

И. Е. Вострокнутов, Г. Г. Никифоров, Д. С. Розанов, А. И. Пальцев,
Е. Ю. Азаренко, Л. П. Мошейко Р. А. Видинеева, Н. В. Андреева,
Г. Ю. Балакирева, О. А. Семёнова

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ФИЗИКЕ
НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО
ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА
*CLab – fx-9860GII***

Выпуск 3

МЕХАНИКА

Под ред. И. Е. Вострокнутова, Г. Г. Никифорова

Москва
2015

УДК 53.(076.5)

ББК 22.3я721

Вострокнутов И. Е., Никифоров Г. Г., Розанов Д.С. и др.

- Л12 Лабораторный практикум по физике на основе цифрового измерительного комплекса *CLab – fx-9860GII*. Выпуск 3. Механика / И. Е. Вострокнутов, Г. Г. Никифоров, Д. С. Розанов, А. И. Пальцев, Е. Ю. Азаренко, Л. П. Мошейко, Р. А. Видинеева, Н. В. Андреева, Г. Ю. Балакирева, О. А. Семёнова. Под ред. И. Е. Вострокнутова, Г. Г. Никифорова. –Троицк: Тривант, 2012. – 96 с.

ISBN

В третьем выпуске представлены подробные руководства по выполнению лабораторных работ практикума по физике, поставленных на базе цифрового измерительного комплекса *CLab – fx-9860GII*. В этот выпуск включены работы по механике.

Методические материалы одновременно выполняют две функции: являются методическим пособием для учителя и руководством для ученика по выполнению лабораторных работ. Выполнение работ полезно для подготовки учащихся к ЕГЭ. Работы выполняются с герконовыми датчиками положения, направляющей и кареткой.

Методическое пособие может быть использовано для работы с графическими калькуляторами CASIO серий *fx-CG20*, *fx-9860G*, *fx-9750GII*, *fx-7400GII*, ALGEBRA FX-2.0 PLUS в составе цифрового измерительного комплекса.

УДК 53.(076.5)

ББК 22.3я721

ISBN 978-5-89513-274-6

© CASIO, 2015

Введение

В данном выпуске рассмотрено использование цифрового измерительного комплекса *CLab – fx-9860GII* для проведения лабораторных работ по разделу «Механика».

Приведенные материалы показывают, что комплекс *CLab – fx-9860GII* не только на равных конкурирует с измерительными комплексами на базе компьютера, но и имеет целый ряд преимуществ: не требует программирования, работает без сценариев, позволяет построить любую функцию по результатам измерений, снимает проблему организации вычислений, содержит встроенный режим статистической обработки экспериментальных данных.

Этот выпуск состоит из трех разделов. В первом из них рассмотрены принципы работы измерительного комплекса с герконовыми датчиками положения. В этом разделе описаны все технологические вопросы совместной работы *CLab* и графического калькулятора, подробно разъяснены процедуры обработки данных.

Во втором разделе представлены руководства по выполнению работ по разделам: кинематика, динамика и законы сохранения. Работы приведены в соответствие с требованиями проекта стандарта второго поколения и стандарта 2004 года. Впервые цели работ представлены как метапредметные.

В третьем разделе описан интересный опыт участников научно-методического проекта «Школьный калькулятор» по использованию ультразвукового датчика *EA-2* для исследования различных видов движения. Хотя в этом разделе описаны опыты с лабораторией *EA-200* (прототипом *CLab*) и ультразвуковым датчиком *EA-2*, который больше не выпускается, но нам дорог опыт наших первых учителей, которые успешно освоили и до сих пор учат школьников на нашем оборудовании.

В большинстве инструкций приведен набор задач по соответствующим темам исследования, ориентированных на подготовку к ЕГЭ.

Методические материалы можно использовать непосредственно в качестве руководств для учащихся по выполнению исследований. При необходимости учитель может переработать их в соответствии с уровнем изучения физики в образовательном учреждении.

