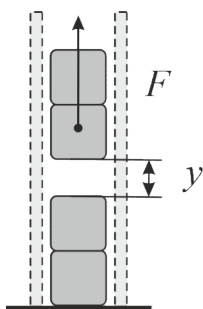


Рис. 1: Измеряемые величины.



Решение

Сначала измерим массу m_m магнита и массу m_p карандаша. Для этого на лапке штатива уравновесим линейку и найдем координату ее центра масс $x_0 = 24.3 \pm 0.1$ см. Поместим на один из ее концов (координата $x_e = 50.0 \pm 0.1$ см) карандаш и вновь уравновесим линейку. Координата центра масс системы имеет значение $x_p = 27.9 \pm 0.1$ см. Используя правило моментов, рассчитаем массу карандаша:

$$m_p = m \frac{x_p - x_0}{x_e - x_p} = 3.78 \text{ г} \quad (1)$$

Контрольные измерения проводились с линейкой массы $m = 23.23 \pm 0.03$ г. Теперь поместим на конец линейки магнит. Координата равновесия линейки в этом случае составит $x_m = 27.4 \pm 0.1$ см. Тогда масса магнита:

$$m_m = m \frac{x_m - x_0}{x_e - x_m} = 7.28 \text{ г} \quad (2)$$

Для начала измерим расстояние l_0 от верхнего края трубки до верхнего торца верхнего магнита, когда расстояние между торцами магнитов равно нулю. Чтобы достичь нулевого расстояния между магнитами их надо сориентировать так, чтобы они притягивались друг к другу. Группу из притянувшихся друг к другу магнитов поместим на дно трубки. Опустим в трубку восковой карандаш плоским торцом вниз. Карандаш должен упереться в верхний торец стопки магнитов. С помощью иглы сделаем отметку на карандаше на уровне верхнего края трубки (можно просто воткнуть туда иглу). Достанем карандаш и с помощью линейки измерим расстояние $l_0 = 5.10 \pm 0.05$ см от его нижнего торца до отметки.

Далее, развернём магниты так, чтобы они отталкивались и поместим их в трубку, как указано в условии задачи (Рис. 1). Поднесем к трубке иголку. Она будет притягиваться к магниту. Иголлка будет притягиваться с наибольшей силой в тот момент, когда она будет находится рядом с торцом магнита. Измерим таким способом положение верхнего торца магнита относительно верхнего конца трубки $l_1 = 1.70 \pm 0.05$ см. И найдем расстояние между ближними гранями магнитов:

$$y_1 = l_0 - l_1 = 3.4 \pm 0.1 \text{ см.} \quad (3)$$

Альтернативный способ по измерению длины l_1 заключается в том, чтобы максимально аккуратно «нащупать» карандашом верхний магнит в трубке. Требуется коснуться торцом карандаша верхнего торца магнита. Как только карандаш коснется верхнего магнита, требуется с помощью иглы сделать отметку на карандаше, соответствующую верхнему краю трубки. Для повышения точности данный эксперимент следует повторить несколько раз.

Сила отталкивания между магнитами уравнивается силой тяжести верхнего маг-



нита:

$$F_1 = m_m g. \quad (4)$$

Поставим на верхний магнит карандаш. Сделав отметку на карандаше, найдем расстояние между верхней гранью магнита и верхним краем трубки $l_2 = 2.30 \pm 0.05$ см. Расстояние между гранями: $y_2 = l_0 - l_2$ см.

