

## Лабораторная работа № 1

### Тема: «Исследование факторов влияющих на скорость свободного падения тел»

Количество часов 2

Материально-техническое обеспечение: два тела одинаковой формы, но разной массы, и два тела одинаковой массы, но разной формы.

**Задание:** Определить факторы, влияющие на скорость свободного падения тела.

#### Рекомендации по выполнению задания:

Что влияет на скорость падения? Масса тела или его форма?

Для первого этапа проверки влияния массы на скорость падения выбирают два тела одинаковой формы, но разной массы.

Располагают на одинаковой высоте и одновременно отпускают. Фиксируют момент приземления тел. Если есть возможность, закрепляется фотокамера на штативе, в объективе которой фокусируется место падения тел. Включается запись видео и одновременно отпускаются два тела. Опыт рекомендуется проводить 3-5 раз.

Второй этап – проверка влияния формы тела. Берём два тела одинаковой массы, но разной формы (например лист бумаги А4 и скомканный лист). Располагаем на одной высоте и одновременно отпускаем. Фиксируем момент падения тел. Опыт рекомендуется проводить 3-5 раз.

Демонстрация явления без сопротивления о воздух.

При демонстрации явления свободного падения откачивают воздух из длинной трубки, в которую помещают несколько предметов разной массы. Если перевернуть трубку, то тела, независимо от их массы, упадут на дно трубки одновременно.

Если же эти предметы поместить в какую-либо среду, то к действию силы тяжести добавится сила сопротивления, и тогда времена падения данных предметов уже не обязательно будут совпадать, а будут в каждом случае зависеть от формы тела и его плотности.

Теоретическая часть

$$F=mg; \quad F=GmM/r^2; \quad g=GM/r^2$$

где  $G$  - гравитационная постоянная ( $6,6742 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3\text{с}^{-2}\text{кг}^{-1}$ ), а  $r = 63,713 \cdot 10^5 \text{ м}$  - радиус планеты,  $M = 5,97219 \cdot 10^{24} \text{ кг}$  - масса планеты

(В нулевом приближении можно считать, что Земля имеет форму шара со средним радиусом 6371,3 км. Такое представление нашей планеты хорошо подходит для задач, точность вычислений в которых не превышает 0,5 %. В действительности Земля не является идеальным шаром. Из-за суточного вращения она сплюснута с полюсов; высоты материков различны; форму поверхности искажают и приливные деформации)

Вывод:

Что подтвердилось в результате лабораторной работы?

(На основании экспериментально полученных данных ...)

## Лабораторная работа № 2

### Тема: «Исследование сил упругости, закон Гука»

Количество часов 2

Материально-техническое обеспечение: штатив, линейка, динамометр, грузы.

**Задание:** Определить коэффициент жёсткости пружины. Найти среднее значение коэффициента жёсткости пружины и сделать вывод.

**Рекомендации по выполнению задания:**

Рисунок опыта.

Действующие силы.

Расчетная формула:  $F = k|\Delta l|$ , где  $k$  – жесткость пружины.

Таблица результатов эксперимента

Величина	Опыт №	1	2	3	4	Среднее значение
Удлинение $\Delta l$ , м						
Масса груза $m$ , кг						
Сила упругости $F$ , Н						
Жёсткость пружины $k$ , Н/м						
Абсолютная погрешность $\Delta k$ , Н/м						

Абсолютная погрешность:  $\Delta k = |k_{\text{ср}} - k_n|$

Среднее значение:  $k_{\text{ср}} = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3}$

Если результаты представляют в виде графика, то нанесенные точки соединяются не ломаной кривой, а плавной линией, которая должна проходить в границах погрешностей отдельных элементов.

Ответ:

$$k = (k_{\text{ср}} \pm \Delta k_{\text{ср}}) \text{ Н/м}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta k_{\text{ср}}}{k_{\text{ср}}} \cdot 100\%$$

- относительная погрешность (чем меньше погрешность, тем лучше результат;  $\varepsilon \leq 10\%$ )

Вывод:

Проверить выполнение цели работы.

