

Условие

Задача 9-2 Магнитные взаимодействия.

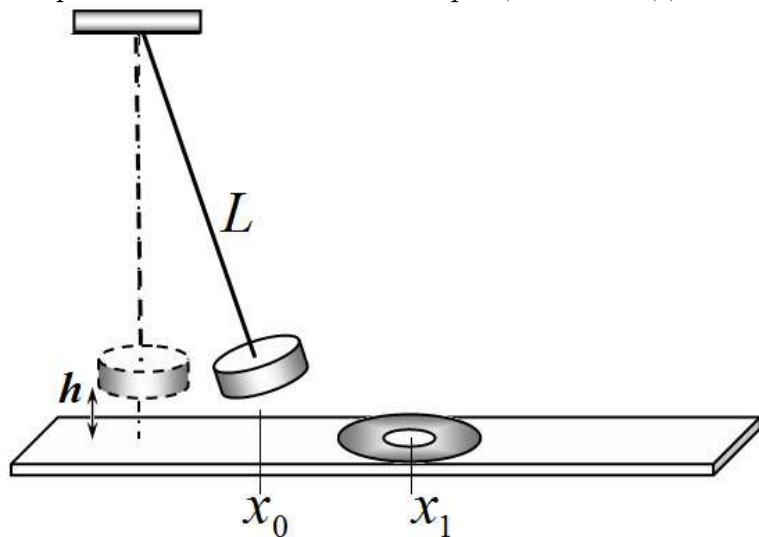
Приборы и оборудование: магнит на подвесе, штатив, железная шайба, линейка секундомер.



Для повышения устойчивости рекомендуем использовать бифилярный подвес.

Часть 1. Точка отрыва.

Подвесьте магнит над столом на некоторой высоте h . Под магнитом расположите металлическую шайбу. Если двигать шайбу по столу (или лучше по линейке), не далеко от магнита, то магнит отклоняется из-за притяжения к шайбе. При некотором положении шайбы магнит «отрывается» от шайбы и возвращается в исходное положение.



1.1 Измерьте зависимость положения шайбы x_0 и отклонения магнита x_1 в момент «отрыва» от высоты подвески магнита h . Постройте графики полученных зависимостей.

1.2 Используя полученные данные, постройте график зависимости силы притяжения магнита и шайбы от расстояния между ними.

Считайте, что сила притяжения F направлена вдоль прямой, соединяющей центры шайбы и магнита. Приведите формулы, по которым вам удалось рассчитать эту силу. Единицей измерения силы считайте силу тяжести магнита – иными словами, вам необходимо найти отношения силы взаимодействия к силе тяжести $f = \frac{F}{mg}$.

Часть 2. Колебания.

Подвесьте магнит над плитой штатива на некоторой высоте h . При этом магнит будет притягиваться к плите.

2.1 Измерьте зависимость периода колебаний магнита от расстояния до плиты h . Постройте график полученной зависимости.

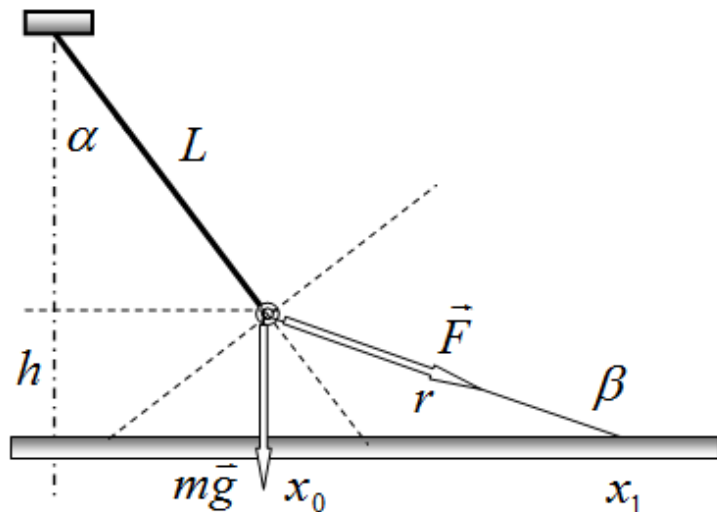
2.2 Используя формулу для периода колебаний маятника (без магнитного притяжения) $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$, рассчитайте зависимость силы притяжения от расстояния до плиты h . Постройте график полученной зависимости.

