ННГУ им. Лобачевского

Факультет: Высшая школа общей и прикладной физики

ОТЧЕТ

по лабораторной работе №12:

Определение ускорения свободного падения

Выполнили:

Митяшин Илья

Ковригин Марк

Нижний Новгород

2023г.

Цель работы

Экспериментально определить ускорение свободного падения с точностью до 1%, используя математический маятник.

Оборудование

Математический маятник, зеркальная шкала, секундомер.
$\Delta t = 0{,}2$ с; $\Delta h = 0{,}1$ см.

Теоретическая часть

1. Математический маятник

Предположим, что нить невесома и нерастяжима, силами трения и сопротивление воздуха можно пренебречь. Тогда можно записать II закон Ньютона для шарика: $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}$, где m – масса шарика, a – ускорение шарика, mg – сила тяжести, N – сила натяжения нити.

В проекции на ось Ox получаем: $ma_x = -mg\sin\varphi$ (1)

Поскольку $dx = ld\varphi$, имеем $a_x = \frac{d^2x}{dt^2} = l\frac{d^2\varphi}{dt^2}$ и, подставляя в (1) получаем: $\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{g}{l}\sin\varphi = 0$ (2)

При малых отклонений от положения равновесия можно считать что $\sin\varphi \approx \varphi$. В этом случае из (2), получаем $\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{g}{l}\varphi = 0$ (3). Решением (3) является $\varphi = \varphi_0\sin(\omega t + \alpha)$, где φ_0 – амплитуда колебаний, α - начальная фаза, $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$ – частота колебаний. Тогда $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ (4) – период малых колебаний. (4) можно использовать для определения ускорения свободного падения: $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$ (5).

Однако, точно измерить длину маятника сложно, так как приходится определять расстояние между точкой подвеса и центром тяжести шарика. Поэтому обычно поступают следующим образом: В точке (рис. 2) закрепляют нить, к которой подвешен шарик, и отмечают на верхней зеркальной шкале изображение наинизшей точки шарика. Зеркальная шкала помогает избежать ошибки на параллакс при определении деления шкалы h_1, совпадающего с этой низшей точкой шарика и ее зеркальным изображением. Назовём длину нити, соответствующую этому положению шарика l_1. Период колебания маятника, который определяется с помощью секундомера, обозначим T_1. Для второго положения проделываем аналогичные действия, тогда получаем: $T_1^2 = 4\pi^2\frac{l_1}{g}$ (4а) и $T_2^2 = 4\pi^2\frac{l_2}{g}$ (4б). Вычитая из (4б) соотношение (4а), получаем $g = \frac{4\pi^2(l_2 - l_1)}{T_2^2 - T_1^2}$, и т.к. $l_2 - l_1 = h_2 - h_1$, то в итоге получаем: $g = \frac{4\pi^2(h_2 - h_1)}{T_2^2 - T_1^2}$. Чтобы измерения были точнее, нужно брать как можно больше разность высот $h_2 - h_1$.

