

Описание работы с программой Elliptik.

1. Введение
2. Интерфейс программы
3. Корректировка положения оптопары
4. Предварительные измерения
5. Проведение измерений
6. Описание системы оптоэлектронного датчика
7. Краткая инструкция использования программы

1. Введение

Программа ELLIPTIK предназначена для проведения измерений периода и угловой скорости маятника в лабораторной работе по изучению нелинейных колебаний. Основная цель в этой лабораторной работе заключается в получении экспериментальной зависимости периода от амплитуды колебаний маятника. Для этого необходимо проводить измерения периода колебаний маятника при фиксированной амплитуде качаний. Из-за неизбежного действия сил трения амплитуда качаний постепенно снижается, поэтому условие фиксированной амплитуды можно выполнить лишь приближённо. При проведении измерений вручную, обычно измеряют время нескольких колебаний, но каждое из колебаний имеет свою амплитуду. Следовательно, увеличивать количество колебаний можно только в ограниченных пределах. Наилучший способ – измерять одно отдельное колебание. Для этого нужно увеличить период колебаний – так чтобы вручную можно было бы с приемлемой точностью фиксировать период отдельного колебания. Но при этом энергия механических колебаний может оказаться достаточно малой, так что заметно возрастёт роль сил трения. Помимо измерений периода колебаний также необходимо фиксировать ещё и амплитуду отклонения маятника. Точность таких измерений на глаз невысока.

Автоматизация измерений позволяет повысить точность измерений и увеличить количество измерений. При этом предлагаемая в работе методика измерений вводит в работу дополнительные пункты, которые позволяют сформировать более полное представление о процессе колебаний. Некоторым усложнением, связанным с автоматическим измерением является существенное увеличение количества регистрируемых данных, так что для записи данных нужно использовать электронные носители информации.

Для измерений используется оптоэлектронная пара на основе полупроводникового лазера и фотодиода. В процесс качаний маятника его нижняя спица пересекает лазерный луч, освещающий фотодиод. Изменения уровня освещённости фотодиода с помощью электронной схемы преобразуются в последовательность электрических импульсов, поступающих на параллельный порт компьютера. Программа Elliptik обрабатывает поступающие сигналы и выдаёт результаты на экран.

Непосредственно измеряемыми величинами являются значения времени в моменты блокирования и открытия лазерного луча спицей маятника. Из этих данных определяется период колебаний и угловая скорость маятника. На основе измерений угловой скорости в программе вычисляется амплитуда колебаний, что позволяет получить зависимость периода от амплитуды колебаний маятника

2. Интерфейс программы.

Интерфейс программы представлен в текстовом режиме в виде упрощённого диалога. Программа предлагает краткий список допустимых на текущий момент действий, из которых можно выбрать один из пунктов. Все действия перенумерованы, выбор осуществляется нажатием на клавишу с соответствующей цифрой. (Рис. 1)

Номер текущего опыта : 1

Выберите требуемое действие из списка :

- 0 – Краткое описание работы с программой
- 1 – Начать новый опыт
- 2 – Корректировка позиции оптопары
- 3 – Проведение предварительных измерений
- 4 – Измерение зависимости периода колебаний от амплитуды
- 5 – Показать графики измерений для текущего опыта
- 7 – Показать таблицы численных значений измерений
- 8 – Сменить номер текущего опыта
- S – Записать данные текущего опыта в файл
- L – Загрузить данные из файла

– Рис. 1 Текстовое меню программы.

Пункты основного меню

0 – Краткое описание работы с программой – Вывести на экран текст данного описания программы, которое вы сейчас читаете. Перемещение по тексту описания производится с помощью клавиш со стрелками ‘вверх’ и ‘вниз’.

1 – Начать новый опыт - Провести инициализацию нового опыта. Один опыт может вмещать в себя несколько серий измерений относящихся к одной и той - же конфигурации маятника (определяется положениями грузов на его спицах). При изменении положения грузов на маятнике нужно инициализировать новый опыт (см. ниже описание метода проведения измерений) Максимальное количество опытов – 29.

2 – Корректировка позиции оптопары – Вход в динамический режим графического отображения полупериодов колебаний маятника. Предварительно необходимо привести

маятник в движение с небольшой амплитудой. В этом режиме на экране отображаются обновляемые графики, показывающие текущее значение полупериода колебания и разность полупериодов двух последовательных качаний маятника. Правильное положение оптопары соответствует случаю, когда значение полупериодов двух последовательных колебаний минимально отличаются друг от друга.