Что узнал нового?

Какие практические умения приобрёл?

Оценить правдоподобность результатов.

### Лабораторная работа № 3

#### Тема: «Исследование сил трения»

Количество часов 2

Материально-техническое обеспечение: динамометр, деревянный брусок, деревянная линейка или деревянная плоскость, набор грузов

#### Задание:

Исследовать силу трения – это значит определить: от чего зависит величина её; что нужно сделать, чтобы её увеличить, уменьшить. Измерить коэффициент трения скольжения.

#### Рекомендации по выполнению задания:

Составляем план проведения эксперимента.

#### Ход работы

1. Определите цену деления шкалы динамометра.
2. Определите массу бруска. Подвесьте брусок к динамометру, показания динамометра - это вес бруска. Для нахождения массы бруска разделите вес на  $g$ . Принять  $g=10 \text{ м/с}^2$ .
3. Положите брусок на горизонтально расположенную деревянную линейку. На брусок поставьте груз 100 г. Проведём 1-ый эксперимент: сравним силы трения покоя и трение скольжения. Результат запишем в отчёт пункт 1.

Прикрепив к бруску динамометр, как можно более равномерно тяните его вдоль линейки. Запишите показания динамометра, в момент, когда брусок начал движение это и есть величина максимальной силы трения покоя. (Важно зафиксировать показания динамометра именно в момент начала движения, т. к. при движении бруска показания динамометра изменятся).

Запишите показания динамометра, когда брусок движется это и есть величина силы трения скольжения. (Важно чтобы движение было равномерным). Внимательно наблюдаем за показаниями динамометра и движением бруска. Обнаружим, что трение покоя больше, чем трение скольжения. Вывод запишем в пункт 3 отчёта.

Проведём 2-ый эксперимент: определим, зависит ли величина силы трения от площади поверхности тел. Результат запишем в пункт 2 отчёта. Сравним силу трения с весом тела. Для этого определим, какой вес бруска нам доступен и запишем их в таблицу, потом измерим силы трения и заполним таблицу пункт 4.

Вместо поверхности стола возьмём поверхность доски (лист бумаги) и заполним таблицу пункт 5.

Таблица результатов измерений

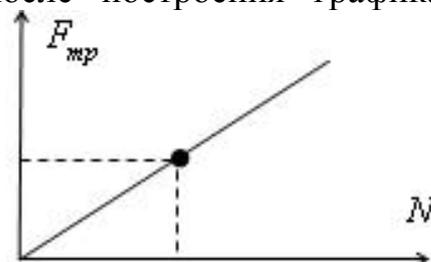
№ опыта	Масса бруска, $m_1$ , кг	Масса груза, $m_2$ , кг	Общий вес тела (сила нормального давления), $P=N=(m_1+m_2)g$ , Н	Сила трения, $F_{тр}$ , Н	Коэффициент трения, $\mu$	Среднее значение коэффициента трения, $\mu_{ср}$
1						
2						

3					
4					
5					

Вычислим отношение силы трения к весу и результаты запишем в таблицу это коэффициент трения:

$$\mu = \frac{F_{тр}}{N}$$

По результатам измерений постройте график зависимости силы трения от силы нормального давления. При построении графика по результатам опытов экспериментальные точки могут не оказаться на прямой, которая соответствует формуле. Это связано с погрешностями измерения. В этом случае график надо проводить так, чтобы примерно одинаковое число точек, оказалось, по разные стороны от прямой. После построения графика возьмите точку на прямой (в средней части графика), определите по нему соответствующие этой точке значения силы трения и силы нормального давления и вычислите коэффициент трения. Это и будет средним значением коэффициента трения. Запишите его в таблицу.



Контрольные вопросы:

что показывает коэффициент трения, его единица измерения, следствие из его определения:  $F_{тр} = \mu P$ ,

но вес тела действует на опору, а на тело действует сила равная ему по модулю  $P = N$  сила реакции опоры, следовательно:

$$F_{тр} = \mu N.$$

Сделаем окончательный вывод: от чего зависит сила трения и от чего зависит коэффициент трения: Сила трения зависит от веса тела и от состояния поверхности, а коэффициента трения – от состояния поверхности.

