|  |
| --- |
| Исследование точности измерения ускорения свободного падения |
| **Ученица 10 Б класса**  **Школа №639**  **Зайцева Анастасия**  **Научный руководитель: Каминская Светлана Владимировна** |
|  |

2014 год

**Оглавление:**

I. Цели и задачи работы

II. Основная часть

Глава 1: Ускорение свободного падения на поверхности Земли

§1. Исторические сведения об открытии свободного падения и методах его измерения;

§2. Ускорение свободного падения в различных точках Земли;

Расчет ускорения свободного падения по координатам;

§3. Для чего измеряют ускорение свободного падения

Глава 2: Методы измерения ускорения свободного падения

§1. Измерение ускорения свободного падения с помощью конического маятника

§2. Измерение ускорения свободного падения с помощью математического маятника

§3. Измерение ускорения свободного падения методом сравнения разности высот

§4. Измерение ускорения свободного падения с помощью наклонной плоскости

§5. Измерение ускорения свободного падения с помощью свободного падения тел

III. Заключение. Анализ полученных результатов

IV. Список использованных источников и литературы

1. **Введение**

Известный американский популяризатор физики Эрик Роджерс в своей книге «Физика для любознательных» писал: «Если все свободно падающие тела движутся одинаково, то это движение само по себе заслуживает детального исследования».

На уроках физики мы познакомились со знаменитым опытом Галилео Галилея. Трудно поверить, что все тела: маленькие и большие, тяжелые и легкие, при падении с одной высоты достигают поверхности Земли одновременно. Затем мы узнали, что с падением тел связано число g, которое называется ускорением свободного падения. Чему оно равно? Как измерить это число? От чего оно зависит?

*Цели и задачи работы*:

1. Ознакомиться с историей открытия свободного падения тел;

2. Изучить методы измерения ускорения свободного падения на поверхности Земли;

3. Провести самостоятельные измерения ускорения свободного падения различными способами. Выяснить, какой из них дает наиболее точный результат;

4. Оценить погрешность измерений.

5. Оценить полученные результаты по 5-бальной шкале по трем критериям: сложность проведения опыта, погрешность, наличие специального оборудования.

