**Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет**

**информационных технологий, механики и оптики ** **УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР ОБЩЕЙ ФИЗИКИ ФТФ**

Группа R3137 К работе допущен Студент Ракин Илья Николаевич Работа выполнена Преподаватель Смирнов А. В. Отчет принят

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №1.02

Изучение скольжения тележки по наклонной плоскости

**Цели работы:**

Путём экспериментов проверить равноускоренность движения тележки по наклонной плоскости, определить величину ускорения свободного падения g.

**Процесс выполнения лабораторной работы:**

* Провести многократные измерения времени движения тележки по рельсу с фиксированным углом наклона.
* Провести измерения времени движения тележки по рельсу при разных углах наклона рельса к горизонту.
* Исследовать движения тележки при фиксированном угле наклона рельса, проверить равноускоренность движения тележки.
* Исследовать зависимость ускорения тележки от угла наклона рельса к горизонту, определить ускорение свободного падения.

**Объект исследования и метод экспериментального исследования**

Многократное измерение времени движения тележки по рельсу.

1. **Рабочие формулы и исходные данные.**

* **Зависимость проекции скорости тела от времени при поступательном равноускоренном движении:**

В которой:

– *проекция скорости на ось Ох в момент времени t = 0, м/с*

*– ускорение тела, м*/с2

**t** *– значение времени в данный момент, с*

* **Зависимость координаты тела от времени:**

Здесь:

– начальная координата

* **Линейная зависимость между перемещением и полуразностью квадратов значений времени:**

Где:

– координата первых оптических ворот, м

– координата вторых оптических ворот, м

– ускорение тележки, м/с2

– время прохождения тележкой первых оптических ворот, c

– время прохождения тележкой вторых оптических ворот, c

* **Формула для нахождения углового коэффициента** **методом наименьших квадратов:**
* **Формула для нахождения среднеквадратичного отклонения углового коэффициента методом наименьших квадратов:**

В которой:

**N** – количество экспериментальных точек (в нашем случае N = 5)

* **Абсолютная погрешность коэффициента для доверительной вероятности = 0,90:**
* **Относительная погрешность ускорения:**
* **Формула синуса угла наклона рельса к горизонту:**

Где:

– вертикальная координата на рельсе в точке = 0,22 м

– вертикальная координата на рельсе в точке = 1,0 м

– вертикальная координата на рельсе в точке = 0,22 м

– вертикальная координата на рельсе в точке = 1,0 м

– координата вторых оптических ворот

– координата вторых оптических ворот

* **Формула ускорения и его погрешности для каждой серии измерений:**

Где:

– среднее значение времени , с

среднее значение времени , с

Здесь:

приборная погрешность измерения координаты

приборная погрешность измерения координаты

абсолютная погрешность значений времени

абсолютная погрешность значений времени

* **Формулы для нахождения коэффициентов линейной зависимости:**
* **Формулы расчета среднеквадратического отклонения для ускорения свободного падения:**

Здесь:

* **Формула для определения абсолютной погрешности коэффициента для доверительной вероятности**  **:**
* **Формулы расчета относительной погрешности g:**
* **Формулы расчета погрешностей где :**

Где:

* **Формулы расчета погрешностей где :**

=

Где:

1. **Измерительные приборы**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *№ п/п* | *Наименование* | *Предел измерений* | *Цена деления* | *Класс точности* |  |
| 1 | Линейка на рельсе | 1,3 м | 1 см/дел | – | 5 мм |
| 2 | Линейка на угольнике | 250 мм | 1 мм/дел | – | 0,5 мм |
| 3 | ПКЦ-3 в режиме секундомера | 100 с | 0,1 с | – | 0,1 с |

1. **Процесс выполнения измерений**

Первым делом было необходимо установить направляющий рельс в горизонтальном положении, чтобы добиться неподвижности тележки при включении насоса. Установка горизонтального положения тележки проводилась вращением винта правой (одиночной) опоры. Далее с помощью угольника были получены вертикальные координаты верхнего края линейки в точках *x*=0,22 м и *x’*=1,0 м соответственно. Координаты *x* и *x’*, а также полученные величины *h0* и *h’0* были занесены в **Табл. 2**.

Далее стояла задача исследовать движение тележки при фиксированном угле наклона рельса, проверив тем самым равноускоренность движения тележки.

Затем исследовать зависимость ускорения тележки от угла наклона рельса к горизонту, определить ускорение свободного падения.

