

*Республиканская
физическая
олимпиада
2019*

*Заключительный этап
Экспериментальный тур*

**Витебск
2019**

Задание 9-1 Теплота растворения.

Оценивать погрешности в этой задаче не нужно!

Этот эксперимент вы сможете провести максимум один раз!

Поэтому внимательно прочитайте все условие, разработайте план проведения эксперимента, и только после этого приступайте к измерениям!

При растворении веществ может происходить как выделение, так и поглощение теплоты. В данном задании вам необходимо исследовать выделение теплоты при растворении хлорида кальция (CaCl_2) в воде. Эта соль не ядовита, но очень горькая – пробовать ее на вкус не рекомендуется!

Так как при растворении жидкость нагревается, то часть теплоты будет уходить в окружающую среду. Вам необходимо учесть эти потери теплоты.

Приборы и оборудование: электронный термометр, секундомер, пластиковый стакан, вода, порошок хлорида кальция.

Часть 1. Измерения.

1.1. Налейте в пластиковую мензурку 30 мл воды (по мерке на стакане. Измерьте ее температуру t_0).

1.2. Последовательно засыпайте в мензурку порции соли (одну чайную ложечку без верха, всего 5 порций). После добавления каждой порции тщательно (но аккуратно) перемешивайте раствор до полного растворения соли. Измерьте температуру раствора после растворения каждой порции $t_1, t_2, t_3 \dots$, а также моменты времени $\tau_1, \tau_2, \tau_3 \dots$, в которые вы закончили растворение каждой порции. (Понятно, что секундомер надо запустить сразу после того, как вы засыпали первую порцию).

1.3 Сразу после того, как растворилась последняя порция, запустите секундомер снова и измерьте зависимость температуры раствора от времени в процессе остывания.

Часть 2. Расчеты.

2.1 Постройте график зависимости температуры раствора от времени в процессе остывания. Считая (конечно, приближенно), что полученная зависимость линейная, определите коэффициент наклона графика $K = \frac{\Delta t}{\Delta \tau}$. Какой физический смысл имеет этот коэффициент?

2.2. Постройте график измеренной зависимости температуры раствора от массы растворенной соли.

2.3. Рассчитайте, каковы бы были температуры раствора (после растворения очередной порции соли), если бы не было потерь в окружающую среду. Постройте график зависимости рассчитанных температур от массы растворенной соли.

2.4 Рассчитайте, какое количество теплоты выделяется при растворении 1 грамма хлорида кальция в воде.

Удельная теплоемкость воды $c = 4,2 \frac{\text{дж}}{\text{г} \cdot \text{град}}$. Масса одной порции (чайной ложки без верха)

вам будет указана в ходе выполнения работы.

Считайте, что полная теплоемкость раствора не зависит от массы растворенной соли и равна теплоемкости чистой воды.

Задание 9-2 Закон Ома для жидкости.

При течении жидкости по трубке расход жидкости (объем жидкости, протекающий через трубку в единицу времени $q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$) пропорционален разности давлений на концах трубки ΔP

$$q = \frac{\Delta P}{R} \quad (1)$$

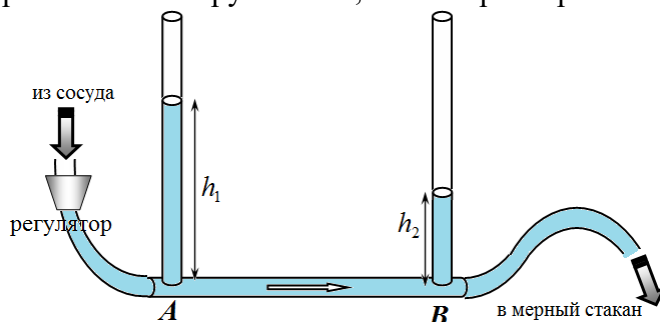
Это утверждение часто называют законом Ома для течения жидкости. Величину R в формуле (1) назовем гидродинамическим сопротивлением трубки.

В данной задаче вам необходимо экспериментально проверить выполнимость этого закона и определите сопротивление трубки R .

Вам предоставляется следующая установка.

На вертикальной пластине закреплена горизонтальная трубка AB , по которой протекает вода, и движение которой исследуется.

К концам трубки присоединены две вертикальные трубки для измерения давления на концах трубки AB . В качестве показателя давления используются высоты уровней воды h_1 и h_2 .



