Пример оформления

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 0-1:

Обработка результатов физического эксперимента на примере определения ускорения свободного падения с помощью математического маятника.

Студент группа

Допуск_______________________________Выполнение___________________Защита___________________

***Цель работы*:** получение и закрепление навыков обработки результатов прямых, косвенных и совместных измерений.

Приборы и материалы: математический маятник, измерительная линейка, секундомер.

Упражнение 1. Порядок обработки прямых измерений. Определение периода колебаний математического маятника.

Таблица 1

$N_{изм}$	1	2	3	4	5	$\sum$
T_i						
$T_i - \langle T \rangle$						
$(T_i - \langle T \rangle)^2$						

1. Среднее значение периода колебаний математического маятника: $< T > = \dfrac{T_1 + T_2 + \ldots + T_5}{5}$.

Проверим размерность: $[< T >] =$

Рассчитаем среднее значение периода колебаний: $< T > =$

2. Проверим размерность, проведём соответствующие вычисления и заполним таблицу 1:

$$[T_1 - \langle T \rangle] =$$

$$T_1 - \langle T \rangle =$$

$$\left[(T_1 - \langle T \rangle)^2\right] =$$

$$(T_1 - \langle T \rangle)^2 =$$

3. Найдём дисперсию среднего значения периода колебаний маятника

$$S^2_{<T>} = \frac{(T_1 - < T >)^2 + (T_2 - < T >)^2 + \ldots + (T_5 - < T >)^2}{5 \cdot 4}.$$

$$[S^2_{<T>}] =$$

$$S^2_{\langle T \rangle} =$$

4. Найдём среднеквадратичное отклонение среднего значения по формуле $S_{<T>} = \sqrt{S^2_{<T>}}$,

$$[S_{<T>}] =$$

$$S_{\langle T \rangle} = \sqrt{S^2_{\langle T \rangle}} =$$

5. Результат измерения периода колебаний запишем в виде: $T = < T > \pm t_{p,k} S_{<T>}$

где для вероятности $p = 0.95$ и числа степеней свободы $k = n - 1 = 4$, значение параметра Стьюдента $t_{p,k} = 2.8$

Ответ: $T =$

Вывод :

***Упражнение 2.* Обработка результатов косвенных измерений. Определение ускорения свободного падения**

Таблица 2

$N_{изм}$	T_i,	S_T,	l,	S_l,	$\langle g \rangle$,	S_g,
1						
2						
3						
4						
5						
$\sum$						

1. По формуле $<g>=\dfrac{4\pi^2 l}{<T^2>}$ вычислим среднее значение ускорения.

Проверим размерность: $[<g>]=$

Подставим значения: $\langle g \rangle =$

2. Определим дисперсию ускорения свободного падения по формуле:

$$S_g^2=\left(\frac{4\pi^2}{\langle T \rangle^2}\right)^2 S_l^2+\left(\frac{-8\pi^2 l}{\langle T \rangle^3}\right)^2 S_T^2+\left(\frac{8\pi\ l}{\langle T \rangle^2}\right)^2 S_\pi^2;$$

Проверим размерность: $\left[S_g^2\right]=$

В качестве погрешности в определении длины нити математического маятника S_l возьмём квадрат приборной погрешности ***(в качестве приборной погрешности принимается величина, равная половине цены деления шкалы прибора).***

$S_l =$

В качестве погрешности S_π числа π возьмём табличную погрешность ***(в качестве табличной погрешности принимается величина, равная половине единицы последнего разряда округлённой табличной величины).***

$$S_\pi =$$

Величину S_T^2 рассчитаем по формуле $S_T^2=\dfrac{\sum\left(T_i-\langle T \rangle\right)^2}{n-1}$, где n – число измерений.

Проверим размерность: $\left[S_T^2\right]=$

$S_{\langle T \rangle}^2 =$

Вычислим дисперсию ускорения свободного падения:

$S_g^2 =$

3. Найдём среднеквадратичное отклонение ускорения: $S_g=\sqrt{S_g^2}$.