И. Е. Вострокнутов, д.п.н., профессор, научный руководитель образовательных программ CASIO в РФ и странах СНГ

Раздел 1

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА *CLab – fx -9860GII* В ПРАКТИКУМЕ ПО МЕХАНИКЕ

1. Использование герконовых датчиков положения для совместных измерений положения и времени.

Геркон (*ГЕРметизированный магнитоуправляемый КОНтакт*) – электромеханическое устройство, представляющее собой пару ферромагнитных контактов, запаянных в герметичную стеклянную колбу. Попадая в постоянное магнитное поле, контакты геркона замыкаются.

Герконовый датчик положения (магнитозатвор) (рис. 1) состоит из неподвижной части (непосредственно геркона на механическом креплении) и подвижной части – постоянного магнита, закрепленного на каретке. Неподвижная часть – датчик, закрепленный на скамье при помощи магнитного держателя (3). Чувствительный элемент датчика – геркон (1) – расположен в пластиковом корпусе (2). Специальный выступ на корпусе указывает положение геркона.

Каретка с магнитом скользит по скамье, приближаясь к герконовому датчику. При некотором положении каретки (рис. 2) поле, создаваемое магнитом рядом с герконом, достигает значения, при котором сила притяжения ферромагнетиков превышает упругость контактов геркона. В этот момент геркон замыкается, и электрический сигнал (напряжение) подается на *CLab*.

Для проведения всех работ по механике из второго раздела данного выпуска необходимы лишь герконовые датчики положения. Они собраны по четыре параллельно к одному разъему и образуют единый комплекс. Сигнал от системы регистрации перемещения положительный, если сработал любой из четырех датчиков. Обычно определяется время перемещения каретки от одного датчика до другого. Для измерения промежутков времени могут использоваться любые два датчика из четырех. В дальнейшем один герконовый датчик будем называть герконом, а систему из четырех герконов будем называть датчиком положения.

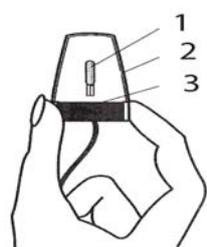


Рис. 1

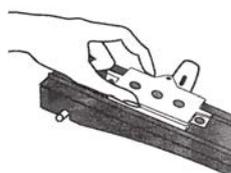


Рис. 2

Использование герконов сопровождается систематическими погрешностями. Геркон замыкается, когда центр магнита находится на расстоянии примерно 7 мм от него,

а размыкается, когда магнит отъехал от геркона на 15 мм. Этот факт учитывается при конструировании способов измерений в представленных в пособии исследованиях. Во всех работах первый геркон ставится не ближе, чем 50 мм от магнита каретки в момент начала ее движения.

2. Состав цифрового измерительного комплекса *CLab – fx-9860GII*.

Цифровой измерительный комплекс *CLab – fx-9860GII* состоит из цифрового анализатора данных *CLab*, графического калькулятора *fx-9860GII*, соединительного кабеля для обмена данными между *CLab* и *fx-9860GII* и набора датчиков. Для проведения всех работ данного раздела используется описанный выше датчик положения.

Цифровой анализатор данных *CLab* предназначен для сбора и передачи экспериментальных данных, полученных от разнообразных датчиков, на графические калькуляторы CASIO (от 1-го до 7-ми); работает под управлением совместимых графических калькуляторов CASIO, таких как *fx-9860GII* (рис. 3), *fx-CG20* (рис. 4), *fx-9750GII*, *fx-7400GII*, *fx-9860G*, ALGEBRA FX-2.0 PLUS и др.

Указанные графические калькуляторы работают в стандартных режимах графического калькулятора: вычисления, построение графиков, статистический анализ и др.