Вода протекает из большого сосуда через гибкий шланг, на котором находится регулятор стока воды.

С помощью этого регулятора можно изменять скорость течения воды. Ко второму концу трубки AB подсоединен гибкий шланг, направляющий воду в мерный стакан. На стакан нанесены две метки, объем стакана между этими метками равен 150 мл. Кроме того, **в комплект оборудования входят:** секундомер, салфетки, другая посуда.

Постарайтесь работать аккуратно, так, чтобы хотя бы часть вашей рабочей тетради осталась сухой!

Задания.

Для проведения исследований рекомендуем измерять время наполнения стакана между метками на стакане. Поддерживайте уровень воды в сосуде примерно на одном уровне.

1. Исследуйте зависимость разности уровней в трубках $\Delta h = h_1 - h_2$ от расхода жидкости q . Приведите формулу для расчета q по данным измерений.
2. Постройте график полученной зависимости.
3. Сделайте вывод – выполняется ли закон Ома для вашей установки? Кратко обоснуйте его.
4. Рассчитайте значение гидродинамического сопротивления трубки R в единицах системы СИ. Оцените погрешность найденного значения.

Плотность воды считайте равной $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$,

ускорение свободного падения $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

Задание 10-1. Опять трение?!

Приборы и оборудование: штатив с двумя лапками, грузы по 100 г, динамометр с пределом измерения 10,0Н, нить х/б длиной 40см, продетая в бумажную втулку (втулка изготавливается из полоски тетрадной бумаги 3,0х10,0см), другой кусок нити длиной 1,5 – 2,0м (нить должна держать груз более 1,0кг), цилиндр металлический диаметром 2,4см (в качестве переключины).

Указание: рассматривать только стационарные состояния исследуемых систем.

Часть 1. Нить в бумажной втулке.

1.0. Соберите экспериментальную установку как показано на рис. 1. Зажмите втулку в лапке штатива так, чтобы трение нити о втулку было достаточным для удержания пружины динамометра на отметке 0,8 – 1,2Н без подвешивания грузов.

1.1 Исследуйте экспериментально зависимость силы, показываемой динамометром, от числа грузов $F(n)$ при загрузке (последовательном увеличении числа подвешенных грузов) и разгрузке (последовательном уменьшении числа подвешенных грузов) нити.

1.2. Постройте графики зависимости $F(n)$ по результатам, полученным в п.1.1.

1.3 Предложите теоретические формулы, описывающие полученные экспериментальные зависимости. Укажите участки на построенных графиках, где ваши формулы подтверждаются экспериментально.

1.4. По экспериментальным данным определите силы трения нити о стенки втулки при нагрузке и разгрузке нити, вычислите погрешности найденных значений.

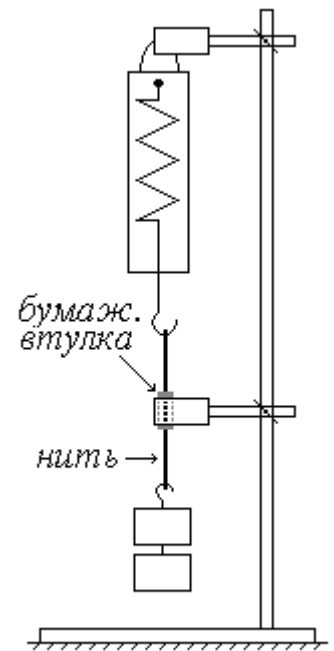


рис. 1

Часть 2. Нить на цилиндре

2.0. Соберите экспериментальную установку как показано на рис. 2.

2.1. Исследуйте экспериментально зависимость силы, показываемой динамометром, от числа грузов $F(n)$ при нагрузке и разгрузке нити.

2.2. Постройте график зависимости $F(n)$. Подпишите на графике участки загрузки разгрузки нити.

Теоретически можно показать, что при скольжении нити по цилиндру отношение сил натяжения нитей с разных сторон цилиндра остается постоянным

$$\frac{T_1}{T_2} = k. \quad (1)$$

2.3 Сделайте рисунок, иллюстрирующий соотношение (1), укажите направление движения нити и силы ее натяжения T_1 и T_2 , так, чтобы коэффициент k был меньше 1.

2.3. По экспериментальным данным определите значения коэффициента k при нагрузке и разгрузке. Оцените погрешность найденных значений.