Воспользуйтесь подсказками 1 части.

Решение

Задача 9-2 Магнитные взаимодействия.

Часть 1. Точка отрыва.



Рассмотрим условия равновесия подвешенного магнита. Так сумма моментов сил, действующих на магнит, равна нулю, то должно выполняться условие:

$$mg \sin \alpha = F \sin(\beta - \alpha). \quad (1)$$

Так как длина подвеса L значительно больше высоты h , то угол отклонения маятника α мал. Поэтому

$$\sin \alpha \approx \frac{x_0}{L}, \quad \sin(\beta - \alpha) \approx \sin \beta = \frac{h}{r},$$

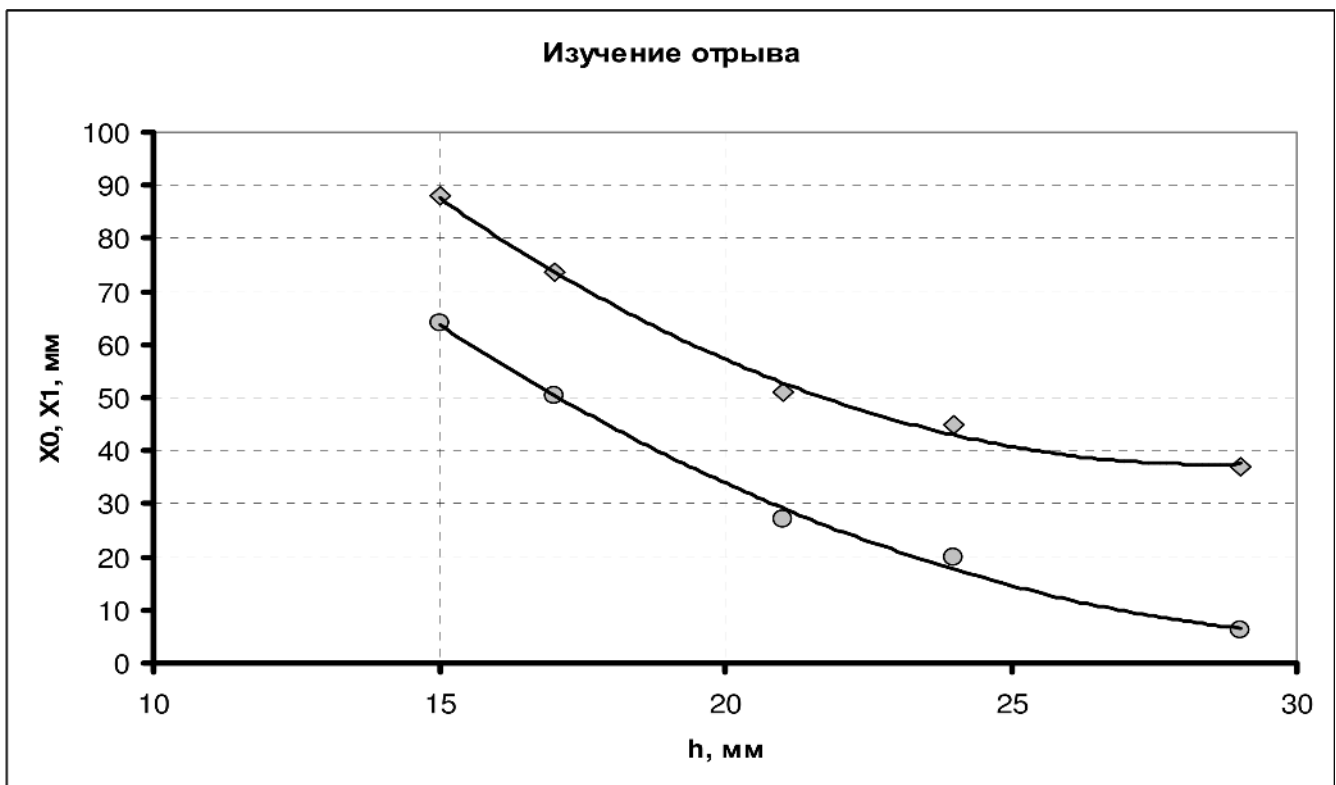
Где $r = \sqrt{h^2 + (x_1 - x_0)^2}$ - расстояние между центрами магнита и кольца. С учетом этих приближений, из формулы (1) выразим