1. **Основная часть**

Глава 1: Ускорение свободного падения на поверхности Земли

§1. Исторические сведения об открытии свободного падения и методах его измерения

Много тысячелетий назад люди наверняка замечали, что большая часть предметов падает все быстрее и быстрее, а некоторые падают равномерно. Интерес к движению свободно падающих и брошенных тел возрастал вместе с усовершенствованием оружия. Применение копий, стрел, катапульты и еще более замысловатых "орудий войны" позволило получить примитивные и туманные сведения из области баллистики, но они принимали форму скорее рабочих правил ремесленников, нежели научных познаний, - это были не сформулированные представления. Две тысячи лет назад греки формулировали правила свободного падения тел и дали им объяснения, но эти правила и объяснения были малообоснованны. Некоторые древние ученые, по-видимому, проводили вполне разумные опыты с падающими телами, но использование в средние века античных представлений, предложенных Аристотелем (примерно 340 г. до н.э.), скорее запутало вопрос. И эта путаница длилась еще много столетий. Применение пороха значительно повысило интерес к движению тел. Но лишь Галилей (примерно в 1600 г.) заново изложил основы баллистики в виде четких правил, согласующихся с практикой. Великий греческий философ и ученый Аристотель, по-видимому придерживался распространенного представления о том, что тяжелые тела падают быстрее, чем легкие. Аристотель и его последователи стремились объяснить, почему происходят те или иные явления, но не всегда заботились о том, чтобы пронаблюдать, что происходит и как происходит. Аристотель весьма просто объяснил причины падения тел: он говорил, что тела стремятся найти свое естественное место на поверхности Земли. Описывая, как падают тела, он высказал утверждения вроде следующих: "...точно также, как направленное вниз движение куска свинца или золота или любого другого тела, наделенного весом, происходит тем быстрее, чем больше его размер...", "...одно тело тяжелее другого, имеющего тот же объем, но движущегося вниз быстрее...". Аристотель знал, что камни падают быстрее, чем птичьи перья, а куски дерева - быстрее, чем опилки. В XIV столетии группа философов из Парижа восстала против теории Аристотеля и предложила значительно более разумную схему, которая передавалась из поколения в поколение и распространилась до Италии, оказав двумя столетиями позднее влияние на Галилея. Парижские философы говорили об ускоренном движении и даже о постоянном ускорении, объясняя эти понятия архаичным языком. Великий итальянский ученый Галилео Галилей обобщил имеющиеся сведения и представления и критически их проанализировал, а затем описал и начал распространять то, что считал верным. Галилей понимал, что последователей Аристотеля сбивало с толку сопротивление воздуха. Он указал, что плотные предметы, для которых сопротивление воздуха несущественно, падают почти с одинаковой скоростью. Галилей писал: "...различие в скорости движения в воздухе шаров из золота, свинца, меди, порфира и других тяжелых материалов настолько незначительно, что шар из золота при свободном падении на расстоянии в одну сотню локтей наверняка опередил бы шар из меди не более чем на четыре пальца. Сделав это наблюдение, я пришел к заключению, что в среде, полностью лишенной всякого сопротивления, все тела падали бы с одинаковой скоростью". Предположив, что произошло бы в случае свободного падения тел в вакууме, Галилей вывел следующие законы падения тел для идеального случая: Все тела при падении движутся одинаково: начав падать одновременно, они движутся с одинаковой скоростью; Движение происходит с "постоянным ускорением"; темп увеличения скорости тела не меняется, т.е. за каждую последующую секунду скорость тела возрастает на одну и ту же величину. Существует легенда, будто Галилей проделал большой демонстрационный опыт, бросая легкие и тяжелые предметы с вершины Пизанской падающей башни (одни говорят, что он бросал стальные и деревянные шары, а другие утверждают, будто это были железные шары весом 0,5 и 50 кг). Описаний такого публичного опыта нет.

Вскоре после Галилея были созданы воздушные насосы, которые позволили произвести эксперименты со свободным падением в вакууме. С этой целью Ньютон выкачал воздух из длинной стеклянной трубки и бросил сверху одновременно птичье перо и золотую монету. Даже столь сильно различающиеся по своей плотности тела падали с одинаковой скоростью. Именно этот опыт дал решающую проверку предположения Галилея. Опыты и рассуждения Галилея привели к простому правилу, точно справедливому в случае свободного падения тел в вакууме. Это правило в случае свободного падения тел в воздухе выполняется с ограниченной точностью. Поэтому верить в него, как в идеальный случай нельзя. Для полного изучения свободного падения тел необходимо знать, какие при падении происходят изменения температуры, давления, и др., то есть исследовать и другие стороны этого явления. Но такие исследования были бы запутанными и сложными, заметить их взаимосвязь было бы трудно, поэтому так часто в физике приходится довольствоваться лишь тем, что правило представляет собой некое упрощение единого закона. Итак, еще ученые Средневековья и Возрождения знали о том, что без сопротивления воздуха тело любой массы падает с одинаковой высоты за одно и тоже время, Галилей не только проверил опытом и отстаивал это утверждение, но и установил вид движения тела, падающего по вертикали: "...говорят, что естественное движение падающего тела непрерывно ускоряется. Галилей установил признак равноускоренного движения:

“Пространства, проходимые падающим телом в одинаковые промежутки времени, относятся между собою, как последовательные нечетные числа”

S1:S2:S3: ... = 1:2:3: ... (при V0 = 0)

Таким образом, можно предположить, что свободное падение есть равноускоренное движение. Так как для равноускоренного движения перемещение рассчитывается по формуле, то если взять три некоторые точки 1,2,3 через которые проходит тело при падении и записать: (ускорение при свободном падении для всех тел одинаково), получится, что отношение перемещений при равноускоренном движении равно:

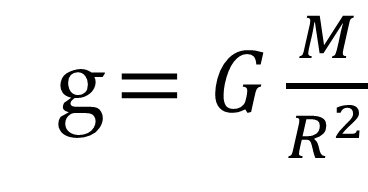
S1:S2:S3 = t12:t22:t32

§2. Ускорение свободного падения в различных точках Земли

Ускорение свободного падения g, — ускорение, сообщаемое телу под действием притяжения планеты или другого астрономического тела в безвоздушном пространстве — вакууме. Его значение для Земли обычно принимают равным 9,8 или 10 м/с². Стандартное ("нормальное") значение, принятое при построении систем единиц, g = 9,80665 м/с², а в технических расчетах обычно принимают g = 9,81 м/с². Значение g было определено как «среднее» в каком-то смысле ускорение свободного падения на Земле, примерно равно ускорению свободного падения на широте 45,5° на уровне моря. Реальное ускорение свободного падения на поверхности Земли зависит от широты и варьируется от 9,780 м/с² на экваторе до 9,832 м/с² на полюсах. Оно может быть вычислено по эмпирической формуле:

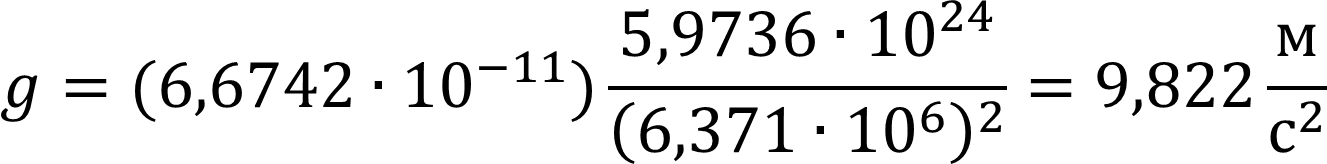
g= 9,780327 [1+0,0053024sin2 (φ) – 0,0000058 sin2 (2φ) ] – 3,086 ·10 - 6 ·h

где φ — широта рассматриваемого места, h — высота над уровнем моря. Ускорение свободного падения состоит из двух слагаемых: гравитационного ускорения и центростремительного ускорения. Значение гравитационного ускорения на поверхности планеты можно приблизительно подсчитать, представив планету точечной массой M, и вычислив гравитационное ускорение на расстоянии её радиуса R:



где G — гравитационная постоянная (6,6742×10-11 м3с-2кг-1).

Если применить эту формулу для вычисления гравитационного ускорения на поверхности Земли, мы получим:



Полученное значение приблизительно совпадает с ускорением свободного падения. Отличия обусловлены:

• центростремительным ускорением в системе отсчёта, связанной с вращающейся Землёй;