3 – Проведение предварительных измерений – Переход в режим определения периода линейных колебаний и безразмерного углового размера спицы маятника перекрывающей луч оптопары при качании маятника. Подробности – в описании метода проведения измерений.

4 – Измерение зависимости периода колебаний от амплитуды – Раздел программы обеспечивающий проведение основных измерений работы. Для проведения требуется указать количество отсчётов, которое будет измерено. Каждый отчёт соответствует проходу спицы маятника через луч оптоэлектронного датчика.

5 – Показать графики измерений для текущего опыта – Отображает на экран графики экспериментальной и теоретической зависимостей периода колебаний от амплитуды. Также выводится график разности экспериментального и теоретического значений периода в зависимости от амплитуды колебаний и график зависимости безразмерного параметра вязкого трения от средней за полупериод угловой скорости маятника. Подробнее – в описании методов обработки измеренных данных.

7 – Показать таблицы численных значений измерений – Выводит данные предварительных измерений и таблицы первичных и обработанных данных. Первичные данные – непосредственно измеренные промежутки времени пересечения спицей маятника луча оптопары. Обработанные данные – амплитуда и период колебаний, а также оценочно определённый параметр вязкого трения.

8 – Сменить номер текущего опыта – Позволяет установить в качестве текущего какой-либо ранее проведённый опыт. Эта опция может применяться, например, для перехода к данным другого опыта с целью просмотра результатов этого опыта или повторного измерения.

S – Записать данные текущего опыта – После проведения очередного измерения программа автоматически сохраняет необработанные данные в текстовый файл с данными в виде идентичном выводу данных на экран в пункте 7. Тем не менее, можно осуществить запись в файл вручную, например, если необходимо записать файл на 'флэшку'. Для этого при включении компьютера в USB разъём должна быть вставлена 'флэшка', чтобы система DOS смогла её распознать. В данном пункте программа предлагает задать имя файла, которое нужно указать, например, в виде: D:\filename.txt , где filename - имя файла, в

который будут записаны данные. При этом файл filename.txt будет располагаться в корневом каталоге 'флэшки'.

L – Загрузить данные из файла – В этом режиме на экран выводится список *.txt файлов записанных за время проведения текущего занятия. Для загрузки нужно ввести имя нужного файла. Эта возможность позволяет восстановить данные проведённых измерений, если компьютер 'завис' в ходе работы, а также полезна для записи данных ранее проведённых опытов на 'флэшку'.

Режим отображения графиков.

В режиме отображения графиков можно изменять область графика, отображаемую на экран. Для этого служат клавиши со стрелками 'вверх' (▲), 'вниз' (▼) – для перемещения графика по вертикали и со стрелками 'вправо' (►), 'влево' (◄) – для перемещения графика по горизонтали. Для изменения масштаба графика также используются клавиши со стрелками, но вместе с клавишей 'Ctrl':

Ctrl + ► - увеличить масштаб по оси 'x'

Ctrl + ◄ - уменьшить масштаб по оси 'x'

Ctrl + ▲ - увеличить масштаб по оси 'y'

Ctrl + ▼ - уменьшить масштаб по оси 'y'

Для изменения масштаба с сохранением пропорций используются клавиши PgUp и PgDn.

3. Корректировка положения оптопары

Для получения корректных данных и результатов их последующей обработки необходимо выполнить важное условие правильного положения луча оптопары относительно маятника. Вся методика обработки данных предполагает, что маятник проходит положение равновесия при пересечении луча, так что экспериментально определяемая угловая скорость практически соответствует амплитуде скорости. Чтобы обеспечить это условие для заданного положения грузов на спицах маятника нужно подобрать соответствующее положение оптопары относительно маятника. Для этой цели система оптоэлектронного датчика размещена на подвижной платформе, которую можно перемещать вдоль плоскости колебаний маятника вращая микрометрический винт.