$$\frac{F}{mg} = \frac{x_0 r}{Lh}. \quad (2)$$

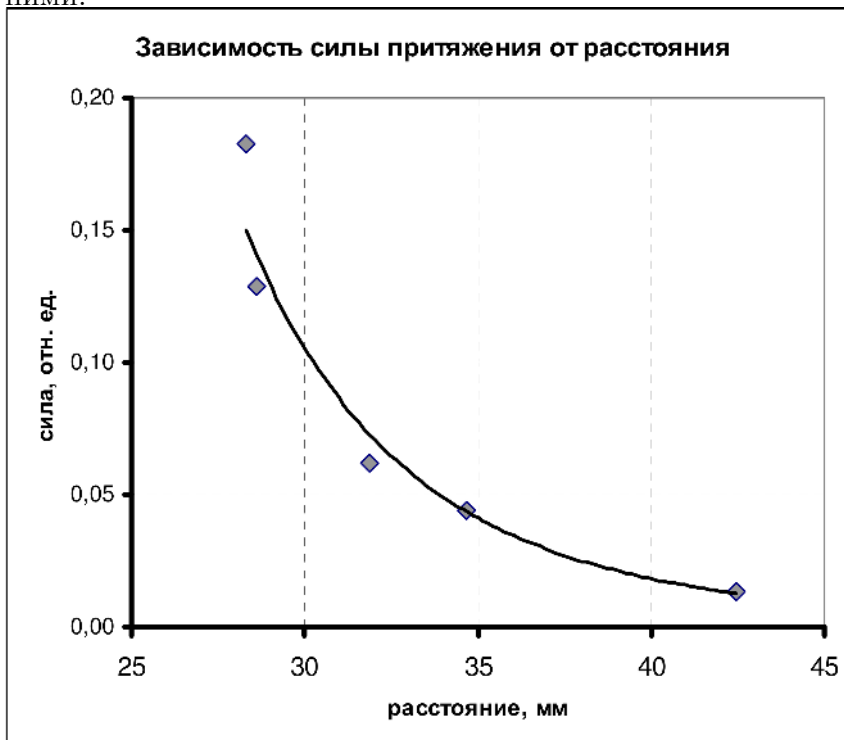
В таблице 1 приведены результаты измерений и необходимых расчетов. **Таблица 1.**

h , мм	X_0 , мм	X_1 , мм	r , мм	F
15	64	88	28,3	0,183
17	50,5	73,5	28,6	0,129
21	27	51	31,9	0,062
24	20	45	34,7	0,044
29	6	37	42,4	0,013

На рисунке представлен график полученной зависимости.



Ниже показан график зависимости силы притяжения магнита и кольца от расстояния между ними.



Интересно отметить, что эта зависимость хорошо описывается степенной зависимостью, причем сила обратно пропорциональна шестой степени расстояния.

Часть 2. Колебания.

Формулу для периода колебаний математического маятника с учетом постоянной силы магнитного притяжения можно преобразовать к виду

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{ml}{mg + F}}. \quad (3)$$

Из этой формулы выразим силу взаимодействия

$$mg + F = \frac{4\pi^2 ml}{T^2}. \quad (4)$$

Запишем аналогичное выражение для колебаний без магнитного взаимодействия

$$mg = \frac{4\pi^2 ml}{T_0^2}. \quad (5)$$

Из этих формул легко получить формулу для расчета силы взаимодействия по измеренным значениям периода колебаний.