#### Лабораторная работа № 4

**Тема: «Исследование закона сохранения механической энергии»**

Количество часов 2

Материально-техническое обеспечение: штатив для фронтальных работ; динамометр учебный; шар; нитки; листы белой и копировальной бумаги; линейка измерительная; весы учебные.

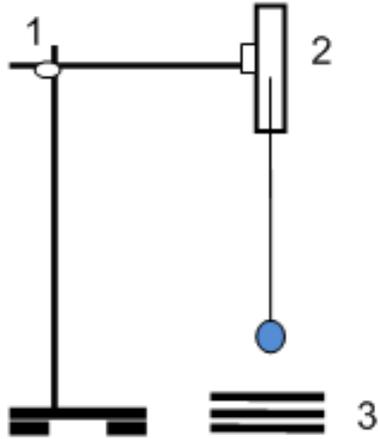
**Задание:**

Сравнить изменение потенциальной энергии деформированной пружины и изменение потенциальной энергии свободно падающего тела.

**Рекомендации по выполнению задания:**

Определите цену деления шкалы динамометра.

Соберите установку (см. рис.). Укрепив в лапке штатива динамометр в вертикальном положении, проверяют совмещение его указателя с нулевым делением шкалы. В начале работы проверяют действие фиксатора, который служит для определения максимального растяжения пружины, что позволяет рассчитать по шкале силу. На место падения шарика положите лист белой, а сверху лист копировальной бумаги.



Изменение потенциальной энергии пружины рассчитывают по формуле

$$E_{\text{пружины}} = \frac{F \cdot x}{2},$$

где  $F$ -сила упругости пружины,  $x$ -удлинение пружины.

Изменение потенциальной энергии грузов при их перемещении находят по формуле:

$$E_{\text{грузов}} = m \cdot g \cdot h,$$

где  $m$  - масса грузов,  $g$  - ускорение свободного падения,  $h$  - перемещение грузов.

### Ход работы

1. Подвешивают к крючку динамометра груз массой по 100 г.
2. Поднимают груз так, чтобы указатель динамометра вернулся на нулевое деление шкалы, а затем их опускают. Груз при падении растягивают пружины. Измеряют максимальную силу упругости и соответствующее удлинение пружины.
3. Измерения заносят в таблицу

Таблица

$F, \text{Н}$	$x, \text{м}$	$E_{\text{пружины}}$	$m, \text{кг}$	$h, \text{м}$	$E_{\text{грузов}}$

и производят вычисления.

4. Производят расчет погрешности измерений.
5. Делают выводы.

### Расчет погрешностей.

$$\varepsilon_{\text{пружины}} = \frac{\Delta F}{F} + \frac{\Delta X}{X}$$

$$\Delta E_{\text{пружины}} = \varepsilon_{\text{пружины}} \cdot E_{\text{пружины}}$$

$$\varepsilon_{\text{груза}} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta h}{h}$$

$$\Delta E_{\text{груза}} = \varepsilon_{\text{груза}} \cdot E_{\text{груза}}$$

Контрольные вопросы.

1. В каких случаях механическая энергия системы остается неизменной.
2. Куда исчезает механическая энергия в системе, в которой действуют диссипативные силы.
3. Чему равна работа силы упругости при перемещении тела по замкнутой траектории

Пример

$F, \text{Н}$	$x, \text{м}$	$E_{\text{пружины}}$	$m, \text{кг}$	$h, \text{м}$	$E_{\text{грузов}}$