Раздел программы 2 - 'Корректировка позиции оптопары' позволяет оценивать корректность положения оптопары в режиме 'реального времени'. В этом режиме на экране отображаются графики значений полупериода колебаний маятника в одну и в другую сторону от луча оптопары в зависимости от номера измерения. Номер последнего на текущий момент измерения принимается равным 0, предыдущего 1 и так далее. Графики обновляются каждый раз, как только спица маятника очередной раз пересечёт

луч – добавляется очередное значение полупериода. Режим обновления графиков подобен режиму самописца – при обновлении графики на экране смещаются вправо, а новое значение появляется слева. Правильное положение оптопары достигается в случае, когда полупериод вправо и полупериод влево почти одинаковы (идеальное совпадение возможно только в случае, когда нет трения). При относительно больших амплитудах качания, например, более 15 градусов, трение приводит к тому, что каждое последующее качание маятника имеет амплитуду меньшую, чем предыдущее, а за счёт нелинейности это приводит к заметному различию в значениях полупериода. Тем не менее, в таком режиме можно попытаться правильно позиционировать оптопару – для этого нужно, чтобы значения полупериодов менялись как можно более монотонно. Оценку монотонности помогает провести график разности полупериодов двух качаний идущих последовательно друг за другом, также отображаемый на экране и обновляемый синхронно с колебаниями маятника. При монотонном изменении значений полупериода влево и вправо график разности полупериодов имеет минимальные осцилляции. Причём, это справедливо не только при больших амплитудах колебаний, но и при малых, когда эффекты нелинейности малы. Однако, при очень малых амплитудах качания маятника, энергия колебаний мала и на движение маятника заметное влияние могут оказывать различные сторонние факторы, например, такие как меняющиеся потоки воздуха около маятника. По этим причинам корректировку положения оптопары рекомендуется проводить при достаточно больших амплитудах качания маятника – около 20 градусов и отслеживать монотонность изменения полупериодов по минимальности осцилляций на графике разности полупериодов. При любом изменении положения грузов на маятнике нужно проводить корректировку положения оптопары, поскольку изменение грузов приводит к изменению положения центра масс маятника относительно спиц.

4. Предварительные измерения.

В течение процесса измерений маятник совершает определённое количество (обычно - несколько сотен) качаний пересекая луч оптопары. Непосредственно, система проводит измерения моментов времени, которые соответствуют открытию или блокированию луча оптопары. Далее из массива полученных данных вычисляются значения периода и амплитуды колебаний. Для проведения этих вычислений необходима дополнительная информация о параметрах маятника, а именно: угловой размер ‘dfi’ спицы маятника, перекрывающей луч при качании маятника. В лабораторной установке угловой размер спицы на уровне луча оптопары равен ~ 1.41091 градуса. Зная угловой размер спицы маятника и время, в течение которого спица затеняла луч, можно определить угловую скорость маятника, которая при правильном расположении луча оптопары относительно маятника есть практически амплитуда скорости. (Критерий ‘правильности’ описан в пункте про корректировку положения оптопары.) Используя закон сохранения энергии, и учитывая малую поправку на трение, вычисляется амплитуда

угла поворота маятника (См. теоретическое описание). Таким образом, амплитуда угла поворота маятника является косвенно определяемой величиной. Как показано в описании методов обработки, удобнее определять не саму угловую скорость маятника, а угловую скорость, нормированную на угловую частоту линейных колебаний маятника. Для этого удобно определить эффективный угловой размер $\Delta\varphi_n$ спицы, такой, что при измерениях нормированная угловая скорость получается из отношения $\Delta\varphi_n$ к времени прохода спицы через луч. Как показано в теоретическом описании к работе, величину $\Delta\varphi_n$ удобно определять из опыта с качанием маятника с амплитудой в 180 градусов. Для этого нужно привести маятник в движение из начального положения в состоянии неустойчивого равновесия (угол поворота маятника – 180 градусов), с начальной скоростью равной нулю и измерить угловую скорость маятника в момент прохождения положения устойчивого равновесия (угол поворота - 0 градусов). В реальных условиях, из-за моментов сил трения амплитуда качаний маятника уменьшается, поэтому только при первом прохождении спицы через луч оптопары угловая скорость наиболее близка к значению, получающемуся из закона сохранения энергии. Тем не менее, при относительно небольшом влиянии трения его можно учесть. А поскольку само трение проявляется в том, что амплитуда угловой скорости снижается, то измерив эту угловую скорость для нескольких последовательных качаний, можно оценить количественную характеристику момента силы трения и внести поправку на угловую скорость для максимальной амплитуды в 180 градусов. Определив величину $\Delta\varphi_n$ и зная сам угловой размер спицы маятника можно определить период линейных колебаний маятника или угловую частоту линейных колебаний. В дальнейшем этот период можно сравнить с периодом, который непосредственно измеряется при малых колебаниях маятника.