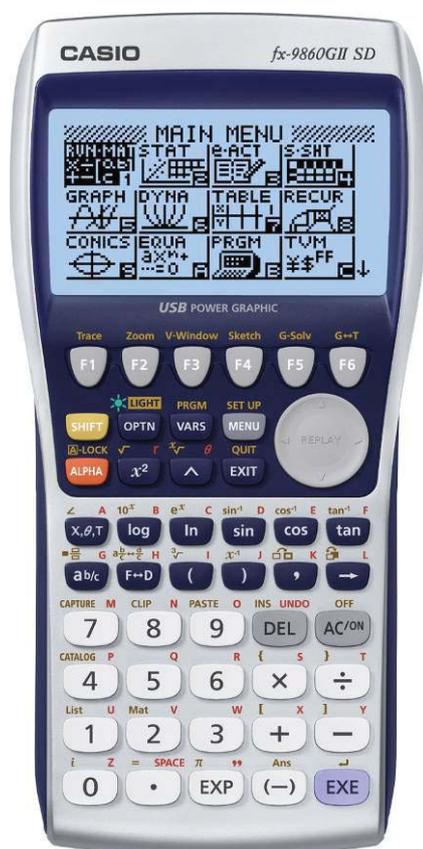


Рис. 3



Рис. 4

Вместе с тем, в составе измерительного комплекса графические калькуляторы предназначены для управления работой цифрового анализатора данных *CLab* и обработки экспериментальных данных. Любой из них выполняет следующие функции:

- настройка анализатора данных на проведение измерений (выбор датчиков, типа и длительности измерения);
- сохранение экспериментальных данных;
- вывод экспериментальных данных на дисплей в виде графика;
- вывод на дисплей 1-3 графиков одновременно;
- сканирование графиков, масштабирование, расчет регрессионных кривых и их наложение на экспериментальные графики;
- копирование экспериментальных данных в редактор статистических данных для дальнейшей статистической обработки.

Подробное описание комплекса *CLab – fx-9860GII* приведено в разделе 3 выпуска 1 «Лабораторного практикума по физике на основе цифрового измерительного комплекса *CLab – fx-9860GII*».

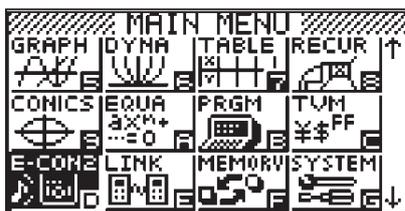
3. Настройка цифрового измерительного комплекса и подготовка к измерению.

Технология использования измерительного комплекса одинакова для всех лабораторных работ по механике.

3.1. Включение *CLab* и *fx-9860GII*.

Соединим *CLab* и *fx-9860GII* кабелем. Разъем датчика положения вставим в порт CH2 цифрового анализатора данных.

Включим калькулятор, нажав клавишу **AC/ON**. В главном меню (MAIN MENU) клавишей REPLAY переместим выделение на пиктограмму режима E-CON2 и нажмем **EXE** для входа в него.



Быстрый способ перейти к нужному режиму – нажать клавишу с цифрой или буквой, указанной в поле соответствующей пиктограммы. Для режима E-CON2 последовательным нажатием клавиш **ALPHA** и **sin** вводится буква D.

Для включения *CLab* нужно нажать кнопку на верхней части корпуса, пока расположенный рядом с ней левый индикатор не замигает зеленым цветом. Для отключения нужно нажать и немного подержать нажатой эту же кнопку пока правый индикатор не загорится красным цветом, затем отпустить.

3.2. Настройка CLab на измерение моментов времени прохождения магнита каретки мимо герконов.

В главном меню режима E-CON2

```
EA-200 Controller
F1: Setup EA-200
F2: Setup Memory
F3: Program Converter
F4: Start Sampling
F5: Graph Analysis
SET MEM PROG STRT GRPH HELP
```

нажмем **F1** (SET) для входа в меню настройки анализатора. В нижней строке экрана появятся пиктограммы двух подменю выбора параметров: WIZ или WIZARD (мастер настройки) и ADV или ADVANCE (ручная настройка):

```
EA-200 Controller
F1: Setup EA-200
F2: Setup Memory
F3: Program Converter
F4: Start Sampling
F5: Graph Analysis
WIZ ADV
```