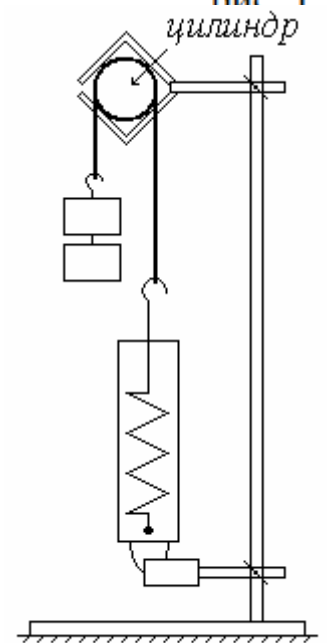


рис. 2

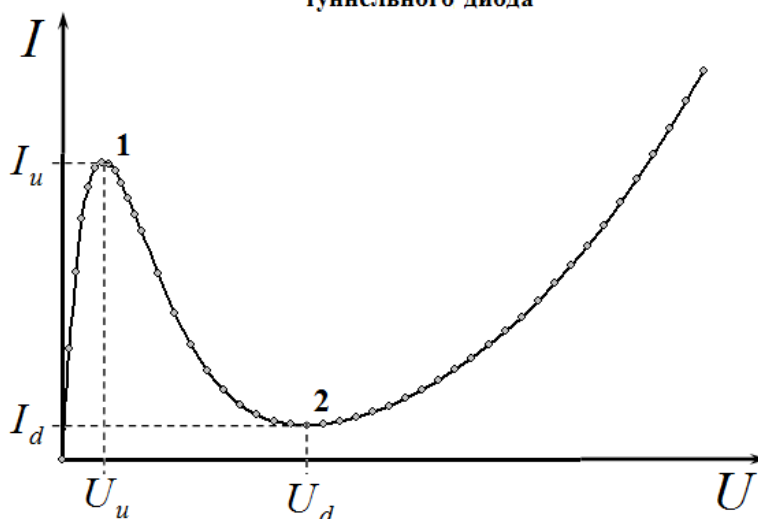
Задание 10-2 Туннельный диод.

Расчет погрешностей в данной работе не требуется.

В настоящее время в электронных приборах используются различные полупроводниковые элементы, имеющие необычные вольтамперные характеристики (ВАХ).

В данной работе исследуется один из таких элементов – туннельный диод.

Вольтамперная характеристика
туннельного диода

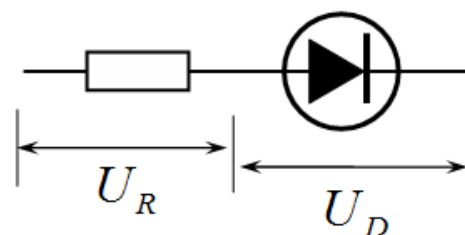


На рисунке схематически показана ВАХ туннельного диода. Наиболее интересной ее особенностью является наличие спадающей ветви между точками 1 (точка пика) и 2 (точка провала) и значения параметров в этих точках: U_u, I_u – напряжение и сила тока пика; U_d, I_d – напряжение и сила тока провала.

Приборы и оборудование: туннельный диод АИ201А, источник напряжения 1,5 В, резистор постоянный примерно 100 Ом, резистор постоянный примерно 30 Ом, переменный резистор (реостат) 15 Ом, мультиметр, переключатель двух полюсный, соединительные провода.

Задания.

В работе используется цепь из последовательно соединенных резистора и туннельного диода. Вам необходимо подключить эту цепочку к цепи питания (источник напряжения и реостат), позволяющую регулировать напряжение $U_0 = U_R + U_D$ на исследуемой цепи. Также необходимо подключить измерительную цепь (вольтметр, ключ двухполюсный) для измерения напряжений на резисторе U_R и диоде U_D .



1. Нарисуйте электрическую цепь, удовлетворяющую указанным условиям.
2. Проведите измерения зависимости силы тока I в исследуемой цепи от общего напряжения U_0 для цепи с резистором, сопротивление которого примерно равно 100 Ом. Измерьте точное значение этого сопротивления, укажите его величину.
 - 2.1 Укажите, как по измеренным значениям напряжений на резисторе U_R и диоде U_D можно рассчитать требуемые величины I и U_0 .

2.2 При проведении измерений сначала медленно и монотонно увеличивайте общее напряжение от нуля до максимального значения (при возрастании), а затем при медленном и монотонном убывании общего напряжения.

2.3 Постройте графики полученных зависимостей $I(U_0)$, укажите какая часть графика соответствует увеличению, а какая - уменьшению напряжения.