Раздел программы 3 – ‘Проведение предварительных измерений’ позволяет определить эффективный угловой размер и период линейных колебаний маятника. Проведение предварительных измерений нужно проводить после того как проведена корректировка положения оптопары и перед проведением основных измерений. В этом разделе предлагается следующая схема проведения опыта. После установки программы в режим готовности проведения измерений нужно привести маятник в движение из состояния покоя с начальной амплитудой равной 180 градусов. Как только маятник начнёт двигаться программе необходимо дать команду старта измерений. Команда старта измерений должна быть дана до первого прохода маятником положения устойчивого равновесия, так чтобы система успела зафиксировать максимальную амплитуду угловой скорости. Далее программа проведёт измерения 5-ти прохождений маятника через положение равновесия, после чего измерения окончатся и программа выдаст на экран результаты предварительной обработки. Эти результаты включают в себя значения эффективного углового размера, периода линейных колебаний, и безразмерного параметра сопротивления который является коэффициентом вязкого трения, делённым на угловую частоту линейных колебаний. Этот параметр вычисляется на основе информации о том, как снижается амплитуда угловой скорости маятника в течении измеренных 5

качаний. Параметр сопротивления даёт поправку на амплитуду угловую скорости. Подробнее – в теоретическом описании к работе.

5. Проведение измерений

Основная цель проводимых измерений – определить значения периода нелинейных колебаний маятника и соответствующую этим значениям амплитуду качаний. Оптико-электронная система, подключенная к компьютеру, позволяет повысить точность и количество проводимых измерений. Управление оптоэлектронной системой осуществляет программа ELLIPTIK. Программа имеет два раздела связанных с измерениями и один раздел для корректировки положения оптопары. В каждом разделе программы предполагается определённая амплитуда качаний маятника, а также способ запуска маятника и проведения измерений. Подробное описание каждого из разделов даны в отдельных описаниях, а здесь описана общая схема проведения измерений.

1. Закрепление грузов на маятнике. Перед проведением очередного цикла измерений нужно закрепить грузы на спицах маятника в определённом положении. Из-за неточности изготовления маятника положение спиц немного отличается друг от друга, поэтому одна спица условно называется нижней, а другая – верхней. Нижняя спица отмечена синим цветом, а верхняя – красным. Положения грузов на маятнике следует выбирать таким образом, чтобы нижняя спица в положении равновесия оказывалась внизу. Закрепив грузы на спицах маятника, измерьте и запишите расстояния от них до оси качания. В программе нужно выбрать пункт ‘Новый опыт’ и ввести данные о положении грузов.

2. Проведение корректировки положения оптопары. Поскольку при смещении грузов центр масс смещается, причем не только вдоль спиц, но и в направлениях перпендикулярных спицам, то для каждой новой конфигурации маятника необходимо проводить корректировку положения оптопары. Подробности проведения корректировки даны в отдельном описании.

3. После проведения корректировки нужно выполнить ряд предварительных измерений. В отдельном описании даны детали этого процесса.

4. Завершив процедуру предварительных измерений можно приступить к основным измерениям работы. Переход в соответствующий режим программы осуществляется по нажатию на клавишу ‘4’. Здесь перед началом измерений программа запрашивает количество отсчётов, которые будут измерены. Один отсчёт означает один проход маятника через положение равновесия. На основании данных предварительных измерений программа автоматически вычисляет амплитуду качаний маятника и вместе со значением текущего измеренного периода отображает на экране в текстовом виде. В силу трения каждое последующее качание имеет амплитуду меньшую, чем предыдущее. Это

позволяет 'прописать' зависимость периода от амплитуды автоматически. Тем не менее, в области малых амплитуд затухание колебаний может проходить очень медленно, поэтому удобнее проводить несколько серий измерений с амплитудой качаний устанавливаемой вручную. Для измерения очередной серии нужно не объявляя новый опыт повторно перейти в пункт 4 из главного меню программы. При этом измерения всех таких серий объединяются в одну составную серию. Рекомендуется измерения первой серии проводить с амплитуды около 180 градусов, - и в соответствующей серии объявить для измерений 100 или 200 отсчётов. Обычно, в течение первых 100 колебаний амплитуда качаний снижается от 180 градусов до ~ 90 градусов. Можно провести несколько таких серий. В последующих сериях можно устанавливать 20-30 отсчётов и запускать маятник из состояния покоя с приблизительно определяемой по шкале амплитудой меньшей 90 градусов. Более точное значение амплитуды система определит по угловой скорости.