$$y_2 = l_0 - l_2 = 2.8 \pm 0.1 \text{ см.} \quad (5)$$

Так как на магните стоит еще карандаш, то сила взаимодействия между магнитами, уравнивает еще и силу тяжести карандаша:

$$F_2 = (m_m + m_p)g. \quad (6)$$

Теперь соберём более сложную экспериментальную установку. Положим линейку таким образом, чтобы она одной точкой (координата x_2) лежала на лапке штатива, а второй точкой (координата x_1) на верхнем кончике карандаша, опирающегося на магниты в трубке (Рис. 2). В этом случае дополнительную силу P , действующую на карандаш можно рассчитать, используя правило моментов:

$$P = mg \frac{x_0 - x_2}{x_1 - x_2}. \quad (7)$$

Тогда сила взаимодействия между магнитами в такой установке составит:

$$F = (m_m + m_p)g + P \quad (8)$$

Измерим таким образом несколько точек. Однако, такой способ дает возможность регулировать дополнительную силу P в пределах от 0 до mg . Сделав в установке небольшое изменение, можно существенно повысить верхнюю границу диапазона, в котором изменяется сила. Для этого один конец линейки надо поместить под лапку штатива, а вторую опору сместить так, чтобы она находилась ближе к лапке, чем центр масс линейки (Рис. 3). Расчетные формулы при этом останутся неизменными.

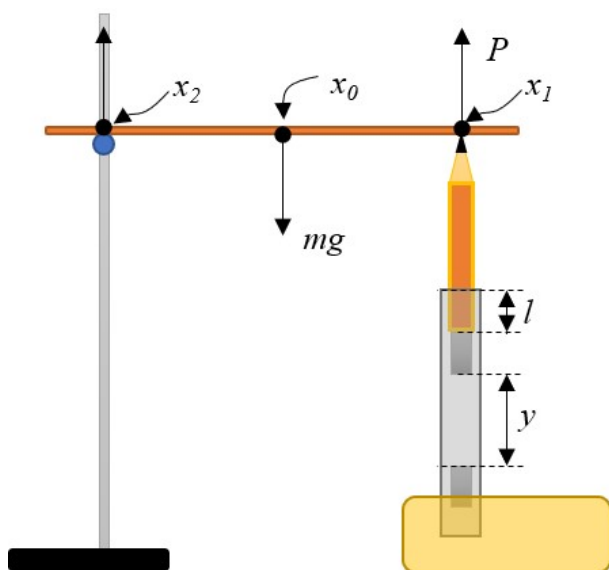


Рис. 2: Установка №1

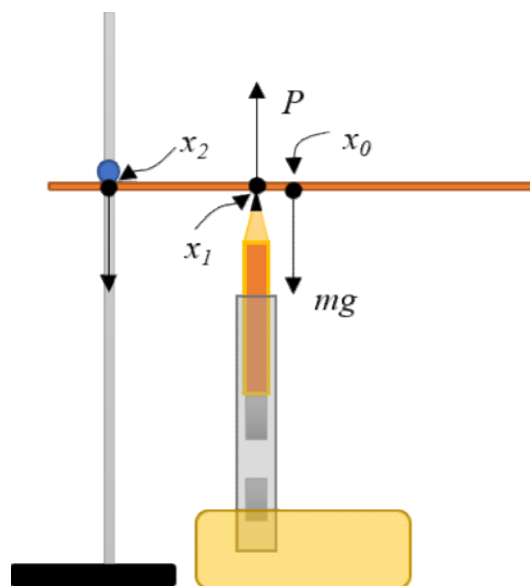


Рис. 3: Установка №2

Занесем данные в Таблицу 1. Построим график зависимости силы F взаимодействия от расстояния y между ближними гранями магнита (Рис. 4).