Проверим размерность: $\left[S_g\right]=$

$S_g =$

4. Результат измерения ускорения запишем в виде: $g=<g>\pm S_g$; $g=$

Относительная погрешность нашего эксперимента составляет:

$$\varepsilon=\frac{\left|g_{практика}-g_{теория}\right|}{g_{теория}}\cdot 100\%=$$

Вывод:

***Упражнение 3.* Порядок обработки совместных измерений. Определение ускорения свободного падения**

Период колебаний математического маятника вычисляется по формуле $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

Для того, чтобы воспользоваться методом обработки совместных измерений для зависимости $y = A \cdot x$ введём следующие обозначения: $y = T$; $x = \sqrt{l}$; $A = \frac{2\pi}{\sqrt{g}}$.

Таким образом, зная экспериментальную зависимость $T = A\sqrt{l}$, можем вычислить коэффициент A. Затем из соотношения $g = \frac{4\pi^2}{A^2}$ определим ускорение свободного падения.

Таблица 3

1	2	3	4	5	6	7	8
	l_i	T_i	x_i	y_i	$x_i y_i$	x_i^2	$(y_i - Ax_i)^2$
1							
2							
3							
4							
5							
$\sum$							

1. Проведём соответствующие вычисления и заполним графы 6 и 7 таблицы 3.

Проверим размерность: $[xy] =$

$x_1 y_1 =$

Проверим размерность: $[x^2] =$

$x_1^2 =$

2. По формуле $A = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i y_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2}$ вычислим значение параметра A.

3. Проверим размерность: $[A] =$

$A =$

4. Проведём соответствующие расчеты и заполним графу 8 таблицы 3.

Проверим размерность: $[y - Ax] =$

$y_1 - Ax_1 =$

Проверим размерность: $\left[(y - Ax)^2\right] =$

$(y_1 - Ax_1)^2 =$

5. По формуле $S_A^2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - Ax_i)^2}{n-1}$ вычислим дисперсию параметра A .

Проверим размерность: $[S_A^2] =$

$S_A^2 =$

6. По формуле $\langle g \rangle = \dfrac{4\pi^2}{A^2}$ вычислим среднее значение ускорения свободного падения.

Проверим размерность: $\left[\langle g \rangle\right] =$

$\langle g \rangle =$

7. По формуле $S_g^2 = \left(\dfrac{8\pi}{A^2}\right)^2 S_\pi^2 + \left(-\dfrac{8\pi^2}{A^3}\right)^2 S_A^2$ вычислим среднеквадратичное отклонение среднего значения ускорения свободного падения.

Проверим размерность:

$\left[S_g^2\right] =$

$S_g^2 =$

8. Окончательный результат запишем в виде $g = \langle g \rangle \pm S_g$. $g =$

9. Для проверки соответствия зависимости $y = A \cdot x$ экспериментальным данным применим F - критерий (критерий Фишера). Для этом вычислим следующее соотношение

$$F = \frac{S_{a\partial}^2}{S_{on}^2},$$

где $S_{on}^2 = \dfrac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \langle y \rangle)^2}{n-1}$ - дисперсия опыта с числом степеней свободы равным n - 1, где n - число прямых измерений величины $y_i = T_i$. Значения T_i возьмём из первого упражнения (n = 5), а $S_{a\partial}^2 = \dfrac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - Ax_i)^2}{n-1}$ - дисперсия адекватности, где n - число измерений.

Проверим размерность: $\left[S_{on}^2\right] =$

$S_{on}^2 =$

Проверим размерность: $\left[S_{a\partial}^2\right] =$

$S_{a\partial}^2 =$

$F =$

Проверим двухстороннее неравенство $\dfrac{1}{F_{табл}^{(d-1),(n-m)}} \le \dfrac{S_{a\partial}^2}{S_{on}^2} \le F_{табл}^{(n-m),(d-1)}$, где $F_{табл}^{(n-m),(d-1)} = 6.59$

$\dfrac{S_{a\partial}^2}{S_{on}^2} =$

10. Вывод:

11. В координатах XOY построим график зависимости $y = Ax$, там же нанесём звездочками экспериментальные данные (x_i, y_i) (в качестве y возьмём T, а в качестве x возьмём $\sqrt{l}$).

Пример полного оформления лабораторной работы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 0-1:

Обработка результатов физического эксперимента на примере определения ускорения свободного падения с помощью математического маятника.

Студент ***Иванов Андрей*** группа **ТМ -12**

Допуск________________________________ Выполнение____________________ Защита____________________

Цель работы: получение и закрепление навыков обработки результатов прямых, косвенных и совместных измерений.