Нажмем **F2** (ADV или ADVANCE). Откроется меню ручной настройки:

```
Advanced Setup for EXPERT
[1]: Channel
[2]: Sample
[3]: Trigger
[4]: Graph
[5]: Custom Probe
[6]: Initialize
STRT MLTI MEM PROG GRPH ABT
```

В нем нажмем **1** (Channel) для входа в подменю выбора канала подключения датчика:

```
Channel Setup
CH 1 : Temperature
CH 2 :
CH 3 :
SONIC :
Mic :
Range: -20~130°C
CASIM WRAP CSTM None
```

Канал активен, если напротив него указан датчик. При необходимости активные каналы нужно отключить: переместить выделение на строку с активным каналом и нажать **F4** (None).

Выделим строку CH2, соответствующую порту CH2 анализатора. Нажмем **F3** (CSTM или CUSTOM) для входа в подменю выбора совместимых датчиков «Учтехприбор». На экране появится список датчиков:

```

Assign Custom Probe
1: DIFF VOLTAGE 10 V
2: CURRENT 200 MILLIA
3: CURRENT 2 A
4: MAGNETIC GATE
5: PHOTOGATE
6: MAGNETIC FIELD ↓
ASGN HELP

```

Клавишей REPLAY выделим нужный датчик: в данном случае MAGNETIC GATE (датчик положения), и нажмем **[EXE]**. В строке CH2 справа от двоеточия появится надпись MAGNETIC GATE, означающая, что канал CH2 настроен на прием данных от датчика положения.

```

Channel Setup
CH 1 :
CH 2 : MAGNETIC GATE
CH 3 :
SONIC :
Mic :
Range: 0~5V
CASO WAMP COSTP None

```

Теперь все последующие настройки будут относиться к каналу CH2 анализатора *CLab*.

Нажмем **[EXIT]** для возврата в меню ручной настройки.

```

Advanced Setup for EXPERT
[1]: Channel
[2]: Sample
[3]: Trigger
[4]: Graph
[5]: Custom Probe
[6]: Initialize
STRAT MLTI MEM PRIC GRAB ABET

```

3.3. Настройка пределов измерения во времени и шага замеров.

В меню ручной настройки нажмем клавишу **[2]** (Sample) для входа в подменю настройки параметров измерений:

```

Sample Setup
Mode : Real-time
Interval : 1sec
Number : 101
        [0h01m40s]
Warm-up : Auto
R-T Fast Norm Ext4 HELP D

```

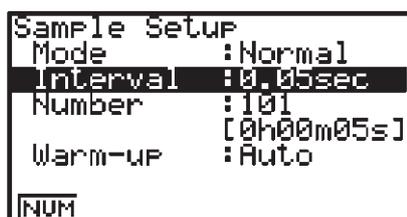
Клавишей REPLAY выделим строку Mode (режим проведения измерений). В ней задается наиболее удобный из встроенных режимов измерений. Режимы различаются диапазоном интервала между соседними замерами. Выберем режим Normal, нажав **[F3]** (Norm).

```

Sample Setup
Mode : Normal
Interval : 0.05sec
Number : 101
        [0h00m05s]
Warm-up : Auto
R-T Fast Norm Ext4 HELP D

```

Переместим выделение на строку Interval (шаг). В ней задается временной интервал между соседними замерами, то есть шаг, в пределах выбранного режима проведения измерений.



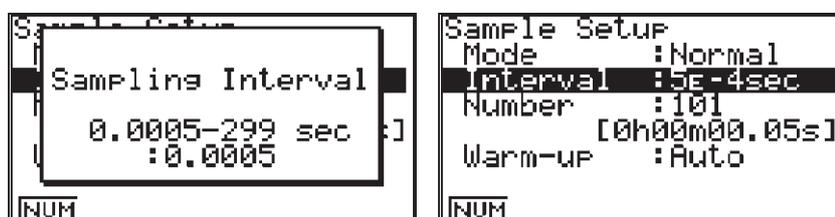
Нажав **F1** (NUM или NUMBER), откроем окно, в которое введем нужную величину шага в пределах указанного на экране интервала:



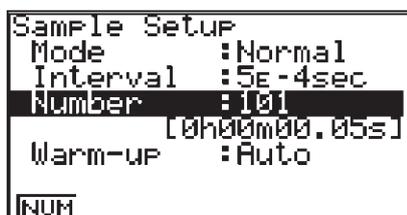
Шаг выбирается произвольно в рамках возможного интервала. От шага зависит точность проводимых измерений.