1. **Результаты прямых измерений.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| , м | , м | , мм | , мм |
| 0,220,0005 | 1,00,0005 | 2030,5 | 199 0,5 |

**Табл. 2**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Измеренные величины | | | |
|  |  |  |  |  |
| 1 | 0,15 | 0,40 | 1,4 | 2,5 |
| 2 | 0,15 | 0,50 | 1,2 | 2,6 |
| 3 | 0,15 | 0,70 | 1,2 | 3,2 |
| 4 | 0,15 | 0,90 | 1,2 | 3,7 |
| 5 | 0,15 | 1,10 | 1,2 | 4,2 |

**Табл. 3**

1. **Расчет результатов косвенных измерений (*таблицы, примеры расчетов*).**

Расчёт значений погрешностей :

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Измеренные величины | | | | Рассчитанные величины | |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | 0,15 | 0,40 | 1,4 | 2,5 | 0,25 ± 0,005 | 2,145 ± 0,201 |
| 2 | 0,15 | 0,50 | 1,2 | 2,6 | 0,35 ± 0,005 | 2,66 ± 0,200 |
| 3 | 0,15 | 0,70 | 1,2 | 3,2 | 0,55 ± 0,005 | 4,4 ± 0,239 |
| 4 | 0,15 | 0,90 | 1,2 | 3,7 | 0,75 ± 0,005 | 6,125 ± 0,272 |
| 5 | 0,15 | 1,10 | 1,2 | 4,2 | 0,95 ± 0,005 | 8,1 ± 0,306 |

**Табл. 3.1**

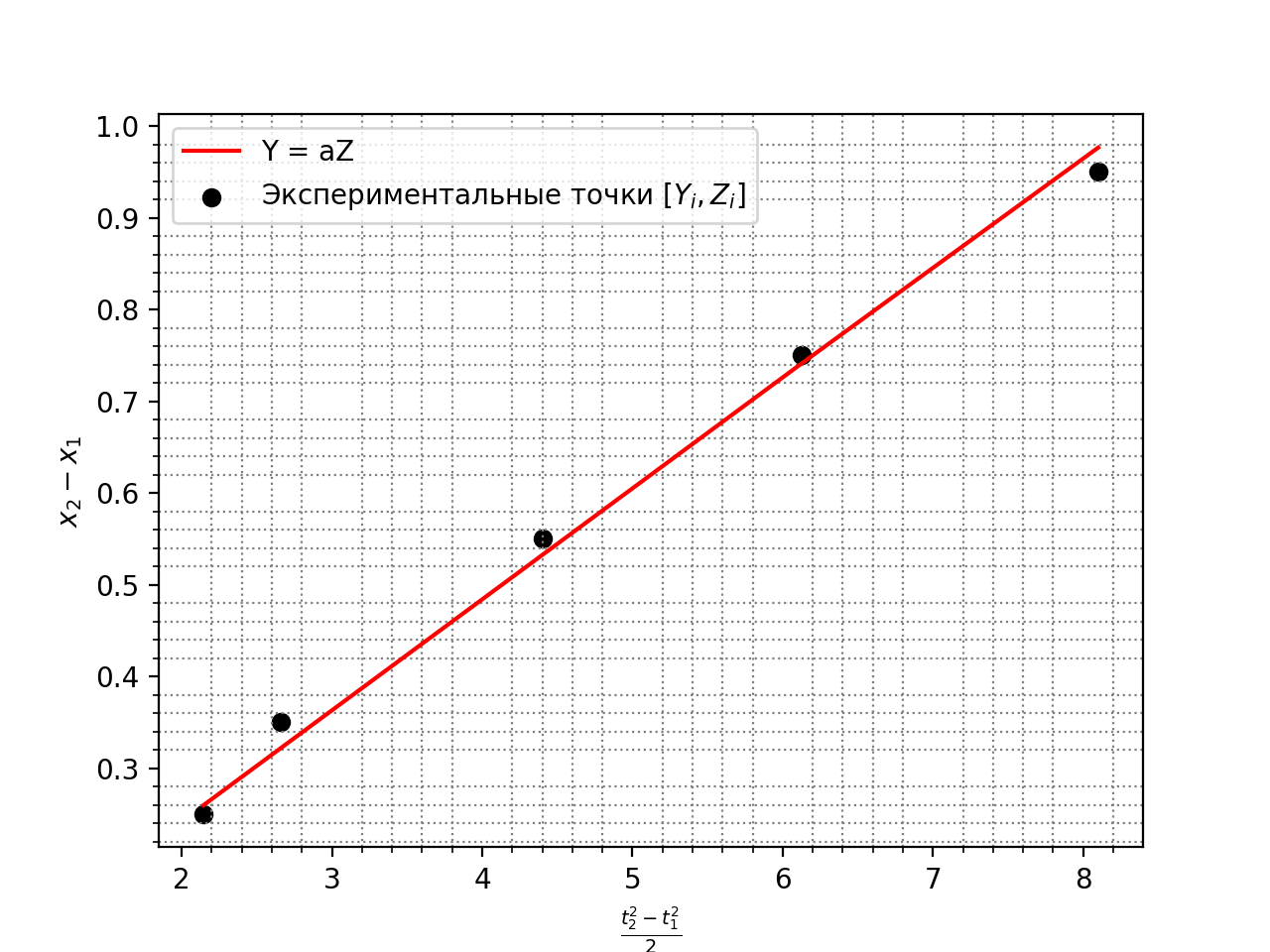
Расчёт значения ускорения тележки (N = 5):