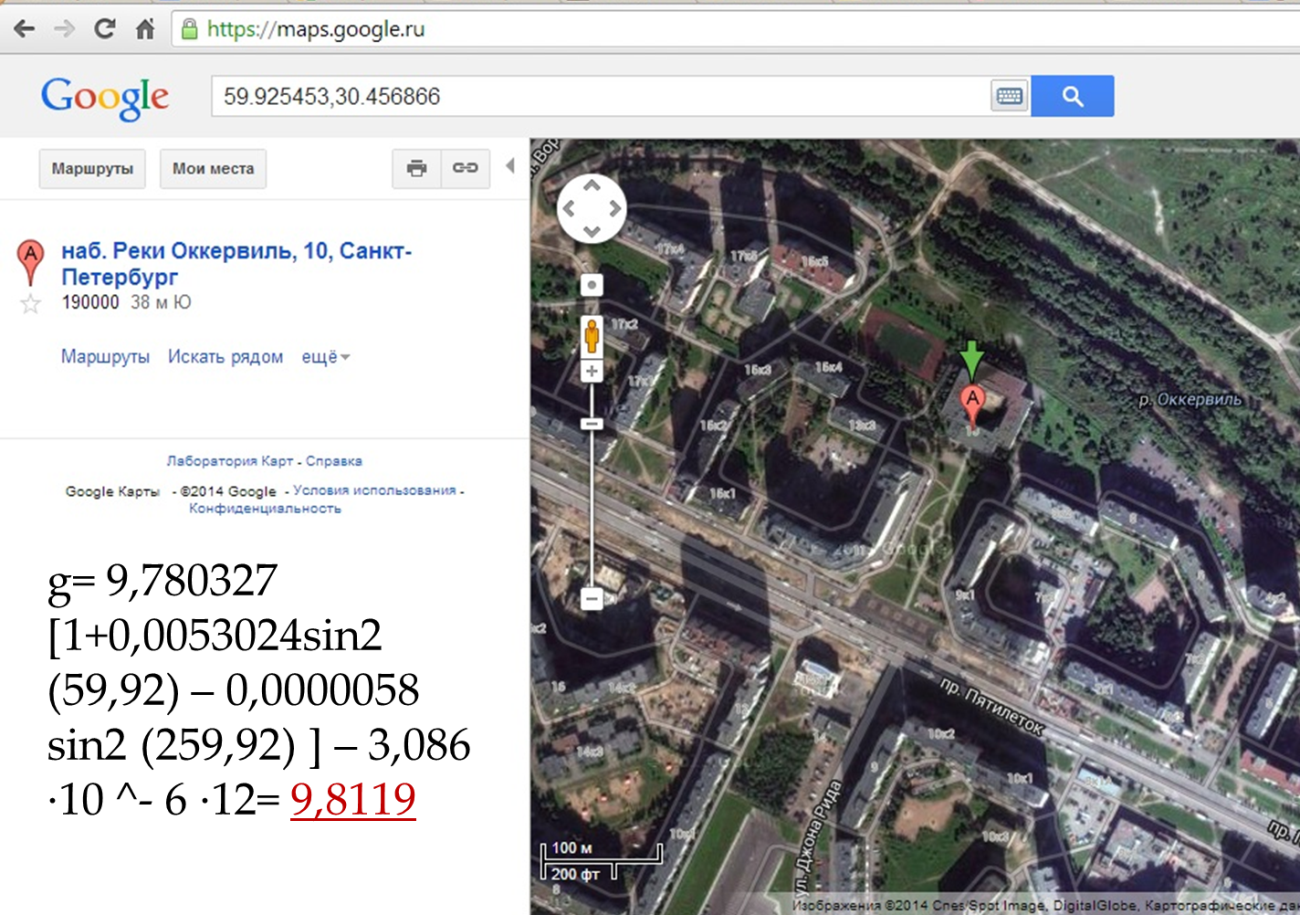
• неточностью формулы из-за того, что масса планеты распределена по объёму, который, кроме того, имеет нешарообразную форму;

• неоднородностью Земли, что используется для поиска полезных ископаемых по гравитационным аномалиям;

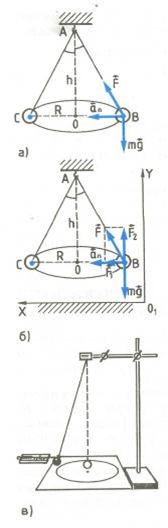
|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Ускорение свободного падения для некоторых городов | | | | |
| Город | Географические координаты (по Гринвичу) | | Высота над уровнем моря, м | Ускорение свободного падения, м/с2 |
| Долгота | Широта |
| Берлин | 13,40 в.д. | 52,50 с.ш. | 40 | 9,81280 |
| Вашингтон | 77,01 з.д. | 38,89 с.ш. | 14 | 9,80112 |
| Вена | 16,36 в.д. | 48,21 с.ш. | 183 | 9,80860 |
| Гринвич | 0,0 в.д. | 51,48 с.ш. | 48 | 9,81188 |
| Киев | 30,30 в.д. | 50,27 с.ш. | 179 | 9,81054 |
| Мадрид | 3,69 в.д. | 40,41 с.ш. | 655 | 9,79981 |
| Москва | 37,61 в.д. | 55,75 с.ш. | 151 | 9,8154 |
| Нью-Йорк | 73,96 з.д. | 40,81 с.ш. | 38 | 9,80247 |
| Одесса | 30,73 в.д. | 46,47 с.ш. | 54 | 9.80735 |
| Париж | 2,34 в.д. | 48,84 с.ш. | 61 | 9,80943 |
| Прага | 14,39 в.д. | 50,09 с.ш. | 297 | 9,81014 |
| Рим | 12,99 в.д. | 41,54 с.ш. | 37 | 9,80312 |
| Стокгольм | 18,06 в.д. | 59,34 с.ш. | 45 | 9,81843 |