Оптимальный шаг для работ по механике, представленных в данном выпуске, равен $5 \cdot 10^{-4} \text{ сек} = 0,0005 \text{ сек}$.

Введем число 0,0005 и нажмем **EXE** для сохранения заданного значения и возврата в подменю настройки параметров опыта.



Переместим выделение в строку Number (количество замеров). В ней задается количество замеров, которые выполнит *CLab* в процессе измерения. В этой же строке в квадратных скобках указывается полная длительность измерения, рассчитываемая калькулятором по заданным шагу и количеству замеров.

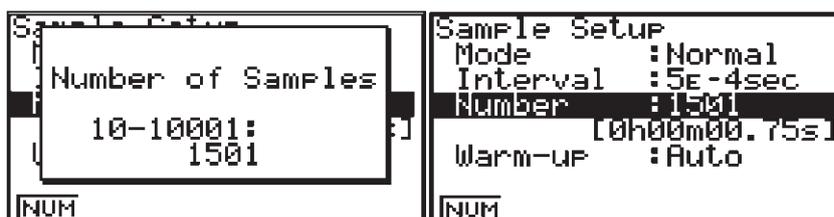


При минимальном ускорении приблизительно 1,8 м/с каретка пройдет путь 0,5 м за 0,75 с. Следовательно, при шаге 0,0005 с общее число измерений составит $0,75/0,0005 = 1500$.

Нажмем **[F1]** (NUM или NUMBER) для изменения количества замеров: откроется окно, в которое необходимо ввести нужное число в пределах указанного на экране интервала.



С учетом нулевого замера наберем число 1501 и нажмем **[EXE]** для подтверждения ввода. Теперь в квадратных скобках в строке Number полная длительность измерения составляет 0,75 с.



Нажмем **[EXIT]** для возврата в окно ручной настройки



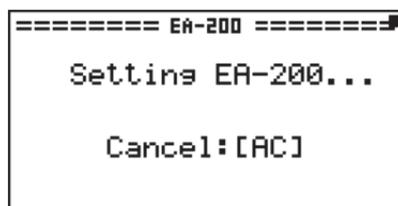
4. Проведение измерения.

4.1. Для проведения измерения нажмем **[F1]** (STRT или START). На экране появится запрос о проверке готовности комплекса к выполнению измерения, а именно:

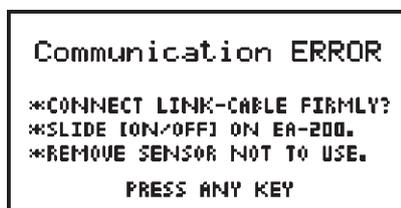
- 1) IS THE SENSOR CONNECTED? - Подключен ли датчик?
- 2) CONNECT LINK-CABLE FIRMLY? - Прочно ли закреплен кабель связи калькулятора с *CLab*?
- 3) IS SAMPLING DONE? - Заданы ли параметры измерения?



Параметры измерения были заданы в пунктах 3.2 и 3.3. Проверим подключение датчика и кабеля и нажмем **[EXE]**. Калькулятор приступит к подготовке *CLab* к проведению измерения. В это время на экране отображается информационно-диалоговое окно:

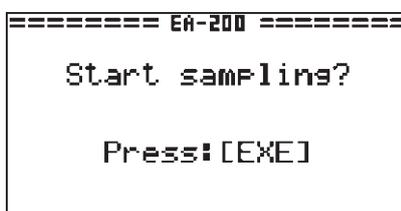


Если хотя бы одно из условий окажется невыполненным, калькулятор выдаст сообщение об ошибке - Communication ERROR:



После появления этого сообщения необходимо вернуться в меню настроек. Для этого нажмем любую клавишу калькулятора, проверим правильность подключения датчика, соединительного кабеля и соответствие настроек используемому датчику. Затем повторно нажмем **F1** (STRT или START) для проведения измерения.

