

## Лабораторная работа № 2

### «Измерение временных интервалов»

#### Цели и задачи работы:

- освоение методов измерения временных интервалов с использованием различных методов;
- анализ и графическое представление полученных данных.

**Приборы и принадлежности:** аналоговый или электронный секундомер, маятник (грузик, нитка), линейка 50 см, сантиметровая лента или рулетка.

#### Краткая теория

*Временной интервал* – характеристика события с точки зрения его длительности. Отрезок времени, его период, отражающий одно из основных свойств времени – длительность движения, развитие объекта (события) между двумя моментами времени.

*Ускорение свободного падения ( $g$ )* – величина, характеризующая изменение скорости тела при его свободном падении вблизи поверхности Земли. В идеальных условиях, при отсутствии сопротивления воздуха и малой высоте падения, это ускорение зависит только от гравитационного поля планеты.

Временной интервал и ускорение свободного падения связаны через динамику движения тел под действием силы тяжести. Временные промежутки играют ключевую роль в экспериментальном определении  $g$ , поскольку ускорение свободного падения можно вычислить, измеряя время движения или колебаний физических систем.

## 1. Временные интервалы в свободном падении

При свободном падении тела с небольшой высоты  $h$  его движение описывается уравнением:

$$h = \frac{g \cdot t^2}{2} \quad (1)$$

где  $t$  – время падения тела.

Измеряя  $t$  и зная  $h$ , можно определить  $g$ :

$$g = \frac{2 \cdot h}{t^2}. \quad (2)$$

Таким образом, точность измерения временного интервала  $t$  напрямую влияет на точность определения ускорения свободного падения.

Измерить  $g$  можно, сбрасывая тело с высоты  $h$  и замеряя время падения  $t$ . По формуле (2) легко вычислить искомую величину. Однако на практике добиться высокой точности таким способом непросто. При падении с высоты 1 м время составляет около 0,45 с. Если измерять его с погрешностью  $\pm 0,01$  с, относительная ошибка в определении  $g$  превысит 4,5%, что даст неточность более 0,5 м/с<sup>2</sup>. Увеличивая высоту, можно снизить влияние погрешности измерения времени (например, при  $h = 20$  м время падения составит  $\approx 2$  с), но тогда начинает сказываться сопротивление воздуха, и формула (2) перестаёт работать. На больших высотах (сотни метров) тело сначала движется с ускорением, а затем из-за сопротивления воздуха переходит в равномерное движение. Таким образом, простой на первый взгляд метод требует тщательного выбора параметров, чтобы минимизировать как инструментальные погрешности, так и ошибки, связанные с неидеальностью модели.

## 2. Временные интервалы в колебаниях маятника

*Математическая модель маятника* предполагает рассмотрение точечной массы, закреплённой на невесомой и нерастяжимой нити, совершающей колебания в инерциальной системе отсчёта. Для

математического маятника период колебаний  $T$  зависит от длины нити  $l$  и ускорения свободного падения:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (3)$$

Зная  $T$  и  $l$ , можно вычислить  $g$ :

$$g = \frac{4\pi^2 \cdot l}{T^2}. \quad (4)$$

Здесь временной интервал  $T$  (период колебаний) является ключевой измеряемой величиной, от точности которой зависит результат.

В реальных экспериментах чаще используется *физический маятник* – твёрдое тело, закреплённое на оси, способное колебаться под действием силы тяжести. Если масса оси пренебрежимо мала по сравнению с массой тела, а его размеры значительно меньше длины подвеса, то расчётная формула для периода колебаний остаётся аналогичной математическому маятнику. При этом ключевым параметром становится расстояние от точки подвеса до центра масс тела.

### **Порядок выполнения работы**

#### *Упражнение 1. Измерение времени реакции человека*

Для проведения эксперимента по определению времени реакции необходимо участие двух человек. Первый участник располагает руку на краю стола таким образом, чтобы пальцы выступали за край на 7-10 см, сохраняя между указательным и большим пальцами промежуток около 5 см. Второй участник берет линейку за верхний конец, удерживая ее вертикально, и устанавливает нулевую отметку на уровне верхних фаланг пальцев первого участника.

В момент начала эксперимента второй участник неожиданно отпускает линейку, просто разжимая пальцы без дополнительного усилия. Задача первого участника – как можно быстрее среагировать на начало движения линейки и поймать ее. Фиксируется расстояние, которое успела пролететь

линейка до момента захвата - отмечается деление, оказавшееся на уровне верхних фаланг пальцев в момент остановки линейки.

Перед основными измерениями рекомендуется провести 3-5 пробных попыток. Это позволяет оценить разброс результатов и определить оптимальное количество повторений для получения достоверных данных с учетом точности используемой измерительной линейки. После подготовительного этапа выполняются контрольные измерения, результаты которых заносятся в соответствующую таблицу 1. Количество фактически проведенных опытов может отличаться от количества граф в таблице.