* Используя эмпирическую формулу:

**g= 9,780327 [1+0,0053024sin2 (φ) – 0,0000058 sin2 (2φ) ] – 3,086 •10 - 6 •h**

** и данные Google Maps рассчитаем значение ускорения свободного падения для координат нашей школы.**

**Глава 2: Методы измерения ускорения свободного падения**

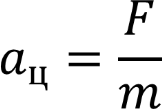
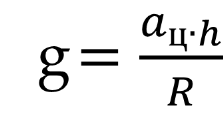
**§1. Измерение ускорения свободного падения с помощью конического маятника.**

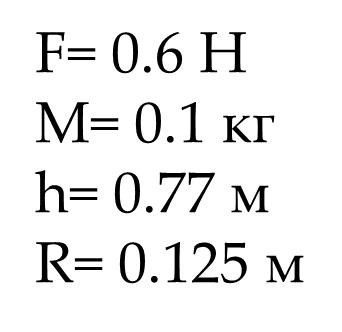
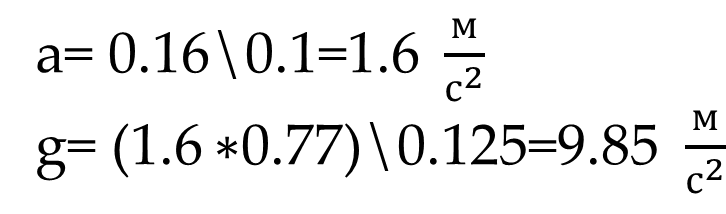
Конический маятник представляет собой небольшой шарик, подвешенный к нити, который движется по окружности радиуса R. При этом нить АВ, к которой прикреплен шарик, описывает поверхность прямого кругового конуса. На шарик действуют две силы: сила тяжести и сила натяжения нити (см. рис. a). Они создают центростремительное ускорение, направленное по радиусу к центру окружности.

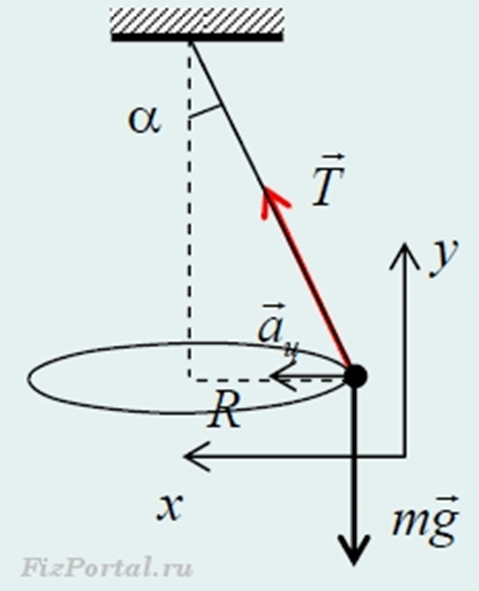
Центростремительное ускорение можно определить также, используя законы динамики. Согласно второму закону Ньютона  : разложим силу на составляющие  и, направленные по радиусу к центру окружности и по вертикали вверх. Тогда второй закон Ньютона запишется следующим образом: .

Направление координатных осей выберем так, как показано на рисунке б. В проекциях на ось О1у уравнение движения шарика примет вид: . Отсюда *F2=mg* , т. е. составляющая  уравновешивает силу тяжести  , действующую на шарик.

