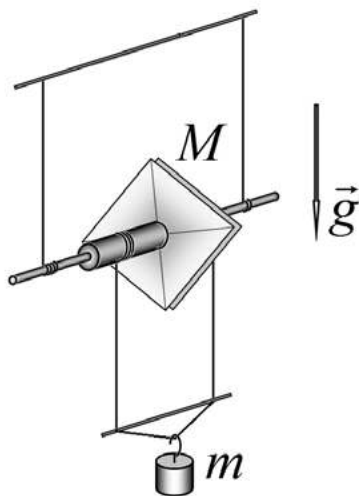


Условие

Задание 1. Квадратная вертушка

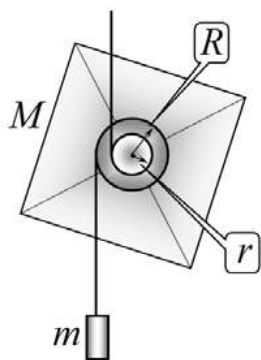
Не снимайте установку со штатива. не разматывайте ее нити – сами не восстановите. Следите, чтобы нити все время были намотаны с одной стороны (см. рисунок). Если установка вышла из строя, немедленно обращайтесь за помощью к организаторам!



В данной задаче Вам необходимо исследовать движение системы, состоящей из вертушки на нитях (см. рис.) и подвешенного груза в зависимости от массы подвешенного груза. Во всех пунктах считайте движение вертушки равноускоренным.

Оборудование: вертушка, подвешенная на штативе, набор грузов: 2 груза по 50 г, набор гаек (масса гайки Вам будет указана), мерная лента, секундомер с памятью этапов.

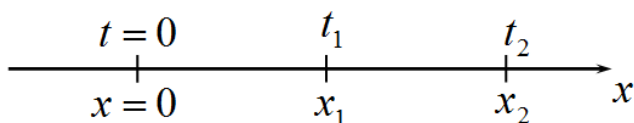
Внимательно осмотрите установку, особенно способ намотки нитей. В зависимости от массы подвешенного груза вертушка может двигаться как вверх, так и вниз. Для этого подвесьте 2 груза по 50 г. Убедитесь, что при этом вертушка поднимается вверх. После того, как вертушка поднялась в крайнее верхнее положение. снимите один груз, убедитесь, что при этом вертушка начинает опускаться вниз.



Обозначим: M - масса вертушки; m - масса подвешенного груза; r - радиус стержня, на который намотаны нити вертушки; R - радиус валиков, на которые намотаны нити подвеса грузов.

В данной задаче вам необходимо измерять ускорение, с которым движется ось вертушки. Положительным направлением движения вертушки считается **движение вверх**.

При измерении ускорения сложно (практически невозможно) точно зафиксировать начало движения, Т.е. добиться выполнения «теоретического» условия $v_0 = 0$.



Поэтому для измерения ускорения рекомендуем использовать следующую методику. На вертикальной измерительной ленте (или на нитях подвеса вертушки) установите 3 отметки. Когда ось вертушки будет проходить через нулевую точку, запускайте секундомер. Затем (с помощью памяти этапов) измерьте времена t_1, t_2 , когда ось проходит через отметки x_1, x_2 . При использовании такой методики Вы можете подтолкнуть вертушку из начального положения.

1. Получите формулу для расчета ускорения a по измеренным значениям x_1, x_2 и t_1, t_2 .

При изучении движения вверх и вниз можете использовать различные отметки на ленте. Все измерения рекомендуется повторять несколько раз и рассчитывать средние значения ускорений. Тщательно продумайте, в каком порядке Вы будете изменять массы подвешиваемых грузов.

2. Измерьте зависимость ускорения оси вертушки от массы подвешенного груза. Постройте график полученной зависимости.

Результаты измерений занесите в таблицу 1 Листов ответов, график постройте на бланке Листов ответов. Все длины измеряйте в см, а ускорения в см/с². Укажите значения координат x_1, x_2 , при которых Вы фиксировали времена t_1, t_2 .

3. Предложите простой и достаточно точный метод измерения отношения радиусов R/r . Проведите необходимые измерения и рассчитайте это отношение.

4. Используя только результаты измерений, проведенных в п. 2 и 3, рассчитайте массу вертушки M . Оцените погрешность ее измерения ΔM .