Отдельное внимание стоит уделить поведению маятника при малых амплитудах. Для этого можно провести короткие серии измерений с амплитудами качаний от 2 до 7 градусов.

После проведения хотя бы одной серии измерений из пункта 4 можно посмотреть графики зависимостей периода от амплитуды. Для этого нужно перейти из главного меню по клавише '5' в режим просмотра графиков. Здесь отображаются графики экспериментальной и теоретической зависимостей периода от амплитуды качаний. (Рис.2) Также приводятся графики разности экспериментального и теоретического значений и графики параметра затухания.

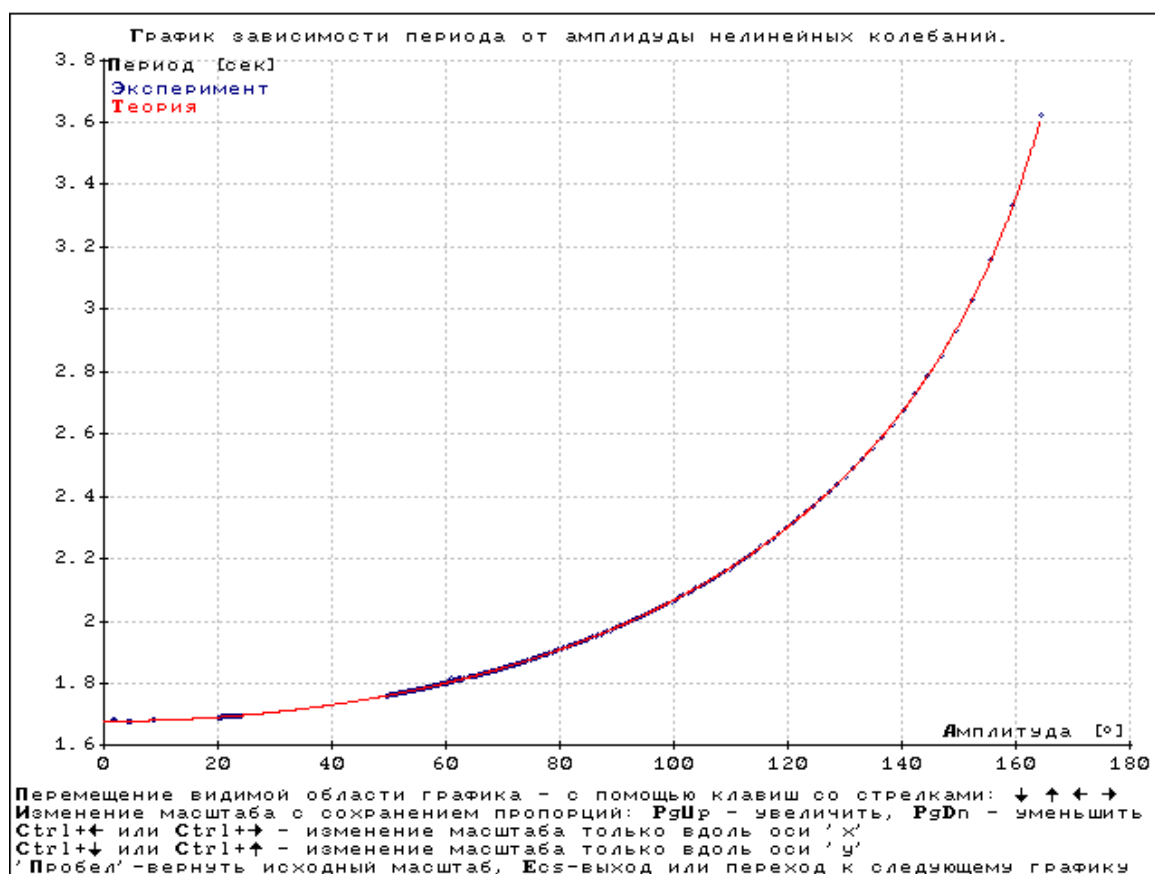


Рис. 2 График экспериментальной зависимости периода от амплитуды, полученной на установке.

Описанные четыре пункта составляют основную последовательность действий для проведения одного опыта соответствующего заданной конфигурации маятника. При изменении положения грузов на маятнике, в программе нужно объявить новый опыт и провести аналогичные измерения. Например, последовательно изменяя положение нижнего груза можно изучить, как будет изменяться не только период линейных колебаний, но и как будет изменяться параметр вязкого трения. Полезно убедиться, что характер нелинейности при этом не изменяется.