Запишем второй закон Ньютона в проекциях на ось О1х: *maц=F1*. Отсюда.

**Погрешность:**

1. Относительная:

∆𝐸=0.00929

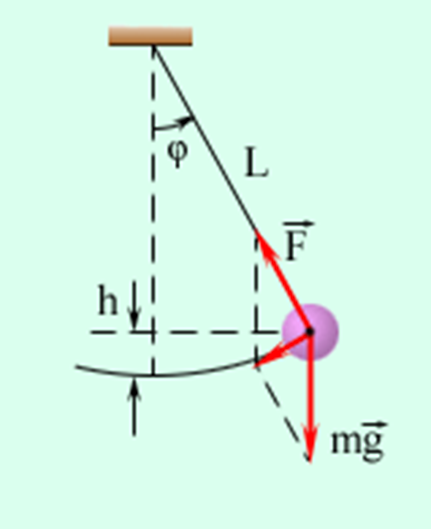
1. Абсолютная:

∆g’= g\*∆𝐸=0.00929\*9.85=0.088 м\с^2

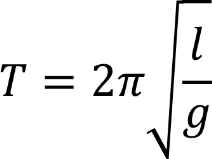
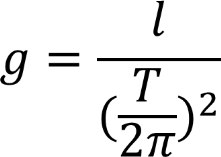
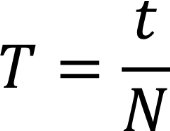
**Оценка полученных данных:**

* Сложность проведения опыта: 4 балла
* Наличие специального оборудования: 1 балла
* Погрешность: 3 балла

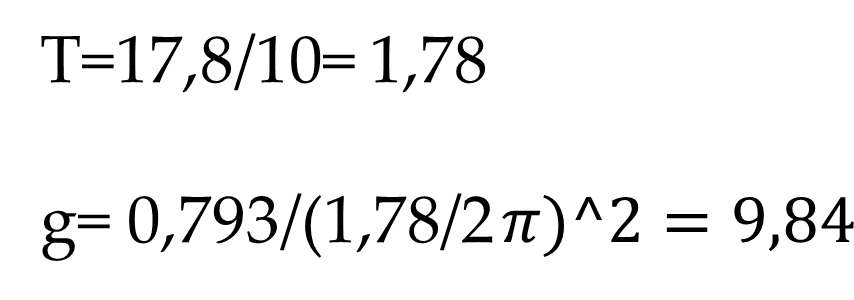
**§2. Измерение ускорения свободного падения с помощью математического маятника**

Математический маятник – это материальная точка, подвешенная на длинной, невесомой, нерастяжимой нити. В реальных условиях математическим маятником можно считать шар, подвешенный на нити при условии, что размеры шара много меньше длины нити, масса нити много меньше массы шара, растяжение нити шаром настолько мало, что им можно пренебречь.

Период колебания математического маятника вычисляется по формуле , где l – длина нити маятника.



|  |  |
| --- | --- |
| t1= 17,82 |  |
| t2= 17,87 |
| t3= 17,92 |
| t4= 17,80 |
| t5= 17,90 |
| t6= 17,84 |
| t7= 17,80 |
| t8= 17,89 |
| t9=17,87 |
| t10=17,84 |



**Погрешность**:

1. Относительная:

∆𝐸=0.017

1. Абсолютная:

∆g’= g\*∆𝐸=0.017\*9.84=0.17 м\с^2

**Оценка полученных данных:**

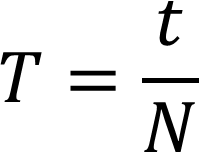
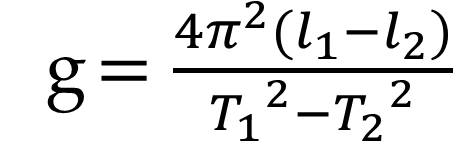
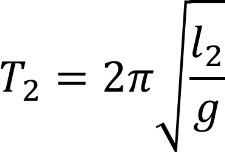
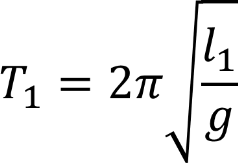
• Сложность проведения опыта: 1 балла