Приборы и материалы: математический маятник, измерительная линейка, секундомер.

Упражнение 1. **Порядок обработки прямых измерений. Определение периода колебаний математического маятника.**

Таблица 1

$N_{изм}$	1	2	3	4	5	$\sum$
T_i, c	**1.79**	**1.84**	**1.75**	**1.82**	**1.78**	**8.98**
$T_i - \langle T \rangle$, c	**- 0.01**	**0.04**	**- 0.05**	**0.02**	**- 0.02**	**-**
$(T_i - \langle T \rangle)^2$, $\cdot 10^{-4} c^2$	**1**	**16**	**25**	**4**	**4**	**50**

$\times 10^{-4} c^2$ c^2

1. Среднее значение периода колебаний математического маятника: $<T>=\dfrac{T_1+T_2+\ldots+T_5}{5}$.

2. $$[<T>]=\frac{c_1+c_2+\ldots+c_5}{5}=c$$

$$<T>=\frac{1.79\text{ c}+1.84\text{ c}+1.75\text{ c}+1.82\text{ c}+1.78\text{ c}}{5}=1.80c$$

3. Проведём соответствующие вычисления и заполним табл. 1.

$$\left[T_1-\langle T\rangle\right]=c-c=c$$

$$T_1-\langle T\rangle=1.79c-1.80c=-0.01c,$$

$$\left[\left(T_1-\langle T\rangle\right)^2\right]=c^2-c^2=c^2$$

$$\left(T_1-\langle T\rangle\right)^2=(-0.01c)^2=0.0001c^2=10^{-4}c^2$$

4. найдём дисперсию среднего значение периода колебаний маятника

$$S^2_{<T>}=\frac{\left(T_1-<T>\right)^2+\left(T_2-<T>\right)^2+\ldots+\left(T_5-<T>\right)^2}{5\cdot 4}.$$

$$\left[S^2_{<T>}\right]=\frac{(c-c)^2+(c-c)^2+\ldots+(c-c)^2}{1}=c^2.$$

$$S^2_{\langle T\rangle}=\frac{50\cdot 10^{-4}\ c^2}{20}=2{,}5\cdot 10^{-4}\ c^2$$

5. Найдём среднеквадратичное отклонение среднего значения по формуле $S_{<T>}=\sqrt{S^2_{<T>}}$,

$$\left[S_{<T>}\right]=\sqrt{c^2}=c.$$

$$S_{\langle T\rangle}=\sqrt{S^2_{\langle T\rangle}}=\sqrt{2{,}5\cdot 10^{-4}\ c^2}=1{,}6\cdot 10^{-2}\ c$$

6. Результат измерения периода колебаний запишем в виде: $T=<T>\pm t_{p,k}S_{<T>}$, где для вероятности $p=0.95$ и числа степеней свободы $k=n-1=4$, значение параметра Стьюдента $t_{p,k}$ = 2.8

Ответ: $T=\left(1{,}80\pm 2{,}8\cdot 1{,}6\cdot 10^{-2}\right)c=\left(1{,}80\pm 0{,}05\right)c$

Вывод : **На примере определения периода колебаний математического маятника я научился обрабатывать прямые измерения.**

Упражнение 2. **Обработка результатов косвенных измерений. Определение ускорения свободного падения**

Таблица 2

$N_{изм}$	T_i, $с$	S_T, $с$	l, $м$	S_l, $м$	$\langle g \rangle$, $\frac{м}{с^2}$	S_g, $\frac{м}{с^2}$
1	*1.79*	$3.54 \cdot 10^{-2}$	*0.80*	*0.025*	*9.74*	*0.6*
2	*1.84*					
3	*1.75*					
4	*1.82*					
5	*1.78*					
$\sum$	*8.98*					

4. По формуле $< g >= \dfrac{4\pi^2 l}{< T^2 >}$ вычислим среднее значение ускорения.