Расчёт СКО ускорения тележки (N = 5):

Расчёт абсолютной погрешности коэффициента :

Относительная погрешность ускорения:

График зависимости Y(Z) с угловым коэффициентом равном ускорению:



|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | № |  |  |
| 1 | 211 | 200 | 1 | 1,1 | 4,1 |
| 2 | 1,2 | 4,1 |
| 3 | 1,2 | 4,2 |
| 4 | 1,1 | 4,1 |
| 5 | 1,2 | 4,2 |
| 2 | 221 | 201 | 1 | 0,9 | 3,1 |
| 2 | 0,8 | 3,0 |
| 3 | 0,9 | 3,0 |
| 4 | 0,9 | 3,0 |
| 5 | 0,9 | 3,0 |
| 3 | 231 | 201 | 1 | 0,7 | 2,5 |
| 2 | 0,7 | 2,5 |
| 3 | 0,7 | 2,5 |
| 4 | 0,8 | 2,6 |
| 5 | 0,9 | 2,7 |
| 4 | 240 | 202 | 1 | 0,6 | 2,2 |
| 2 | 0,6 | 2,2 |
| 3 | 0,6 | 2,1 |
| 4 | 0,6 | 2,2 |
| 5 | 0,6 | 2,1 |
| 5 | 250 | 202 | 1 | 0,5 | 1,9 |
| 2 | 0,5 | 1,9 |
| 3 | 0,5 | 1,9 |
| 4 | 0,4 | 1,8 |
| 5 | 0,5 | 1,9 |

**Табл. 4**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
| 1 | 0,009 | 1,16 ± 0,095 | 4,14 ± 0,095 | 0,120 ± 0,006 |
| 2 | 0,021 | 0,88 ± 0,087 | 3,02 ± 0,087 | 0,228 ± 0,015 |
| 3 | 0,033 | 0,76 ± 0,129 | 2,56 ± 0,129 | 0,318 ± 0,037 |
| 4 | 0,044 | 0,6 ± 0,066 | 2,16 ± 0,095 | 0,441 ± 0,043 |
| 5 | 0,056 | 0,48 ± 0,087 | 1,88 ± 0,087 | 0,575 ± 0,059 |

**Табл. 5**

Значения синуса угла наклона рельса к горизонту:

Расчёт среднего значения времени и (количество измерений N = 5):

Расчёт случайных погрешностей и

(при доверительной вероятности ,

количестве измерений и

коэффициенте Стьюдента ):

Расчёт абсолютных погрешностей и :

Расчёт среднего значения ускорения :

Расчёт абсолютной погрешности ускорения :