• Наличие специального оборудования: 1 балла

• Погрешность: 4 балла

**§3. Измерение ускорения свободного падения методом сравнения разности высот**

Если определить период колебаний двух маятников с различными длинами, то согласно формулам(1 и 2) получаем:



(1)

(2)

*17,8 с 15,2 с*

*0,77 м 0,56 м*

=17,8/10= 1,78

=15,2/10= 1,52

g= 9,6

**Погрешность:**

1) Относительная:

∆𝐸=0.003

2) Абсолютная:

∆g’= g\*∆𝐸=0.003\*9.6=0.029 м\с^2

**Оценка полученных данных:**

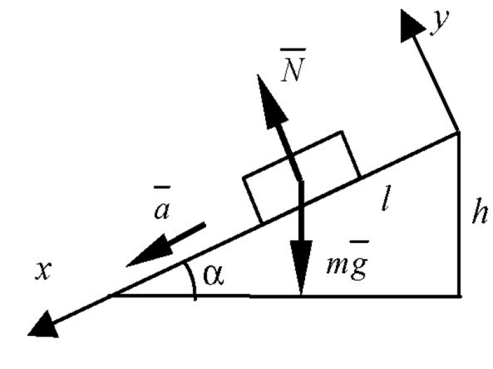
• Сложность проведения опыта: 2 балла

• Наличие специального оборудования: 1 балла

• Погрешность: 1 балла

**§4. Измерение ускорения свободного падения с помощью наклонной плоскости**

При движении тела по наклонной плоскости на него действуют три силы: сила тяжести, сила трения, сила нормальной реакции опоры.

**Запишем второй закон Ньютона в векторном виде и в проекциях на оси координат. 

*Ох: -Fтр + Fтsinα = ma*

*Oy: N - Fтcosα= 0*

*Fт = mg; Fтр = μN; N = mgcosα; Fтр = μmgcosα*

Решая полученные уравнения, выразим ускорение свободного падения: .

Ускорение *a* вычисляем из формулы , так как начальная скорость бруска при скольжении по наклонной плоскости равна 0: . Видим, что для этого нужно измерить длину наклонной плоскости и время скольжения по ней бруска. Для вычисления *sinα* и *cosα* нужно знать длину и высоту наклонной плоскости: , 

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *№* | *S, м* | *h, м* | *t, c* | *tср, с* | *a, м/с2* | *sinα* | *cosα* |
| 1 | 0,5 | 0,205 | 0,89 |  |  |  |  |
| 2 | 0,5 | 0,205 | 0,82 | 0,9 | 1,2 | 0,41 | 0,91 |
| 3 | 0,5 | 0,205 | 0,99 |  |  |  |  |

Для определения коэффициента трения скольжения положим трибометр на горизонтальную поверхность и с помощью динамометра равномерно протащим по нему брусок. В этом случае на брусок будут действовать 4 силы: сила тяжести, сила упругости пружины динамометра, сила трения, сила реакции опоры





При равномерном движении бруска эти силы будут попарно равны: *Fтр=Fу, Fт=N,* т. е. *Fу=μFт*, тогда коэффициент трения равен 

В данном опыте сила упругости пружины динамометра оказалась равна *0,2 Н*, сила тяжести – *0,6 Н*, коэффициент трения *μ=0,33*.