2.4 Выделите примерно линейные участки полученной зависимости, рассчитайте общее сопротивление цепи на этих участках.

2.5 Используя схематический график ВАХ диода качественно объясните полученные экспериментальные зависимости.

3. Проведите измерения зависимости силы тока I в исследуемой цепи от общего напряжения U_0 для цепи с резистором, сопротивление которого примерно равно 30 Ом. Измерьте точное значение этого сопротивления, укажите его величину.

3.1 Проведите измерения зависимости силы тока в цепи I от общего напряжения U_0 в этом случае. (Следуйте указаниям п. 2.2).

3.2 Постройте графики полученных зависимостей $I(U_0)$, укажите какая часть графика соответствует увеличению, а какая - уменьшению напряжения.

3.3 Используя схематический график ВАХ диода качественно объясните полученные экспериментальные зависимости.

4. Используя все экспериментальные данные, постройте ВАХ исследуемого туннельного диода.

5. Определите значения параметров: U_u, I_u - напряжение и сила тока пика; U_d, I_d - напряжение и сила тока провала.

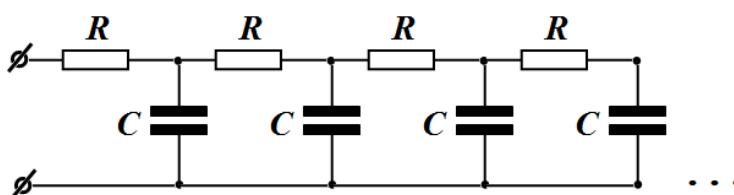
Задание 11-1 Суперконденсатор.

Приборы и оборудование: самодельный конденсатор, источник напряжения 1,5 В, два постоянных резистора сопротивлением примерно равным 1 кОм, мультиметр, соединительные провода, секундомер.

Обкладками конденсатора служат полоски графита с прикрепленными полосками ткани, изготовленной из углеродных нанотрубок¹. Пространство между обкладками заполнено жидким силикатным клеем. Свойства этого конденсатора сильно отличаются от свойств обычного конденсатора. Так этот конденсатор обладает памятью (можно сказать, что он очень злопамятен) – его характеристики зависят от предыстории: как, когда и насколько он заряжался и разряжался. Поэтому при проведении измерений строго следуйте приведенным в условии задачи инструкциям! Если вы не проводите измерения закоротите обкладки конденсатора.

В ходе измерений напряжение на конденсаторе не должно превышать 600 мВ.

Наилучшей теоретической моделью конденсатора является бесконечная RC - цепочка. Однако, полный анализ такой модели является сложной задачей, особенно для экспериментального тура. Поэтому в данной задаче вам необходимо предложить некоторые более упрощенные модели, причем не страшно, если в разных заданиях вы будете пользоваться разными моделями.

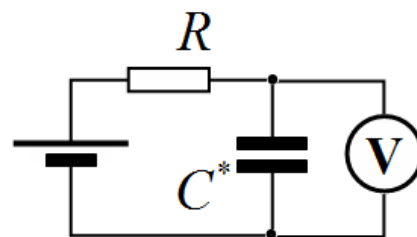


При проведении измерений удобно пользоваться секундомером с памятью этапов.

Если вы не умеете работать с секундомером в таком режиме – обратитесь за консультацией к организаторам олимпиады.

Часть 1. Зарядка конденсатора.

В данной части вам необходимо изучить процесс зарядки конденсатора в цепи, показанной на рисунке. На схеме обозначены: C^* - исследуемый конденсатор, R - сопротивление цепи зарядки. Резисторы в цепи зарядки припаяны к источнику. Измерьте и приведите их значения. Для сборки цепи используйте соединительные провода с разъемами типа «крокодил» - при необходимости вы можете их быстро подключать к нужным точкам.



Исследование процесса зарядки проводите следующим образом: подключите конденсатор к источнику через резистор, дождитесь, пока напряжение на нем не достигнет 600 мВ (это может занять несколько минут). После этого быстро переключите полярность подключения источника питания, когда напряжение станет равным нулю, и в этот момент запустите секундомер. После чего проводите временные измерения. Рекомендуем запоминать времена, когда напряжения достигают 100 мВ, а затем через каждые 50 мВ – таким образом, вам удастся измерить времена зарядки до напряжения 550 мВ. Понятно, что на знак напряжения обращать внимания не стоит, т.к. обкладки конденсатора одинаковы.