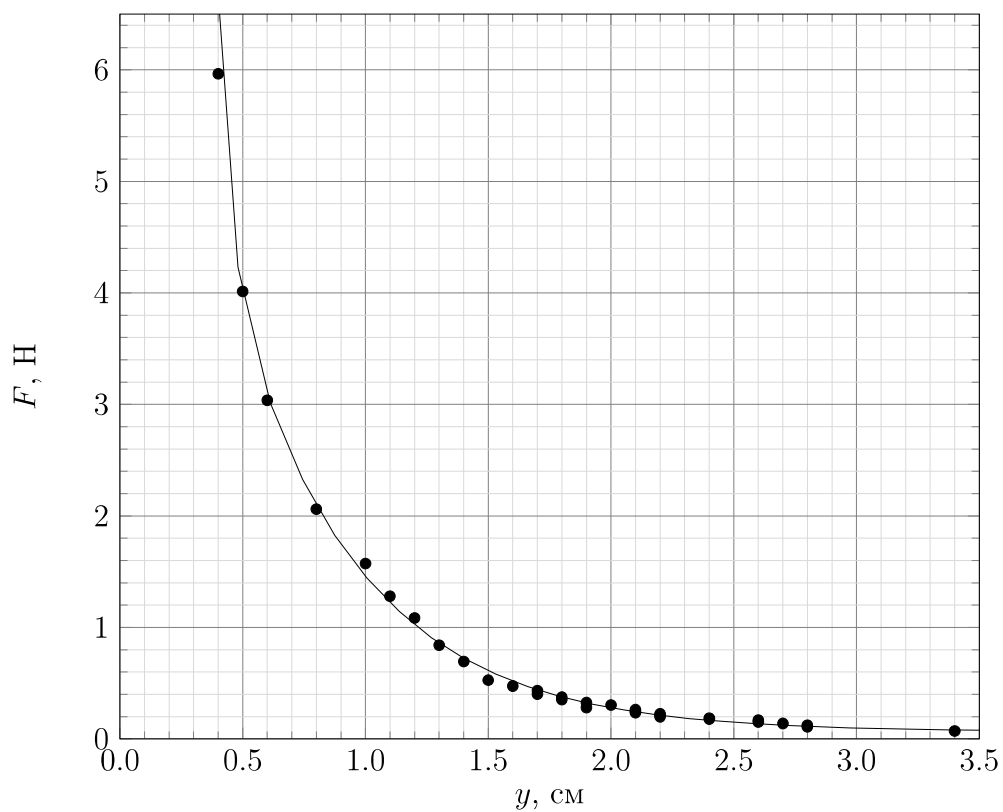
Рис. 4: График зависимости $F(y)$.

Таблица 1: Результаты измерений и вычислений.

x_1 , см	x_1 , см	P , Н	F , Н	l , см	y , см
			0.07	1.7	3.4
			0.11	2.3	2.8
0.0	50.0	0.1	0.23	2.9	2.2
0.0	45.0	0.1	0.21	2.9	2.2
0.0	40.0	0.1	0.20	2.9	2.2
0.0	37.0	0.1	0.19	2.7	2.4
0.0	35.0	0.1	0.18	2.7	2.4
0.0	33.0	0.1	0.17	2.5	2.6
0.0	30.0	0.0	0.15	2.5	2.6
0.0	28.0	0.0	0.14	2.4	2.7
0.0	26.0	0.0	0.12	2.3	2.8
4.0	50.0	0.1	0.24	3.0	2.1
8.0	50.0	0.1	0.25	3.0	2.1
12.0	50.0	0.2	0.26	3.0	2.1
16.0	50.0	0.2	0.28	3.2	1.9
20.0	50.0	0.2	0.30	3.1	2.0
23.0	50.0	0.2	0.33	3.2	1.9
45.0	50.0	1.2	1.28	4.0	1.1
44.0	50.0	1.0	1.08	3.9	1.2
42.0	50.0	0.7	0.84	3.8	1.3
40.0	50.0	0.6	0.69	3.7	1.4
36.0	50.0	0.4	0.53	3.6	1.5
34.0	50.0	0.4	0.47	3.5	1.6
32.0	50.0	0.3	0.43	3.4	1.7
30.0	50.0	0.3	0.40	3.4	1.7
28.0	50.0	0.3	0.37	3.3	1.8
26.0	50.0	0.2	0.35	3.3	1.8
46.0	50.0	1.5	1.57	4.1	1.0
47.0	50.0	2.0	2.06	4.3	0.8
48.0	50.0	2.9	3.04	4.5	0.6
48.5	50.0	3.9	4.01	4.6	0.5
49.0	50.0	5.9	5.97	4.7	0.4