$$\frac{F}{mg} = \frac{T_0^2}{T^2} - 1. \quad (6)$$

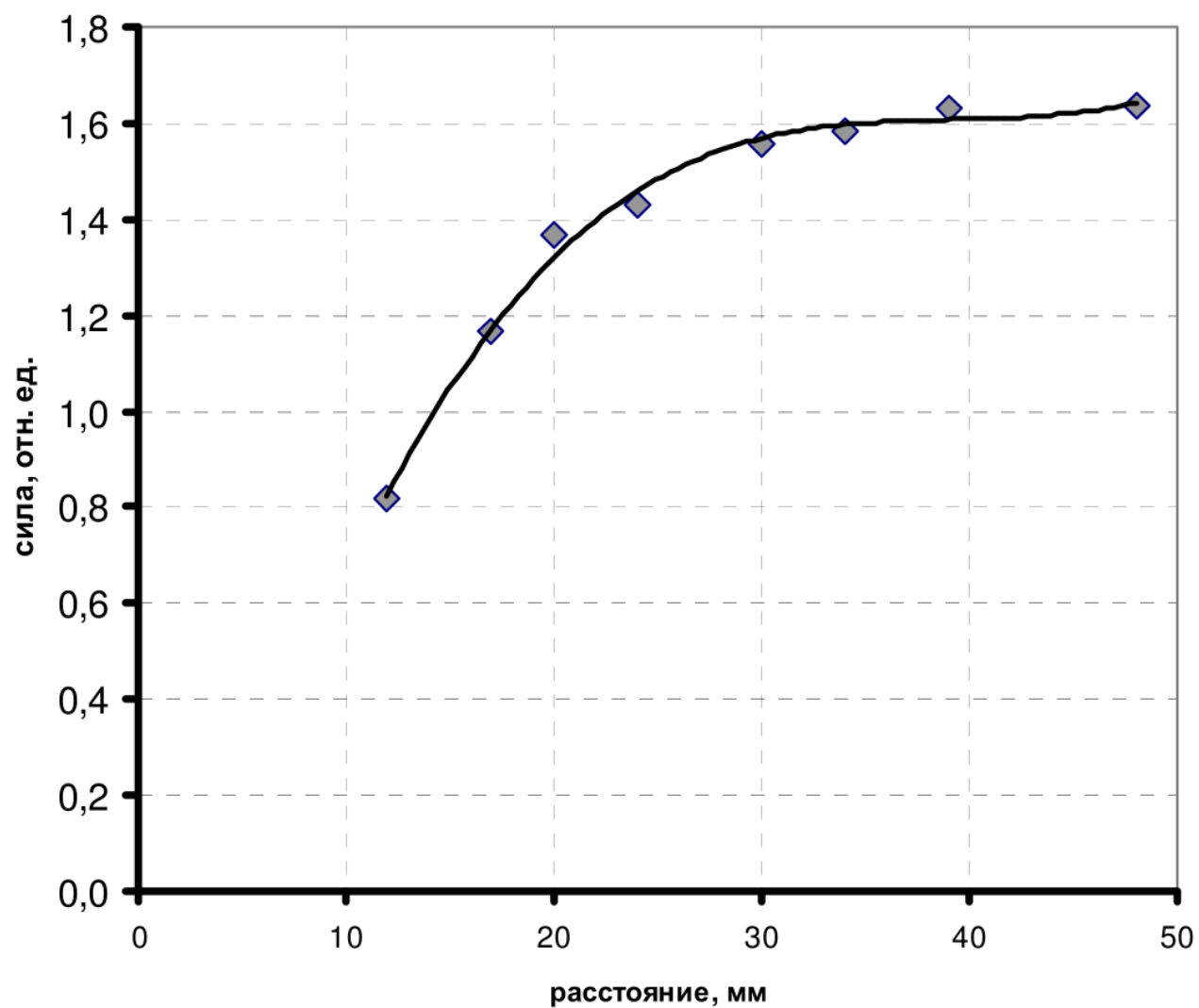
В таблице 2. приведены результаты измерений периодов колебаний при различных расстояниях между магнитом и плитой. Рядом показан график полученной зависимости.

Таблица 2.

H , мм	T , с	F
48	1,637	
39	1,633	0,0049
34	1,585	0,0667
30	1,556	0,107
24	1,432	0,307
20	1,369	0,430
17	1,164	0,978
12	0,816	3,025

Также в таблице приведены результаты расчетов силы взаимодействия по формуле (6). Ниже показан график зависимости силы притяжения от расстояния. В данном случае зависимость близка к r^{-5}

Зависимость периода колебаний от расстояния



Зависимость силы от расстояния