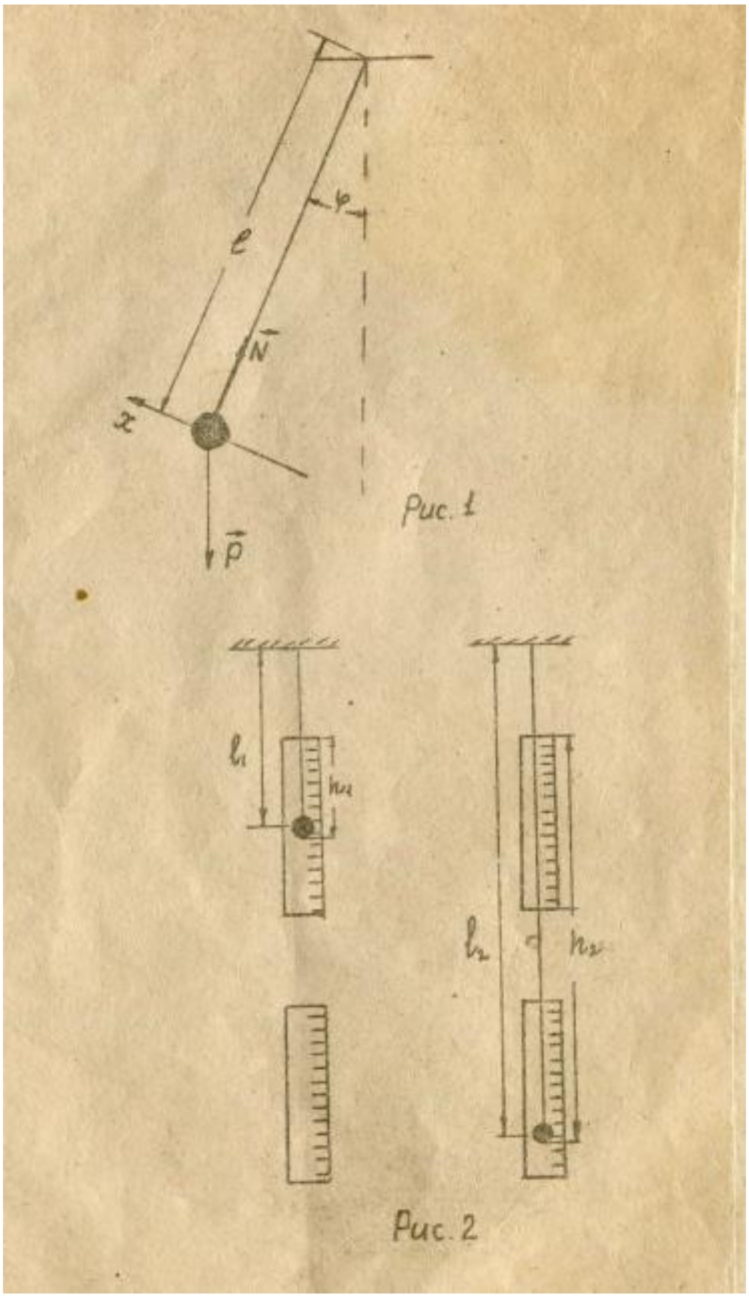

Рис. 1

Рис. 2

2. Контрольные вопросы

1. При определении периода пускать в ход и останавливать секундомер можно: а) когда маятник имеет наибольшее отклонение; б) когда он проходит положение равновесия. В каком случае измерение точнее?

Измерение будет точнее если действовать согласно пункту б), потому что все равно есть трение о воздух, и угол наибольшего отклонения будет меняться, то есть человек может нажать на секундомер позже чем надо, либо нажать раньше, думая, что шарик дошел до максимального отклонения.

2. g можно определить, измерив время свободного падения и измерив период колебаний маятника. Какой метод даст результат точнее, если пользоваться одним секундомером в обоих случаях?

Измерив период колебаний результат будет точнее, потому что сложно увидеть момент соударения с поверхностью, так как оно происходит очень быстро.

3. В каких точках земной поверхности g максимально, в каких минимально?

Максимально значение g будет на полюсе и минимально на экваторе.

4. Чему равно g в центре Земли?

g в центре Земли равно 0.

5. На какую высоту над землей нужно подняться, чтобы с помощью приборов, которыми вы пользовались можно было заметить изменение g?

$g = \frac{GM}{(R+x)^2}$ приборы, которыми мы пользовались определяют ускорение свободного падения с точностью 1%, то есть, показания прибора должны отличаться хотя бы на 2%, тогда $x = \sqrt{\frac{GM}{0{,}98g}} - R_з$, пусть g = 9,81 м/с^2; M = 5,97 * 10^{24} кг; $R_з$ = 6371 км, получается x ≈ 64,80 км.

Практическая часть

1. **Определение зависимости периода колебаний маятника от амплитуды. n = 20 колебаний.**

φ, в град	5	10	15	20	25
t, с	47,60	47,67	47,84	48,12	48,32
T=t/n, с	2,380	2,384	2,392	2,406	2,416
ΔT=Δt/n, с	0,01				

Исходя из таблицы делаем вывод, что колебания будут малыми при φ ≤ 15°.

2. **Определение минимального количества колебаний n, при котором максимальная относительная погрешность δ, была бы не более 1%.**

n	h1, см	t1, с	T1, с	h2, см	t2, с	T2, с
20	7,80	31,67	1,58	143,3	54,67	2,73

$n = \frac{2\Delta t}{(T_2 - T_1)\left(0{,}01 - \frac{2\Delta h}{h_2 - h_1}\right)} = 41$ колебание

3. **Определение ускорения свободного падения g. Количество колебаний, вычисленное теоретически n = 41.**

$g = \frac{4\pi^2(\mathrm{h}_2 - \mathrm{h}_1)}{T_2^2 - T_1^2}$

$\delta g = \frac{2\Delta h}{h_2 - h_1} + \frac{2\Delta t}{n(T_2 - T_1)}$

№ Опыта	I	II	III
h_1, см	7,8	7,8	7,8
t_1, с	60,40	60,29	60,37
T_1, с	1,473	1,470	1,472
h_2, см	143,3	143,3	143,3
t_2, с	113,36	113,40	113,40
T_2, с	2,765	2,766	2,766
$h_2 - h_1$, см	135,5	135,5	135,5
$T_2^2 - T_1^2$, с	5,475	5,490	5,484
g, см/с^2	977,05	974,38	975,44
$g_{эталон}$, см/с^2	981,6 (56° с.ш.)		
δg, %	0,991	0,991	0,991
Δg, см/с^2	9,68	9,66	9,67

$g_1 = 977{,}05 \pm 9{,}68$ см/с^2
$g_2 = 974{,}38 \pm 9{,}66$ см/с^2
$g_3 = 975{,}44 \pm 9{,}67$ см/с^2
$g_{ср} = 975{,}62 \pm 9{,}67$ см/с^2

Вывод

В ходе лабораторной работы мы определили ускорение свободного падения с точностью 0,91%, для этого определили минимальное необходимое количество колебаний. Также обнаружили, что для $\varphi \leq 15°$ колебания можно считать малыми.