3,5	0,086	0,15	0,2	0,086	0,17
-----	-------	------	-----	-------	------

$$\Delta \varepsilon_{\text{пружины}} = \frac{0,1}{3,5} + \frac{0,001}{0,0086} \approx 0,04$$

$$\Delta E_{\text{пружины}} = 0,15 \times 0,04 = 0,006 \text{ Дж}$$

$$E_{\text{пружины}} = (0,15 \pm 0,01) \text{ Дж}$$

$$\Delta \varepsilon_{\text{грузов}} = \frac{0,01}{0,2} + \frac{0,001}{0,086} \approx 0,06$$

$$\Delta E_{\text{грузов}} = 0,17 \times 0,06 = 0,01 \text{ Дж}$$

$$E_{\text{грузов}} = (0,17 \pm 0,01) \text{ Дж}$$

Незначительное расхождение числовых значений изменений энергии объясняются переходом части потенциальной энергии пружины во внутреннюю энергию трущихся деталей динамометра.

По результатам работы сделайте выводы.

## Лабораторная работа № 5

### Тема: «Определение ускорения свободного падения с помощью маятника»

Количество часов 2

Материально-техническое обеспечение: лента измерительная, секундомер, штатив лабораторный, шарик, нить с узелками

#### Задание:

Вычислить ускорение свободного падения через период колебаний математического маятника. Период колебаний можно определить, зная полное время колебаний и число колебаний.

#### Рекомендации по выполнению задания:

##### Методические указания

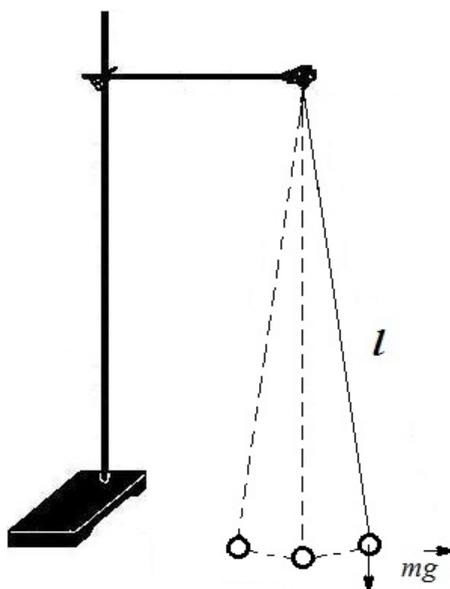
Для выполнения работы устанавливают на краю стола штатив с кольцом, зажатым у верхнего конца штатива. Сквозь отверстие шарика продевают нить и пропускают шарик до узелка. Полученный таким образом

маятник подвешивают к кольцу штатива. Шарик должен висеть на расстоянии 1-2 см от пола (рис. 1)

Зная период колебаний математического маятника можно определить ускорение свободного падения.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} . \text{ Здесь } T - \text{ период колебаний}$$

маятника,  $l$  - длина нити,  $g$  - падения ускорение свободного. Период колебаний можно определить, зная полное время колебаний и



число колебаний:  $T = \frac{t}{n}$ . Тогда  $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} = \frac{4\pi^2 l \cdot n}{t_{cp}^2}$ . Полное время колебаний математического маятника

Рис. 1 определяют как среднее арифметическое по  $n$  опытам  $t_{cp} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + \dots}{n}$ .

#### Ход работы

1. Собрать установку
2. Измерить лентой длину нити  $l$ .
3. Произвести измерение полного времени  $n$  колебаний маятника с помощью секундомера, отклоняя маятник не более чем на 8-10 см от положения равновесия.
4. Вычислить среднюю абсолютную погрешность измерения времени:

$$\Delta t_{cp} = \frac{|t_1 - t_{cp}| + |t_2 - t_{cp}| + |t_3 - t_{cp}| + \dots}{n}$$

5. Данные занести в таблицу 1.