Если комплекс готов к работе, появится запрос на проведение измерения: Start sampling? (начать измерения?) - и указание нажать **EXE** для проведения измерения:



Для получения данных сначала запустим комплекс на проведение измерения, а затем как можно быстрее пустим каретку, так как длительность измерения составляет всего 0,75 с.

4.2. Рассмотрим пример эксперимента, в котором четыре геркона расположены в точках 100, 180, 260 и 340 мм направляющей (рис. 5).

Информацию о расположении герконов на направляющей зафиксируем в таблице 1.

Таблица 1.

Положение герконов на направляющей, мм (Координата точки пуска 50 мм)	№ геркона			
	1	2	3	4
Расстояние от точки пуска	50	130	210	290
Расстояние от первого геркона	0	80	160	240
Положение по шкале направляющей	100	180	260	340



Рис. 5

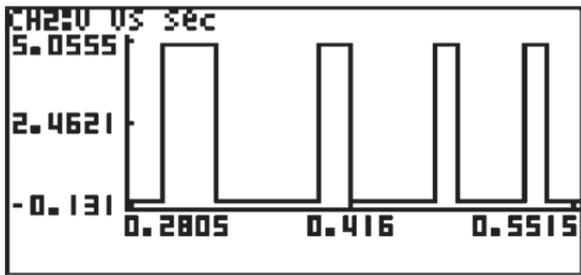


Рис. 6

В результате проведения эксперимента получим диаграмму импульсов (рис. 6). Горизонтальной координатой точек этой диаграммы является время, а вертикальной – напряжение.

Первоначально экспериментальный график на дисплее целиком не виден (рис. 7а). Чтобы вывести его весь на экран, войдем в меню изменения окна просмотра графика, нажав **[SHIFT]**, **[F3]** (V-WIN), а затем **[F2]** (FULL) (рис. 7б): на дисплее появится график за весь интервал измерения – 0,75 с (рис. 7в).

Раздвинем график на весь экран, используя функцию масштабирования. Нажмем **[SHIFT]**, **[F2]** (ZOOM); появившуюся пиктограмму лупы (рис.8а) клавишей REPLAY переместим в центр будущего масштабирования и подтвердим выбор, нажав **[EXE]**. Стрелкой **[▶]** клавиши REPLAY растянем график на весь экран. Завершим масштабирование, нажав **[EXIT]**. При необходимости сдвинем график влево/вправо клавишей REPLAY В результате на дисплее получим рис. 8б).