Рекомендуем также перед первым измерением 2-3 раза перезарядить конденсатор от +600 мВ до -600 мВ и обратно.

¹ Такой материал используется в аккумуляторах большой емкости для электромобилей.

1.1 Проведите измерения зависимости напряжения на конденсаторе от времени в процессе зарядки от 0 до 550 мВ. Измерения проведите при двух значениях сопротивления цепи зарядки R (через один резистор и через два припаянных резистора)

В данном эксперименте процесс зарядки приближенно описывается уравнением

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = -\frac{1}{\tau}(U - \bar{U}), \quad (1)$$

где τ - характерное время зарядки; \bar{U} - некоторое предельное значение напряжения (которое может отличаться от напряжения источника!).

Решением уравнения (1) является функция

$$U = \bar{U} \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right). \quad (2)$$

Для проверки предложенной модели процесса, описываемого выражениями (1)-(2) необходимо: а) используя уравнение (1) определить значение предельного напряжения \bar{U} ; б) посредством линеаризации функции (2) определить значение времени зарядки τ .

Для численного расчета производной рекомендуем использовать симметричную схему. Пусть вам известны значения напряжений U_k в моменты времени t_k . Тогда производная в момент времени t_k рассчитывается по формуле

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} \approx \frac{U_{k+1} - U_{k-1}}{t_{k+1} - t_{k-1}}, \quad (3)$$

1.2 Проведите описанную процедуру обработки полученных экспериментальных данных. Графически подтвердите применимость теоретической модели (1), определите численные значения параметров \bar{U} и τ для цепей с двумя различными значениями сопротивлений R . Оцените погрешности найденных значений величин τ .

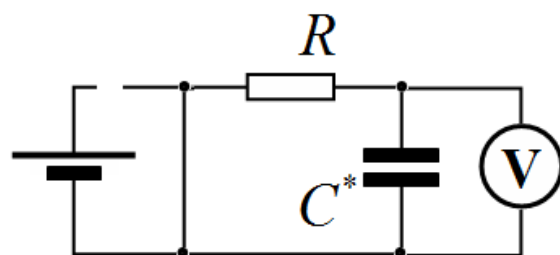
1.3 Предложите электрическую схему упрощенной модели конденсатора, объясняющую (хотя бы качественно) полученные экспериментальные данные. Определите параметры вашей модели, одним из которых является емкость конденсатора (обязательно).

Часть 2. Процесс разрядки конденсатора.

Опять рекомендуем перед первым измерением 2-3 раза перезарядить конденсатор от +600 мВ до -600 мВ и обратно.

Зарядите конденсатор до напряжения 600 мВ и быстро отключите источник питания. Поставив конденсатор на разрядку через резистор. При этом напряжение на конденсаторе резко упадет – измерения проводите после этого этапа.

Не закорачивайте источник – вы его быстро «посадите», а новый не получите!



2.1 Измерьте зависимость напряжения на конденсаторе от времени в процессе разрядки.
 2.2 Проверьте, является ли процесс разрядки экспоненциальным.
 2.3 Предложите простую схему, качественно объясняющую полученную зависимость. Оцените параметры этой схемы, расчет их погрешностей не требуется.

В данной части измерения проведите только при одном резисторе в цепи.

Часть 3. Зарядка после разрядки.

В процессе разрядки, исследованном в части 2, на короткое время закоротите обкладки конденсатора, так, чтобы напряжение на нем упало до нуля, после чего уберите замыкание обкладок и наблюдайте зависимость напряжения, показываемого мультиметром от времени.

- 3.1 Точных измерений проводить не надо! Постройте схематический график зависимости напряжения от времени, укажите только значения параметров этой зависимости в некоторых характерных точках
- 3.2 Качественно объясните полученную зависимость. Расчет параметров не требуется.

Задание 2. Обратный маятник

Ускорение свободного падения считать равным $g = 9,8 \frac{м}{с}$.

Приборы и оборудование: обратный маятник, штатив, линейка, секундомер.

Оборотный маятник (маятник Бесселя) представляет собой тонкий стержень, на котором закреплены две оси O_1 и O_2 и два подвижных груза (металлические шайбы), которые можно перемещать по стержню. Маятник можно подвешивать в лапке штатива, так чтобы он свободно колебался на оси повеса в прямом (1) и перевернутом (2) положениях.