Проверим размерность: $[< g >] = \dfrac{м}{с^2}$. Подставим значения: $\langle g \rangle = \dfrac{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 0{,}80 м}{(1{,}80 с)^2} = 9{,}74 \dfrac{м}{с^2}$

5. Вычислим дисперсию ускорения свободного падения по формуле:

$$S_g^2 = \left(\frac{4\pi^2}{\langle T \rangle^2}\right)^2 S_l^2 + \left(\frac{-8\pi^2 l}{\langle T \rangle^3}\right)^2 S_T^2 + \left(\frac{8\pi\ l}{\langle T \rangle^2}\right)^2 S_\pi^2;$$

Проверим размерность: $\left[S_g^2\right] = \left(\dfrac{1}{с^2}\right)^2 м^2 + \left(\dfrac{м}{с^3}\right)^2 с^2 + \left(\dfrac{м}{с^2}\right)^2 = \dfrac{1}{с^4} м^2 + \dfrac{м^2 \cancel{с}^2}{\cancel{с}^6} + \dfrac{м^2}{с^4} = \dfrac{м^2}{с^4} + \dfrac{м^2}{с^4} + \dfrac{м^2}{с^4} = \dfrac{м^2}{с^4}$.

В качестве погрешности в определении длины нити математического маятника S_l возьмём квадрат приборной погрешности ***(в качестве приборной погрешности принимается величина, равная половине цены деления шкалы прибора).***

Если длину измеряли миллиметровой линейкой, то $S_l = \dfrac{1 мм}{2} = 0{,}5\ мм = 5 \cdot 10^{-4} м$

В качестве погрешности S_π числа π возьмите табличную погрешность ***(в качестве табличной погрешности принимается величина, равная половине единицы последнего разряда округлённой табличной величины).***

Если $\pi = 3{,}14$, то $S_\pi = \dfrac{0{,}01}{2} = 0{,}005$.

Величину S_T^2 рассчитаем по формуле $S_T^2 = \dfrac{\sum\left(T_i - \langle T \rangle\right)^2}{n-1}$, где n – число измерений.

Проверим размерность: $\left[S_T^2\right] = \dfrac{(с - с)^2}{1} = с^2$; $\quad S_{\langle T \rangle}^2 = \dfrac{50 \cdot 10^{-4}\ с^2}{4} = 12.5 \cdot 10^{-4}\ с^2$.

$$S_g^2 = \left(\frac{4 \cdot 3{,}14^2}{(1{,}80 с)^2}\right)^2 \cdot (0{,}025 м)^2 + \left(-\frac{8 \cdot 3{,}14^2 \cdot 0{,}80 м}{(1{,}80 с)^3}\right)^2 \cdot 12.5 \cdot 10^{-4}\ с^2 + \left(\frac{8 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}80 м}{(1{,}80 с)^2}\right)^2 \cdot (0.005)^2, \quad \Rightarrow$$

$$S_g^2 = 926{,}06 \cdot 10^{-4} \frac{м^2}{с^4} + 1463{,}38 \cdot 10^{-4} \frac{м^2}{с^4} + 9{,}62 \cdot 10^{-4} \frac{м^2}{с^4} = 3351{,}21 \cdot 10^{-4} \frac{м^2}{с^4} = 0{,}34 \frac{м^2}{с^4}, \quad \Rightarrow \quad S_g^2 = 0.34 \frac{м^2}{с^4}$$

6. Найдём среднеквадратичное отклонение ускорения: $S_g = \sqrt{S_g^2}$. $\quad S_g = \sqrt{0.34 \dfrac{м^2}{с^4}} = 0{,}58 \dfrac{м}{с^2} = 0{,}6 \dfrac{м}{с^2}$

7. Результат измерения ускорения запишем в виде: $g =< g > \pm S_g$; $\quad g = (9.7 \pm 0{,}6) \dfrac{м}{с^2}$

Вывод: Из сравнения значения ускорения свободного падения, полученного в результате проведённого эксперимента $g_{практика} = (9.7 \pm 0{,}6) \dfrac{м}{с^2}$ с теоретическим значением $g_{теория} = (9.81 \pm 0{,}05) \dfrac{м}{с^2}$, видно, что их значения незначительно отличаются. Относительная погрешность нашего эксперимента составляет:

$$\varepsilon = \frac{\left|g_{практика} - g_{теория}\right|}{g_{теория}} \cdot 100\% = \frac{\left|9.74 \frac{м}{с^2} - 9.81 \frac{м}{с^2}\right|}{9.81 \frac{м}{с^2}} \cdot 100\% = 0{,}71\%.$$

Такая величина погрешности, по моему мнению, связана в основном со случайными погрешностями измерений, возникающими во время эксперимента.