Таблица 1 – Результаты измерения расстояния и расчета времени падения линейки

Номер измерения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ср. значение
$h$ , см										
$t$ , с										

*Обработка результатов:*

Для каждого проведенного измерения рассчитайте и занесите в таблицу 1 время реакции человека, полученное из формулы (1):

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad (5)$$

где  $h$  - зафиксированное расстояние пролета линейки,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Рассчитайте среднее арифметическое значение расстояние, которое успевает пролететь линейка по формуле:

$$h_{\text{ср}} = \frac{\sum h_i}{n},$$

где  $h_i$ - измеренная величина,  $n$  – количество измерений данной величины.

Также рассчитайте среднее время реакции человека двумя способами и сравните полученные значения:

$$t_{\text{ср}} = \frac{\sum t_i}{n},$$

$$t_{\text{cp}} = \frac{\sum \sqrt{\frac{2h}{g}}}{n}.$$

### *Запись результатов*

Оцените погрешности полученных величин. Представьте полученные результаты согласно правил округления в таблице 1. В выводе к работе проанализируйте полученный результат с учетом того, что в среднем время реакции человека составляет от 0,15 до 0,3 с.

### *Упражнение 2. Измерение периода колебаний маятника.*

Экспериментальная установка (рисунок 1) включает массивное основание с вертикально закрепленной металлической стойкой. На стойке при помощи зажима фиксируется горизонтальный стержень с отверстием, через которое пропущена нить с подвешенным грузом. Длину нити можно регулировать, наматывая ее на стержень.

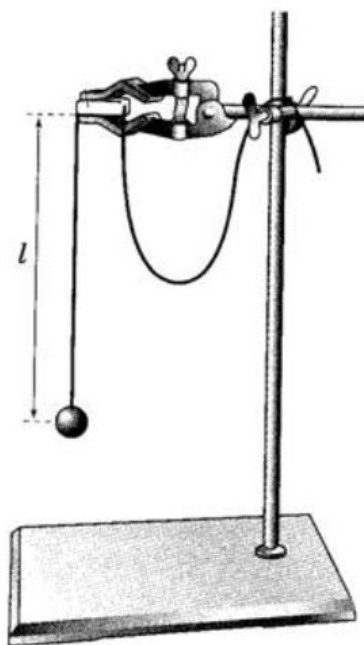


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Закрепите нить с грузом в зажиме штатива так, чтобы длина маятника могла легко изменяться. Убедитесь, что подвес позволяет маятнику свободно колебаться в одной плоскости без вращения.

Установив длину маятника (измеряйте длину от точки подвеса до центра груза с точностью до 1 мм) от 0,1 до 0,5 м, отклоните маятник на небольшой угол (10-15°) и отпустите. Измерьте время  $t$  трех полных колебаний с помощью секундомера. Занесите данные в таблицу 2.

*Обработка результатов:*

Оцените абсолютную погрешность прямых измерений времени колебаний маятника.

Определите период колебаний маятника  $T = \frac{t_{\text{ср}}}{3}$  и  $T^2$ , занесите результаты расчетов в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты измерения времени колебаний маятника секундомером

Номер измерения	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l, \text{м}$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
$t, \text{с}$									
$T, \text{с}$									
$T^2, \text{с}^2$									

Оцените абсолютную погрешность косвенной величины  $T^2$ .

Постройте график зависимости  $T^2(l)$  и проведите линию аппроксимирующую прямую с учетом погрешностей величин. Из графика определите угловой коэффициент  $k$ , который связан с величиной ускорения свободного падения маятника как  $k = \frac{4\pi^2}{g}$ . По полученному значению  $k$  определите ускорение свободного падения.

*Запись результатов*

Представьте полученные результаты согласно правил округления. Сравните полученное значение со значением  $g$  для Томской области.

## Контрольные вопросы

1. В чем заключается главная сложность измерения малых временных интервалов?
2. Какие факторы влияют на время реакции человека? Как можно минимизировать их влияние в эксперименте?
3. Почему при расчете времени реакции используется формула свободного падения? Какие допущения при этом делаются?
4. Какие приборы (кроме линейки и секундомера) можно использовать для более точного измерения времени реакции?
5. От каких параметров зависит период колебаний математического маятника? Запишите формулу и поясните физический смысл входящих в неё величин.
6. Почему в эксперименте измеряют время нескольких колебаний, а не одного? Как это влияет на точность?
7. Какие условия должны выполняться, чтобы маятник можно было считать математическим? Как влияет на результат «неидеальность» реального маятника?
8. Какие систематические погрешности возникают в обоих экспериментах? Как их можно учесть?
9. Как изменится период колебаний маятника, если увеличить массу груза? проводить эксперимент на Луне?
10. Какой из двух экспериментов (измерение времени реакции или периода колебаний) дает более точное значение  $g$  и почему?