

ФИЗИКА, 1 СЕМЕСТР, ЗАОЧНОЕ ОБУЧЕНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.1

ДВИЖЕНИЕ С ПОСТОЯННЫМ УСКОРЕНИЕМ

Запустите программу «Открытая физика». Выберите «Механика» и «Свободное падение тел». Нажмите сверху слева внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Экспериментальное определение ускорения свободного падения на поверхности Земли.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Рассмотрим движение тела, брошенного со скоростью V_0 под углом α к горизонту (рис.1). Если пренебречь силой сопротивления воздуха, то на тело будет действовать только сила тяжести. Это движение можно разложить на два независимых простых движения: движение по вертикали вдоль оси Y и движение по горизонтали вдоль оси X . Участвуя одновременно в этих двух движениях, тело будет перемещаться по траектории, имеющей форму параболы.

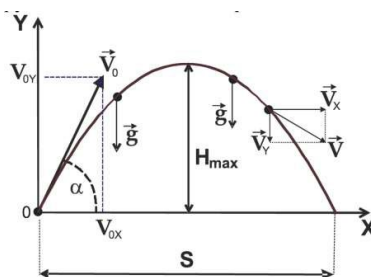


Рисунок 1.

Спроектируем вектор начальной скорости V_0 на оси координат:

$$V_{0x} = V_0 \cos \alpha$$

$$V_{0y} = V_0 \sin \alpha$$

Движение тела вдоль оси Y : равнопеременное с ускорением g , которое направлено вертикально вниз.

Движение тела вдоль оси X : равномерное, так как проекция ускорения свободного падения на эту ось равна нулю, а сопротивлением воздуха можно пренебречь. Поэтому скорость тела вдоль этого направления не меняется: $V_x = V_{0x} = \text{const}$

Каждое из двух движений описывается системой двух уравнений: уравнением пути и уравнением скорости:

Для движения вдоль оси Y	Для движения вдоль оси X
$y = V_{0y}t - \frac{gt^2}{2}$ $V_y = V_{0y} - gt$	$x = V_{0x}t$ $V_x = V_{0x} = \text{const}$

1. Найдем **уравнение траектории**, по которой движется тело. С этой целью для уравнений X и Y исключим время t . Тогда получим уравнение

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{g}{2V_0^2 \cos^2 \alpha} \cdot x^2 \quad (1)$$

Это уравнение параболы. Траектория движения тела - парабола.

2. Найдем **время подъема t_n** тела на максимальную высоту и **максимальную высоту** подъема $H_{\max}$. При подъеме вверх вдоль оси Y тело уменьшает свою скорость и, достигнув максимальной высоты, останавливается. Следовательно, в верхней точке траектории вертикальная составляющая скорости обращается в нуль:

$$V_y = V_{0y} - gt_n = 0, \quad (2)$$

где t_n - время подъема тела на максимальную высоту. Отсюда

$$t_n = \frac{V_0 \cdot \sin \alpha}{g} \quad (3)$$

$$Y_{\max} = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g} \quad (4)$$

3. Найдем дальность полета S . В силу симметрии траектории время подъема на максимальную высоту и время падения с этой высоты равны между собой. Поэтому для времени всего движения тела получаем:

$$t_{\text{полное}} = 2t_n = \frac{2V_0 \sin \alpha}{g} \quad (5)$$

Дальность полета S - это перемещение вдоль оси X за все время движения:

$$S = V_{0X} \cdot t = \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{g} \quad (6)$$

4. Скорость в любой заданный момент времени ti определяется по теореме Пифагора:

$$\vec{V} = \vec{V}_X + \vec{V}_Y, \quad V = \sqrt{V_X^2 + V_Y^2} \quad (7)$$

МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Таблица 1. Варианты исходных данных

Номер варианта	Начальная высота H , (м)	Начальный угол α , °	Номер варианта	Начальная высота H , (м)	Начальный угол α , °
1	10	60	9	5	45
2	30	25	10	15	40
3	50	30	11	25	50
4	60	35	12	35	55
5	10	45	13	40	30
6	0	70	14	45	35
7	20	75	15	50	60
8	40	63	16	55	50

Начертите в тетради Таблицу 2 и назовите ее «Результаты измерений».