Таблица 1

№ опыта	$l$ длина нити	t, с	n-число колебаний	$t_{cp}, c$	$\Delta t, c$	$\Delta t_{cp}, c$	$T = \frac{t}{n}$
1							
2							
3							
4							
5							
6							

6. Вычислить ускорение свободного падения по формуле:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} = \frac{4\pi^2 l \cdot n}{t_{cp}^2}$$

7. Определить относительную погрешность измерения времени  $\varepsilon_t$ .
8. Определить относительную погрешность измерения длины маятника  $\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l}$ . Значение  $\Delta l = 0,5 \cdot 10^{-3} m$  - половина цены деления ленты.
9. Вычислить относительную погрешность измерения  $g$  по формуле:

$$\varepsilon_g = \varepsilon_l + 2 \cdot \varepsilon_\pi + 2 \cdot \varepsilon_t$$

Учитывая, что погрешностью округления  $\pi$  можно пренебречь, если  $\pi = 3,14$ ; также можно пренебречь  $\varepsilon_l$ , если она в 4 раза меньше  $2 \cdot \varepsilon_t$ .

10. Определить  $\Delta g = \varepsilon_g g_{cp}$

11. Убедиться в достоверности измерений и проверить принадлежность известного значения лученному интервалу.

12. Оформить отчет.

13. Написать вывод по лабораторной работе.

1. Проверить выполнение цели работы.

2. Что узнал нового?

3. Какие практические умения приобрёл?

4. Оценить правдоподобность полученного результата, сравнив его с табличным значением.

5. Поразмышляйте, о том почему не совпали результаты.

Контрольные вопросы.

- Что называется математическим маятником
- Каким свойством обладает математический маятник на шарнирном подвесе
- В каком Соборе Санкт-Петербурга длительное время можно было наблюдать опыт, демонстрирующий суточное вращение Земли с помощью нитяного (математического) маятника.

Пример

$$l = 0,56 \text{ м}, \quad T = \frac{t}{n} = \frac{60 \text{ с}}{40} = 1,5 \text{ с}, \quad g = \frac{4 \cdot 9,86 \cdot 0,56}{2,25} = 9,82 \text{ м/с}^2 \quad \frac{\Delta g}{g} \approx 0,07,$$

$$g = 9,82 \pm 0,70 \text{ м/с}^2.$$

Здесь погрешность результата происходит главным образом за счет погрешности времени. Чтобы уменьшить эту погрешность, нужно промежуток времени брать по возможности больший, иначе говоря, увеличить число колебаний.

## Лабораторная работа № 6

Тема: «Исследование распределения давления по объему жидкости»

Количество часов 2

Материально-техническое обеспечение: лабораторный набор – датчик давления, микроманометр, сосуд с водой.

### Задание:

Измерить давление воды на трех различных точках погружения. Вычислить давление столба жидкости и сравнить с измеренной величиной.

### Рекомендации по выполнению задания:

Цель исследования: \_\_\_\_\_

Оборудование: \_\_\_\_\_

Ход работы:

1. В ходе опыта буду измерять \_\_\_\_\_

2. Измерение \_\_\_\_\_ жидкости провожу при помощи \_\_\_\_\_

Цена деления: \_\_\_\_\_

Абсолютная погрешность измерений: \_\_\_\_\_

3. Измерю \_\_\_\_\_ на одном уровне и сделаю вывод: \_\_\_\_\_

4. Измерю \_\_\_\_\_ на разной \_\_\_\_\_,

т.е. при разной \_\_\_\_\_ жидкости.

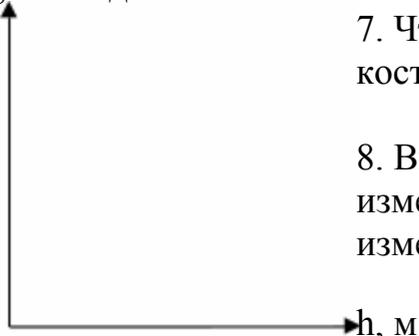
5. Результаты измерений внести в таблицу:

Высота столба жидкости $h$ , м					
Давление $p$ , мм вод.ст.					
$p$ , Па					
$P = \rho gh$ , Па					

$\rho$  – плотность жидкости.

Проанализировать, как изменяется давление в жидкости при изменении глубины погружения датчика.

$P$ , мм вод.ст.