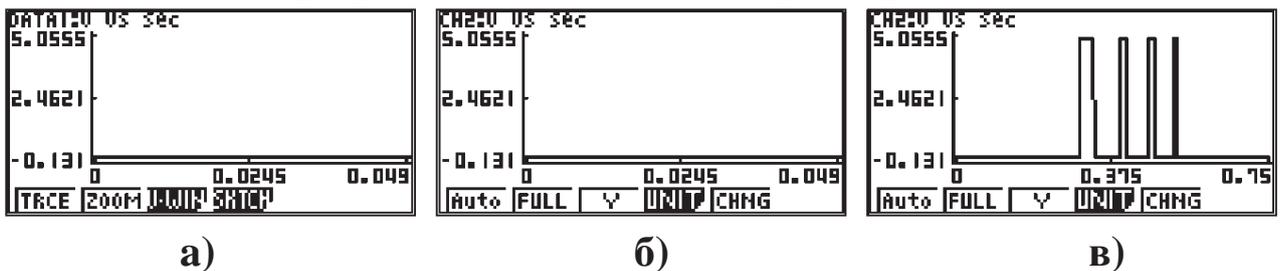


Рис. 7

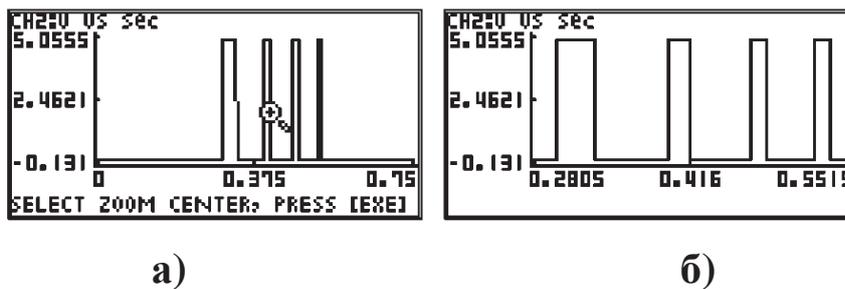
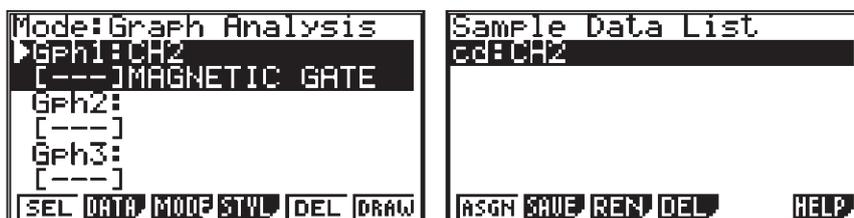


Рис. 8

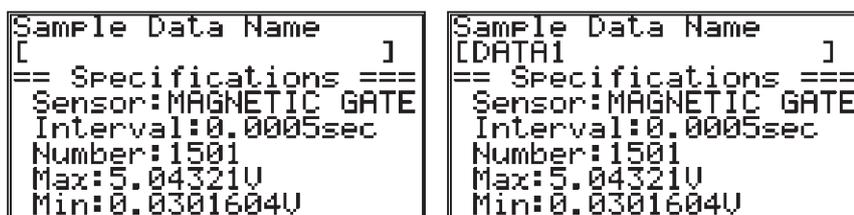
5. Сохранение результатов измерения.

В режиме E-CON2 предусмотрена возможность сохранения результатов каждого проведенного измерения, что позволяет многократно анализировать экспериментальные данные.

Для сохранения экспериментальных данных при выведенном на экран графике перейдем в меню графического анализа, нажав **[EXIT]**. (Из главного меню E-CON2 вход в меню графического анализа осуществляется нажатием **[F5]** (GRPH или GRAPH).) Нажмем **[F2]** (DATA) для входа в подменю измеренных данных. В открывшемся окне в строке cd (канал данных) указан канал, с использованием которого проводилось последнее измерение, в данном случае CH2.



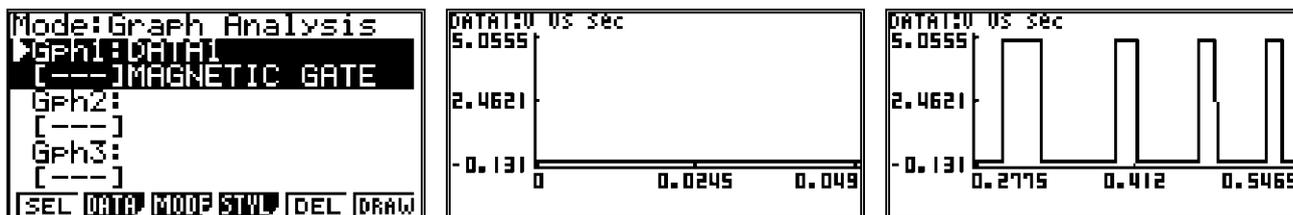
Нажмем **[F2]** (SAVE): откроется окно, в котором под заголовком Specifications (технические параметры) указаны параметры сохраняемых данных, под заголовком Sample Data Name (название измеренных данных) расположена строка ввода названия создаваемого файла. Введем название, используя буквы и цифры клавиатуры калькулятора, например «DATA1». При вводе названия первоначально включена буквенная раскладка клавиатуры (буквы помечены красным цветом). Для перехода к цифровой раскладке нужно нажать **[ALPHA]**. Для возврата к буквенной раскладке потребуется нажать **[SHIFT]**, **[ALPHA]**.