Не забудьте кратко описать ваши методы проведения измерений и расчетов в пп. 3-4. Приведите расчетные формулы, окончательные результаты занесите в Листы ответов. Вывод расчетных формул с необходимыми пояснениями приведите на рабочих листах.

Приведенные в Листах ответов численные результаты без краткого описания способа их получения не оцениваются!

Решение

Задание 1. Квадратная вертушка (Решение).

1. На основании закона равноускоренного движения запишем значения координат тела в два различных момента времени

$$\begin{aligned} x_1 &= v_0 t_1 + \frac{a}{2} t_1^2 \\ x_2 &= v_0 t_2 + \frac{a}{2} t_2^2 \end{aligned} \quad (1)$$

Из этой систему уравнений, избавляясь от неизвестной (да и ненужной) начальной скорости, получаем формулу для расчета ускорения

$$a = 2 \frac{\frac{x_2}{t_2} - \frac{x_1}{t_1}}{t_2 - t_1}. \quad (2)$$

2. Ниже приведены Таблицы результатов измерений.

Движение вниз. Координаты точек фиксации времени $x_1 = -10$ см, $x_2 = -20$ см. Таблица результатов измерений времен и расчета ускорений. Для каждой массы груза проведено 3 измерения, для них рассчитаны ускорения, после чего найдено его среднее значение $\langle a \rangle$. Ниже

построен требуемый график зависимости ускорения оси вертушки от массы подвешенного груза.

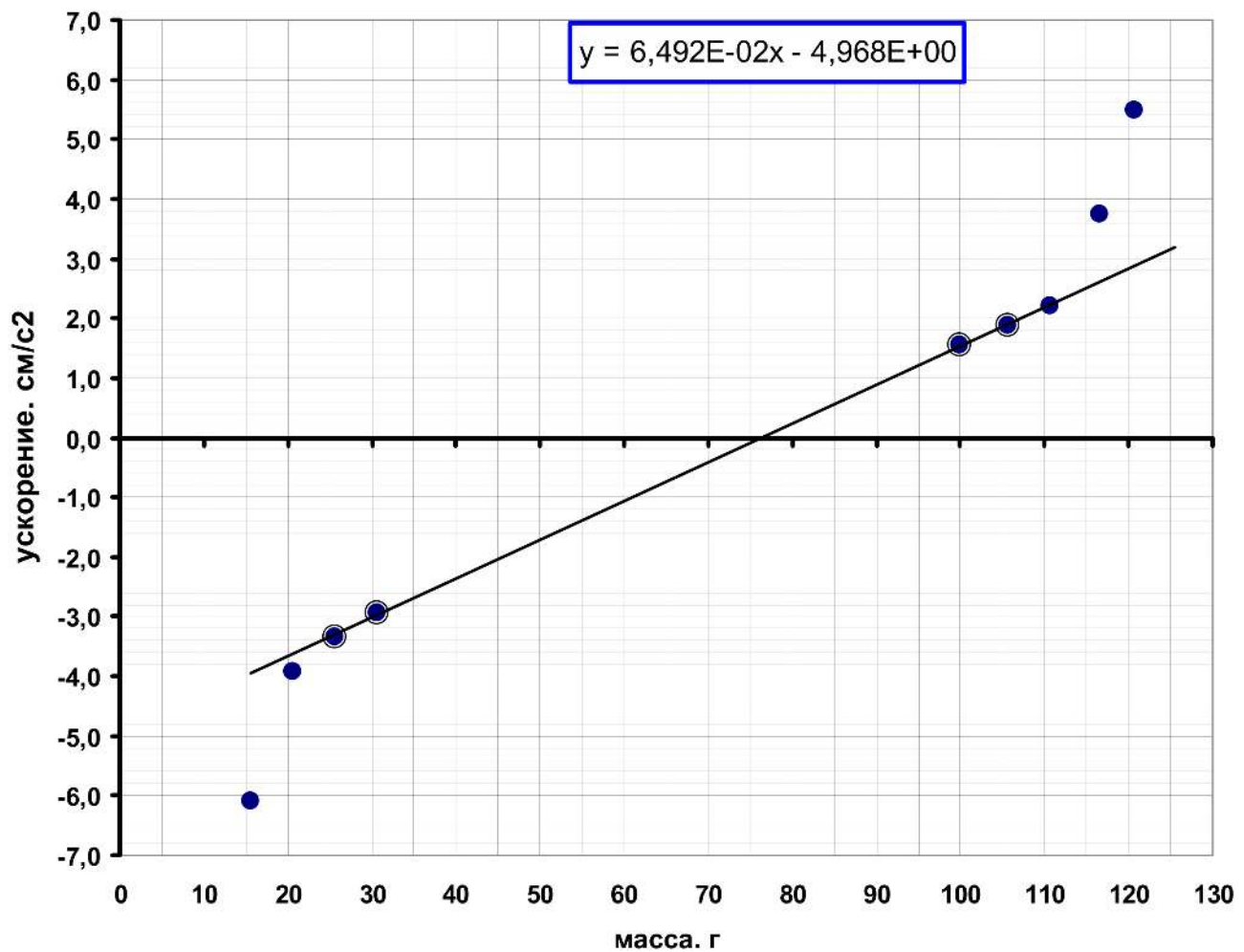
m, г	t_1, с	t_2, с	a, см/с²	$\langle a \rangle$, см/с²
11,6	1,19	1,80	-8,878	-9,173
	1,40	1,98	-10,201	
	1,28	1,91	-8,440	
15,6	1,43	2,18	-5,817	-6,086
	1,38	2,10	-6,326	
	1,38	2,11	-6,116	
20,6	1,39	2,30	-3,300	-3,910
	1,53	2,40	-4,132	
	1,48	2,33	-4,299	
25,6	1,68	2,63	-3,478	-3,348
	1,63	2,61	-3,118	
	1,73	2,69	-3,447	
30,6	1,91	2,97	-2,827	-2,939
	1,94	2,97	-3,067	
	1,94	2,99	-2,923	