7. Чтобы установить вид зависимости давления жидкости от \_\_\_\_\_ строю \_\_\_\_\_

8. Вывод: (Сравнить результаты расчета с измеренными, изменяется давление в жидкости при изменении глубины.)

## Лабораторная работа № 7

### Тема: «Опытная проверка закона Гей-Люссака»

Количество часов 2

Материально-техническое обеспечение: лабораторный набор, термометр, стакан с горячей водой.

**Задание:** Проверить закон Гей-Люссака  $\left( \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \right)$ , Для этого достаточно измерить объём и температуру газа в двух состояниях при постоянном давлении.

#### Рекомендации по выполнению задания:

Порядок выполнения работы

1. Из деталей набора соберите систему (см. фото).
2. Определите температуру воздуха в комнате  $t_1$ .
3. Сняв зажим, установите поршень шприца на отметку 2 мл. Это соответствует объёму воздуха в системе  $V_1 = 62$  мл.
4. Для получения второго состояния поставьте зажим и опустите термометр и шприц в стакан с горячей водой. Выдвигайте поршень, увеличивая объём воздуха, до тех пор, пока стрелка манометра не вернётся к нулевому делению, которое соответствует атмосферному давлению. Определите  $V_2$  и  $t_2$ .
5. Данные измерений и расчётов занесите в таблицу.

Вычислите значения температуры  $T_1$  и  $T_2$  в градусах Кельвина и занесите их в таблицу.

$\Delta_{\text{н}}T$  - абсолютная инструментальная погрешность термометра,

$\Delta_0T$  - абсолютная погрешность отсчета температуры,

$\Delta T$  - максимальная абсолютная погрешность измерения температуры.

Таблица результатов измерений

Измерено				Вычислено											
$V_1$ , мл	$V_2$ , мл	$t_1$ , °C	$t_2$ , °C	$T_1$ , К	$T_2$ , К	$\Delta_{\text{н}}T$ , К	$\Delta_0T$ , К	$\Delta T$ , К	$\Delta V$ , мл	$\frac{V_1}{V_2}$	$\varepsilon_1$ , %	$\Delta_1$	$\frac{T_1}{T_2}$	$\varepsilon_2$ , %	$\Delta_2$
62	69	22	65	295	338	1	0,5	1,5	1	0,899	3,1	0,028	0,873	0,6	0,005

6. Вычислите отношения  $\frac{V_1}{V_2}$  и  $\frac{T_1}{T_2}$ , относительные ( $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ ) и абсолютные ( $\Delta_1$  и  $\Delta_2$ ) погрешности по формулам:

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta V}{V_1} + \frac{\Delta V}{V_2} = \frac{1}{62} + \frac{1}{69} = 0,031,$$

$$\Delta_1 = \varepsilon_1 \cdot \frac{V_1}{V_2} = 0,031 \cdot 0,899 = 0,028.$$

(Погрешность измерения объёма с учётом соединительных трубок определена изготовителем набора и не превышает 1 мл.)

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta T}{T_1} + \frac{\Delta T}{T_2} = \frac{1,5}{295} + \frac{1,5}{338} = 0,006,$$

$$\Delta_2 = \varepsilon_2 \cdot \frac{T_1}{T_2} = 0,006 \cdot 0,873 = 0,005.$$

7. Определите интервалы отношений  $\frac{V_1}{V_2}$  и  $\frac{T_1}{T_2}$ , с учётом погрешностей:

$$0,899 - 0,028 < \frac{V_1}{V_2} < 0,899 + 0,028; \quad 0,871 < \frac{V_1}{V_2} < 0,927;$$

$$0,873 - 0,005 < \frac{T_1}{T_2} < 0,873 + 0,005; \quad 0,868 < \frac{T_1}{T_2} < 0,878.$$

8. Сравните интервалы и сделайте вывод о справедливости закона Гей-Люссака.

(Интервалы перекрываются, значит, отношения объёмов и температур при данной относительной погрешности измерений одинаковы, что подтверждает справедливость закона Гей-Люссака.)