Оси должны быть расположены симметрично относительно центра стержня, расстояние между ними должно быть $b = 16 \text{ см}$. Положения грузов задаются координатами x_1, x_2 , которые отсчитываются от центра стержня.

Если пренебречь массами стержня и осей, а грузы считать материальными точками, то периоды колебаний маятника в прямом и перевернутом положении рассчитываются по формулам (их вывод не требуется)

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{1 \left(\left(\frac{b}{2} - x_1 \right)^2 + \left(\frac{b}{2} - x_2 \right)^2 \right)}{g \left(\frac{b}{2} - x_1 \right) + \left(\frac{b}{2} - x_2 \right)}} : \quad T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{1 \left(\left(\frac{b}{2} + x_1 \right)^2 + \left(\frac{b}{2} + x_2 \right)^2 \right)}{g \left(\frac{b}{2} + x_1 \right) + \left(\frac{b}{2} + x_2 \right)}} : \quad (1)$$

Приведенной длиной физического маятника l называется длина математического маятника, имеющего такой же период колебаний.

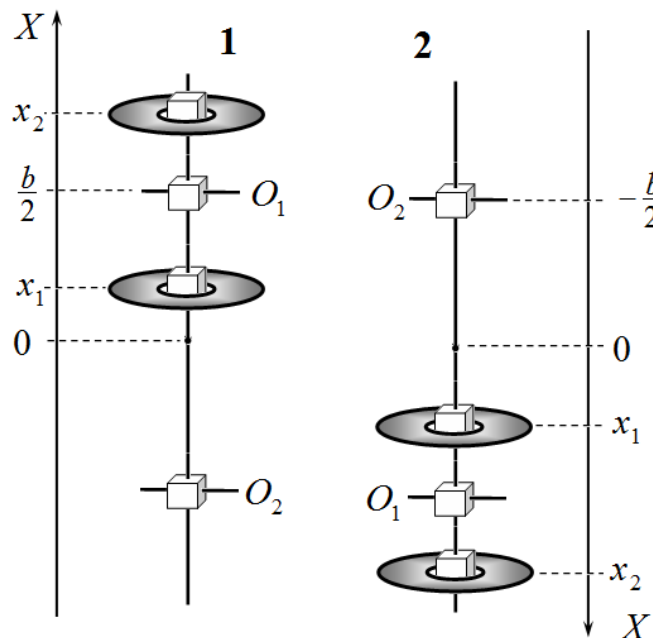
Часть 1. Теоретическая.

1.1 Получите уравнение для множества точек (x_1, x_2) , для которых приведена длина маятника в прямом положении постоянна и равна l_1 . На диаграмме (x_1, x_2) постройте это множество точек.

1.2 Получите уравнение для множества точек (x_1, x_2) , для которых приведена длина маятника в перевернутом положении постоянна и равна l_2 . На той же диаграмме (x_1, x_2) постройте это множество точек.

1.3 Постройте на диаграмме множество точек (x_1, x_2) , для которых приведенные длины маятника в прямом и перевернутом положениях постоянны одинаковы и равны l_0 . Укажите чему равна приведенная длина l_0 в этом случае.

Построения данной части выполняйте в тетради и схематически.



Часть 2. Экспериментальная.

2.1 Установите первый груз на середине стержня ($x_1 = 0$). Измерьте зависимости периодов колебаний маятника в прямом $T_1(x_2)$ и перевернутом положениях $T_2(x_2)$ в зависимости от координаты второго груза $\left(x_2 > \frac{b}{2}\right)$. Постройте графики полученных зависимостей.

2.2 Используя полученные данные, определите значение координаты второго груза x_2^* , при которой периода колебаний в прямом и перевернутом положении одинаковы. Определите период колебаний маятника T_0 в этом случае.

2.3 Рассчитайте значение приведенной длины маятника l_0 , когда периоды колебаний маятника в прямом и перевернутом положениях совпадают. Оцените погрешность найденного значения.

Часть 3. Сравнение.

3.1 Изменяя положение второго груза x_2 , экспериментально определите значения координаты первого груза x_1 при которых период колебаний маятника в прямом положении равен T_0 (найденному в п.2.2). При найденных значениях (x_1, x_2) измерьте значения периода колебаний маятника в перевернутом положении.

3.2 Постройте диаграмму найденных экспериментально точек (x_1, x_2) . Нанесите на нее рассчитанную в п. 1.3 теоретическую диаграмму.

3.3 Укажите возможные причины наблюдаемых различий.