Таблица 2. Результаты измерений

№ опыта	Скорость	Квадрат скорости	Макс. высота	Ускорение g_i	Отклонение g_i от среднего	Квадрат отклонения
i	V_{0i} (м/с)	V_{0i}^2 (м ² /с ²)	$Y_{\text{MAX}i}$ (м)	g_i , (м/с ²)	$g_i - \langle g \rangle$, (м/с ²)	$(g_i - \langle g \rangle)^2$, (м ² /с ⁴)
1	15	225	...	...	...	...
2	17	...	...	...	...	...
3	18	...	...	...	...	...
4	19	...	...	...	...	...
5	20	...	...	...	...	...
6	21	...	...	...	...	...
7	22	...	...	...	...	...
8	23	...	...	...	...	...
9	24	...	...	...	...	...
10	25	625	...	...	...	...
Число опытов n		Угол α	$\frac{1}{2}(\sin \alpha)^2$	Среднее $\langle g \rangle$		сумма, $\sum_{i=1}^{10} (g_i - \langle g \rangle)^2$
10		...	...	...		...

Запустите программу «Открытая физика». Выберите раздел «Механика» и запустите двойным щелчком работу «Свободное падение тел»:

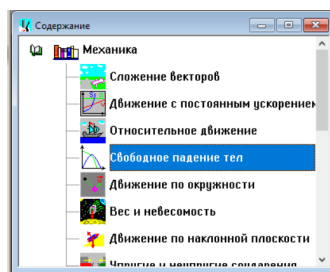


Рисунок 2 – Путь к лабораторной работе «Свободное падение тел»

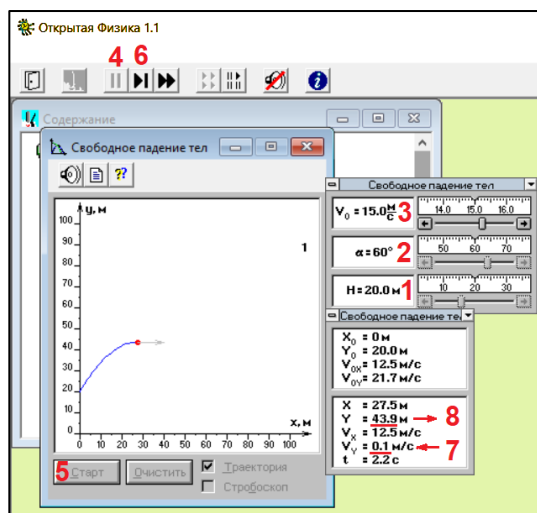


Рисунок 3 – Красными цифрами отмечена последовательность шагов при проведении измерений

Порядок измерений

- 1) Настройте высоту H согласно вашему варианту.
- 2) Настройте угол броска α также согласно вашему варианту.
- 3) Настройте величину начальной скорости V_0 равной 15 м/с.
- 4) Нажмите кнопку паузы на верхней панели
- 5) Затем нажмите кнопку «Старт»
- 6) Нажимая кнопку пошагового движения наблюдайте за изменением вертикальной скорости V_y .
- 7) Нужно остановиться, когда значение скорости V_y по модулю будет наиболее близко к нулю.
- 8) Как только это произойдет, необходимо записать значение Y в таблицу 2 в колонку «Макс. высота» Y_{max_i} . Завершить опыт, нажав кнопку .
- 9) Вернитесь к п.3) и выставьте новое значение начальной скорости V_0 из Таблицы 2. Повторите измерения с п.3) по 8) для всех значений скорости.

Обработка результатов измерений

- 10) Для каждого опыта вычислите и запишите в таблицу экспериментальное значение ускорения свободного падения g_i :

$$g_i = \frac{1}{2} (\sin \alpha)^2 \cdot \frac{V_{0i}^2}{Y_{max_i}}$$

- 11) В конце столбца сосчитайте среднее арифметическое всех полученных значений:

$$\langle g \rangle = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n G_i$$

12) В столбце «Отклонение g_i от среднего» вычислите разность каждого g_i и среднего значения $\langle g \rangle$

13) В следующем столбце посчитайте квадраты этих отклонений. В конце столбца посчитайте их сумму.

14) Используя полученные значения вычислите среднеквадратичную ошибку (СКО) среднего по формуле

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (G_i - \langle g \rangle)^2}{n \cdot (n - 1)}}$$

15) Вычислите абсолютную погрешность измерения, умножив СКО на коэффициент Стьюдента. Значение коэффициента Стьюдента необходимо выбрать из Таблицы 3 Приложения 1, исходя из того, что для наших измерений мы берем доверительную вероятность $\alpha=0,95$

$$\Delta g = t(\alpha, n) \cdot S_n$$

16) Записать результат работы в форме доверительного интервала: среднее $\pm$ абсолютная погрешность:

$$g = \langle g \rangle \pm \Delta g \text{ с доверительной вероятностью } \alpha=0,95$$

17) Вычислить относительную ошибку результата по сравнению с теоретическим значением ускорения свободного падения $g_0 = 9,81 \text{ м/с}^2$ в процентах:

$$\delta = \frac{|\langle g \rangle - g_0|}{g_0} \cdot 100\%$$

17) Записать выводы по проделанной работе, в котором описать, попадает ли теоретическое значение ускорения свободного падения в доверительный интервал, полученный в виртуальном эксперименте.