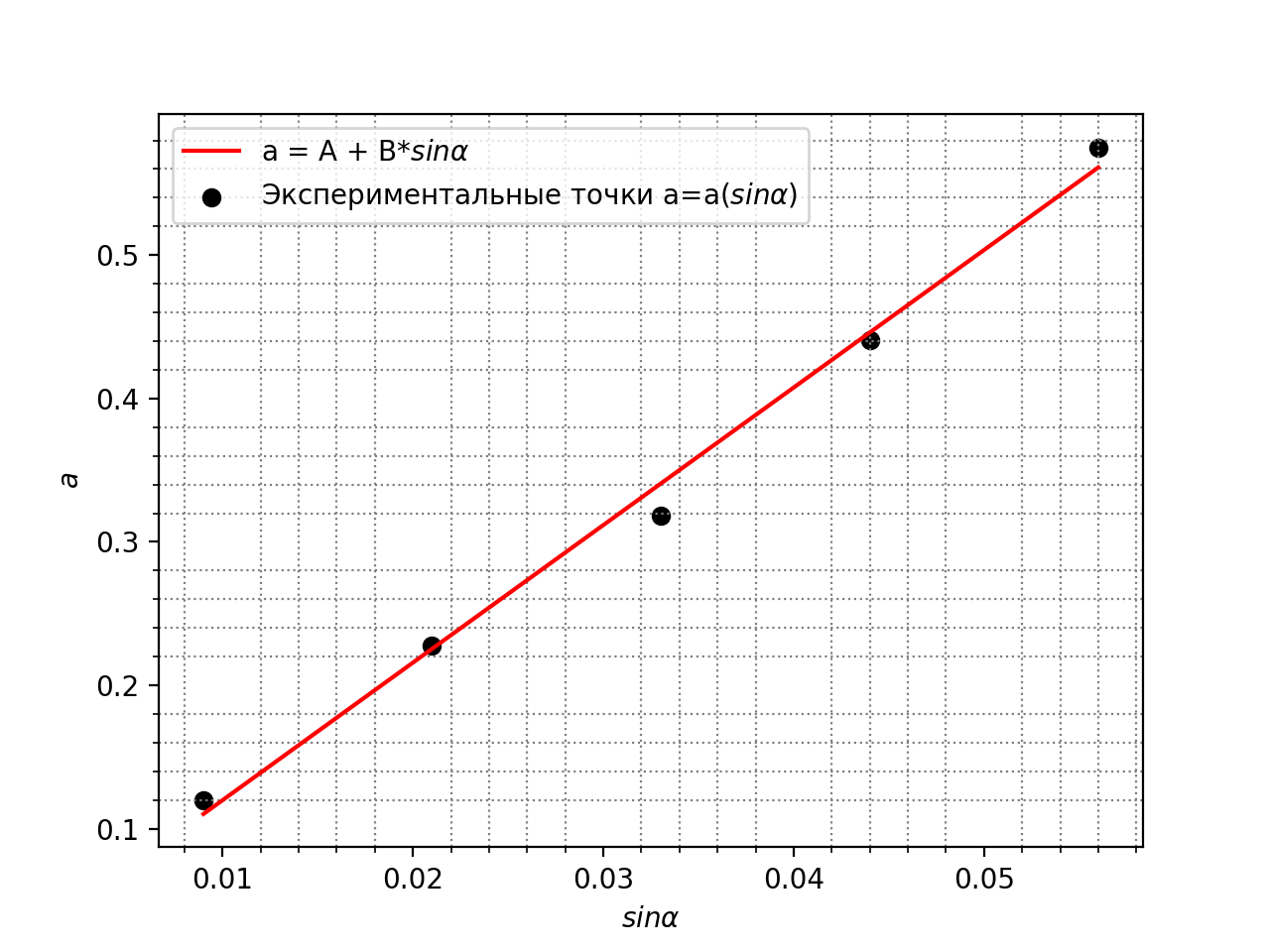
Расчёт ускорения свободного падения (коэффициента ):

Расчёт коэффициента :

Расчёт СКО ускорения свободного падения (коэффициента ):

Расчёт абсолютной погрешности ускорения свободного падения :

Расчёт относительной погрешности ускорения свободного падения :



1. **Вывод**

**\*Язык программирования Python был выбран в силу удобства его использования, высочайшей точности работы и безошибочной обработки данных, а также из желания цифровизации процесса выполнения.**

## Ниже приведён код программы (см. далее):

|  |
| --- |
| import numpy as np # включение библиотеки численных массивов import matplotlib.pyplot as plt # включение библиотеки визуализации данных двумерной графикой t = np.array([ 0.25, 0.35, 0.55, 0.75, 0.95]) delta = np.array([2.145, 2.66, 4.4, 6.125, 8.1]) delta2 = np.array([0.259545, 0.32186, 0.5324, 0.741125, 0.976617]) # aZ fig, ax = plt.subplots() ax.plot(delta, delta2, c='red') ax.scatter(delta, t, color='black') ax.grid(which='minor') ax.minorticks\_on() ax.grid(which='minor',  c='gray',  linestyle=':') plt.xlabel(r"$\frac{t^{2}\_{2}-t^{2}\_{1}}{2}$") # подпись оси Х plt.ylabel(r"$x\_{2}-x\_{1}$") # подпись оси Y plt.legend([r"Y = aZ",  r"Экспериментальные точки $[Y\_{i}, Z\_{i}]$",  ]) plt.show() fig.savefig('studyPhysics\_small.png', dpi=200) |

|  |
| --- |
| import numpy as np # включение библиотеки численных массивов import matplotlib.pyplot as plt # включение библиотеки визуализации данных двумерной графикой import matplotlib.ticker as tck # включение библиотеки упрощения визуализации данных  t = np.array([0.009,  0.021,  0.033,  0.044,  0.056,  ]) delta = np.array([0.120,  0.228,  0.318,  0.441,  0.575,  ]) delta2 = np.array([0.11032431, 0.22542339, 0.34052247, 0.44602996, 0.56112904]) fig, ax = plt.subplots()  ax.plot(t, delta2, c='red') ax.scatter(t, delta, color='black') ax.grid(which='minor') ax.minorticks\_on() ax.grid(which='minor',  c='gray',  linestyle=':') plt.xlabel(r"$sin\alpha$") # подпись оси Х plt.ylabel(r"$a$") # подпись оси Y  plt.legend([r"a = A + B\*$sin\alpha$",  r"Экспериментальные точки a=a($sin\alpha$)",  ]) plt.show() fig.savefig('studyPhysics.png', dpi=200) |