Теперь можно вычислить ускорение свободного падения:



**Погрешность:**

1) Относительная:

∆𝐸=0.003

2) Абсолютная:

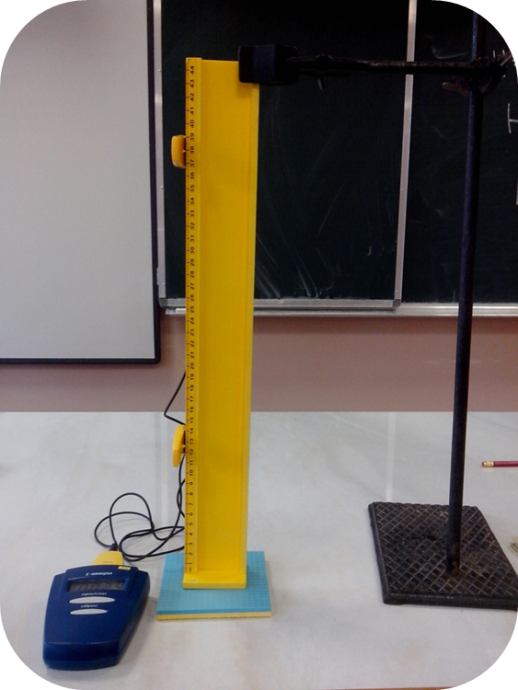
∆g’= g\*∆𝐸=0.003\*9.6=0.029 м\с^2

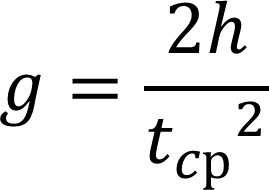
**Оценка полученных данных:**

• Сложность проведения опыта: 5 балла

• Наличие специального оборудования: 5 балла

• Погрешность: 5 балла

**§5. Измерение ускорения свободного падения методом свободного падения тел**

Установка состоит из вертикально установленного желоба со шкалой. На край желоба прикрепляются датчики секундомера, которые определяют время падения тела. При помощи формулы расчитываем ускорение свободного падения:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер опыта. | t, c | tcp, c | ∆t, c | ∆tcp, c | l, м |
| 1 | 0,25 | 0,246 | 0,004 | 0,013 | 0,3 |
| 2 | 0,22 | 0,026 |
| 3 | 0,26 | 0,014 |
| 4 | 0,24 | 0,006 |
| 5 | 0,26 | 0,014 |

g=2\*0,3/0,2462=0,6/0,0606=9,90099м/с2

**Погрешность:**

1) Относительная:

∆𝐸= 0,0075

2) Абсолютная:

∆g’= g\*∆𝐸= 9,9\* 0,0075=0,074м\с^2

**Оценка полученных данных:**

• Сложность проведения опыта: 5 балла

• Наличие специального оборудования: 5 балла

• Погрешность: 2 балла

**III.** **Заключение. Анализ полученных результатов**

В ходе выполнения работы:

• ознакомиться с историей открытия свободного падения тел;

• углубить и расширить знания по теме «Свободное падение»;

• исследовать зависимость ускорения свободного падения от массы тела;

• измерить ускорение свободного падения разными способами, выяснить, какой из них даёт наиболее точный результат.

В итоге оказалось:

• что свободное падение – движение равноускоренное;

• ускорение свободного падения не зависит от массы тела;

• наиболее точный результат ускорения свободного падения получается при определении g с помощью вращающегося диска (9,83 м/с2) и с помощью математического маятника (10 м/с2)

* Наиболее удачный по всем 3 критериям оказался способ определения ускорения свободного падения методом сравнения разности высот

**IV. Список использованных источников и литературы**

1. Буров В.А., Зворыкин Б.С., Кабардин О.Ф. и др. Практикум по физике в средней школе. Дидактический материал. М., «Просвещение», 1977.
2. Википедия. Электронная энциклопедия.
3. Енохович А.С. Справочник по физике и технике. Пособие для учащихся. М., «Просвещение», 1976.
4. Перышкин А.В., Гутник Е.М. Физика. 9 класс. Учебник для общеобразовательных учреждений. Дрофа, Москва, 2003.
5. Роджерс Э. Физика для любознательных. т. 1. М., Мир, 1972.
6. Саенко П.Г. Физика. Учебник для 9 класса средней школы. Москва, «Просвещение», 1992..
7. «Физика в школе» № 4, 1994. Данюшенков В.С. О модернизации выполнения практических работ.
8. Храмов Ю.А. Физики. Биографический справочник. Москва, «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1983.