6. Описание системы оптоэлектронного датчика

Оптоэлектронный датчик представляет собой пару лазер-приёмник, которые с помощью электронной схемы подключены к параллельному порту компьютера. В системе применён маломощный полупроводниковый лазер видимого диапазона (длина волны 660 нм) луч которого падает на фотодиод. При качании маятника его спицы могут перекрывать луч. Фотодиод подключен к электронной схеме, на выходе которой установлен триггер Шмидта, который формирует два выходных состояния: высокое напряжение (5 V) и низкое напряжение (0 V). Высокий уровень 5 V соответствует перекрытому лучу лазера, низкий 0 V - открытому лучу, который падает на фотодиод. Выход схемы подключен к параллельному порту компьютера, на пин 0x0A. (10-й по счёту контакт в распайке порта) Таким образом, считывая состояние параллельного порта можно следить за уровнем освещённости фотодиода, которая зависит, в конечном итоге, от положения спиц маятника. Программа при считывании состояния параллельного порта фиксирует моменты времени, когда состояние порта меняется. Изменение состояния порта соответствует блокированию или открытию луча.

Для фиксирования времени применён встроенный в компьютеры x86 архитектуры системный таймер. Этот таймер позволяет вести отсчёты времени с разрешением около 850 нс. (точнее 1193180 тактов за одну секунду). В программе используется канал №0 этого таймера, который специально программируется перед измерениями. Время обработки компьютером запроса к таймеру может занимать около 5-10 микросекунд в зависимости от тактовой частоты шины. Время запроса для данного компьютера не меняется от запроса к запросу, поэтому это время фактически означает задержку в обработке сигнала. Время запроса накладывает ограничения на максимальную частоту смены состояния параллельного порта.

Для повышения точности определения момента времени соответствующему положению спицы при блокировании или открытии оптического тракта оптопары луч лазера сфокусирован так, что в плоскости качаний он имеет минимальные поперечные размеры – не более чем 300 мкм в диаметре. Это снижает время, в течение которого

изменяется освещённость фотодиода и, следовательно, снижается неопределённость фиксирования соответствующего момента времени.

Помимо слежения за уровнем освещённости фотодиода система оптоэлектронного датчика также позволяет включать и выключать лазер. Управляющий сигнал от компьютера к схеме передаётся через пин 0x01 параллельного порта. Это оказывается полезным для целей сбережения ресурса полупроводникового лазера и даёт управляющей программе дополнительные возможности для контроля состояния оптического тракта. Для идентификации уровней открытого и закрытого лучей, перед началом очередных измерений программа проводит тест оптического тракта, с целью выявить состояние открытого луча. Для этого лазер включается и выключается каждые 5 миллисекунд. Синхронно с этими переключениями считывается состояние параллельного порта. При обнаружении синхронных совпадений переключений параллельного порта и выключения и включения лазера, считается, что оптический тракт открыт. Далее запоминаются состояния параллельного порта при включённом и выключенном лазере, которые используются при проведении измерений и позволяют идентифицировать открытие или блокирование луча спицами маятника.

7. Краткая инструкция использования программы

1. Включить компьютер и дождаться, пока появиться заставка.
2. Нажать клавишу 'пробел' – появиться текст описании программы.
3. Нажать Esc для выхода из описания программы.
4. Закрепить грузы на спицах маятника и нажать клавишу '1' - инициализация нового опыта.
5. Нажать клавишу '2' , провести коррекцию положения оптопары. По окончанию проведения коррекции нажать Esc – выход в основное меню.
6. Нажать клавишу '3', провести серию предварительных измерений.
7. Нажать клавишу '4', указать требуемое количество отсчётов, запустить измерения.
8. Привести маятник в движение.
9. Дождаться пока система не закончит процесс измерений, и программа не вернётся в основное меню.
10. Нажать клавишу '5'. На экране появится зависимость периода колебаний от амплитуды. Программа перейдёт в режим просмотра графиков. Esc – выход в основное меню.
11. Перейти к пункту 7 для проведения дополнительных серий измерений без измерения параметров маятника, но в другом диапазоне амплитуд.
12. Нажать клавишу 'S', указать имя файла для записи данных в файл.
13. Для проведения измерений при другой конфигурации маятника перейти к пункту '4'
14. По окончанию работы выключить компьютер.