Движение вниз.

Координаты точек фиксации времени $x_1 = 10$ см, $x_2 = 20$ см. Таблица результатов измерений времен и расчета ускорений.

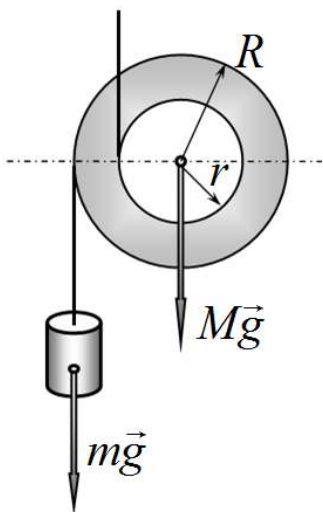
m, г	t_1, с	t_2, с	a, см/с²	$\langle a \rangle$, см/с²
120,6	1,14	1,84	5,993	5,481
	1,12	1,80	6,419	
	1,08	1,85	4,030	
115,6	0,96	1,70	3,643	3,755
	0,95	1,69	3,535	
	0,98	1,71	4,087	
110,6	0,91	1,69	2,167	2,216
	0,88	1,66	1,755	
	0,92	1,68	2,724	
105,6	0,84	1,65	0,534	1,870
	0,84	1,65	0,534	
	0,82	1,57	1,450	
100,0	0,75	1,47	0,756	1,540
	0,77	1,48	1,483	
	0,80	1,50	2,381	

Зависимость ускорения от массы груза



3. Отношение радиусов равно отношению длин нитей, намотанных на установку. Измерив длины нитей с помощью мерной ленты, мы нашли, что

$$\frac{R}{r} = 1,60 \quad (3)$$



4. Простое рассмотрение условия равновесия вертушки (см. рис), дает возможность утверждать, что ускорение вертушки будет равно нулю при выполнении условия

$$m(R - r) = Mr \quad (4)$$

Откуда следует, что масса вертушки может быть рассчитана по формуле

$$M = m^{(0)} \left(\frac{R}{r} - 1 \right). \quad (5)$$

где $m^{(0)}$ - масса груза, при которой его ускорение стремится к нулю

Измерить непосредственно эту массу невозможно.

Поэтому следует на построенном графике следует провести сглаживающую прямую линию, соединяющую обе ветви полученной зависимости (см. график). Конечно, предпочтительнее использовать МНК, однако можно провести ее и «на глаз». Далее следует определить точку ее пересечения с осью абсцисс – и определить искомую массу.

По нашим измерениям эта масса равна $m^{(0)} = 77$ г. Тогда по формуле (5) получаем, что масса вертушки равна

$$M = (30 \pm 5) \text{ г.} \quad (6)$$