Пример выполнения расчета приведен в Приложении 2

Письменно ответьте на следующие вопросы:

1. Что называется механическим движением? Что называется поступательным и вращательным движением?
2. Что такое система отсчета? Назовите составляющие системы отсчета.
3. Что такое радиус-вектор точки?
4. Дайте определения основных кинематических характеристик движения. Какие из них являются векторными величинами?
5. Что называется средним и мгновенным вектором скорости точки? Что называется средним и мгновенным вектором ускорения точки? Как направлены эти вектора?
6. Запишите кинематические уравнения равномерного и равнопеременного движения.
7. Как определить путь, пройденный телом при неравномерном движении?

8. Что характеризуют нормальное и тангенциальное ускорения? Как разложить вектор полного ускорения на нормальную и тангенциальную составляющие?
9. Дайте определения кинематических характеристик вращательного движения.
10. Как направлен вектор элементарного углового перемещения? Как определить направление угловой скорости и углового ускорения?
11. Как связаны между собой линейные и угловые величины?

Таблица 3. Значения коэффициента Стьюдента $t(\alpha, n)$
в зависимости от числа опытов n и доверительной вероятности α

Число опытов n	Доверительная вероятность α		
	$\alpha = 0,9$	$\alpha = 0,95$	$\alpha = 0,99$
2	6,3	12,7	63,7
3	2,9	4,3	9,9
4	2,4	3,2	5,8
5	2,1	2,8	4,6
6	2,0	2,6	4,0
7	1,9	2,4	3,7
8	1,9	2,4	3,5
9	1,9	2,3	3,4
10	1,8	2,3	3,3

Пример расчета

№ опыта	Скорость	Квадрат скорости	Макс. высота	Ускорение	Отклонение g_i от среднего	Квадрат отклонения
i	V_{0i} (м/с)	V_{0i}^2 (м ² /с ²)	$Y_{\max,i}$ (м)	g_i (м/с ²)	$g_i - \langle g \rangle$ (м/с ²)	$(g_i - \langle g \rangle)^2$ (м ² /с ⁴)
1	15	225	7,50	11,26	1,28	1,645
2	17	289	10,32	10,50	0,53	0,280
3	18	324	11,92	10,20	0,22	0,049
4	19	361	14,32	9,45	-0,52	0,273
5	20	400	15,44	9,72	-0,26	0,067
6	21	441	17,51	9,44	-0,53	0,282
7	22	484	17,81	10,19	0,22	0,047
8	23	529	20,74	9,56	-0,41	0,168
9	24	576	22,89	9,44	-0,54	0,290
10	25	625	23,48	9,98	0,01	0,000
Число опытов n		Угол α	$(\sin \alpha)^2/2$	Среднее $\langle g \rangle$		сумма $\sum_i (g_i - \langle g \rangle)^2$
10		60	0,375	9,97		0,310

Среднеквадратичное отклонение среднего

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (g_i - \langle g \rangle)^2}{n \cdot (n - 1)}} = \sqrt{\frac{0,310}{10 \cdot 9}} = \sqrt{\frac{0,31}{90}} \approx 0,19 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Коэффициент Стьюдента для $\alpha=0,95$ и числа опытов $n = 10$ по Таблице 3:

$$t(\alpha, n) = 2,3$$

Абсолютная погрешность

$$\Delta g = S_n \cdot t(\alpha, n) = 2,3 \cdot 0,19 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \approx 0,43 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Ответ:

$$g = 9,97 \pm 0,43 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \text{ с доверительной вероятностью } \alpha=0,95.$$

Относительная погрешность

$$\delta = \frac{|9,97 - 9,81|}{9,81} \cdot 100\% = \frac{0,16}{9,81} \cdot 100\% \approx 1,6\%$$

Вывод: Эксперимент проведен достаточно качественно, так как теоретическое значение ускорения свободного падения попало в полученный доверительный интервал $[9,54 ; 10,4]$ м/с². Относительная погрешность составила 1,6%.