Нажмем **[EXE]**: откроется окно выбора области памяти экспериментальных данных. Введем номер области памяти, в которой будут сохранены данные, например 1, и нажмем **[EXE]**: калькулятор вернется в подменю измеренных данных. Теперь в строке 1 указано название файла сохраненных данных.



Для выбора данных «DATA1» выделим строку с названием и нажмем **[EXE]**. В открывшемся меню графического анализа появится строка DATA1. Построим график, нажав **[F6]** (DRAW).



6. Обработка результатов измерения моментов прохождения магнита каретки мимо герконов.

6.1. Какую же информацию мы возьмем за основу исследования движения каретки?

В качестве исходной информации можно фиксировать моменты замыкания герконов, то есть передние фронты каждого импульса (рис. 9а, $t = 0,3$ с), либо моменты их размыкания (рис. 9б, $t = 0,333$ с), либо середины импульсов (рис. 9в, $t = 0,3165$ с).

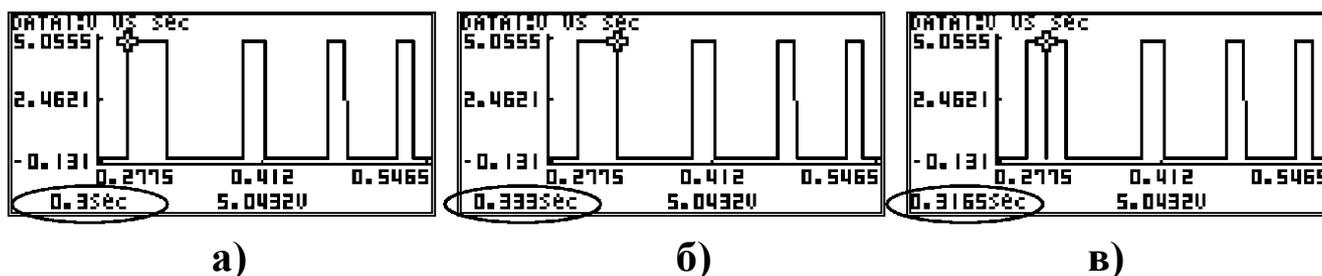
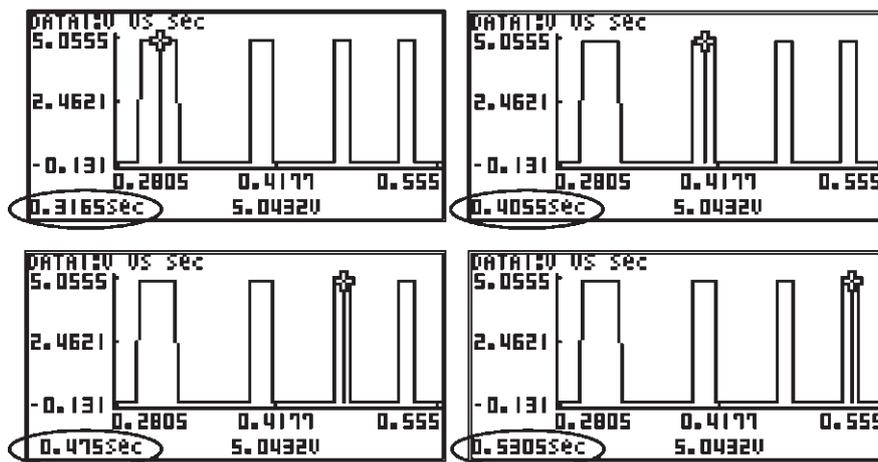


Рис. 9

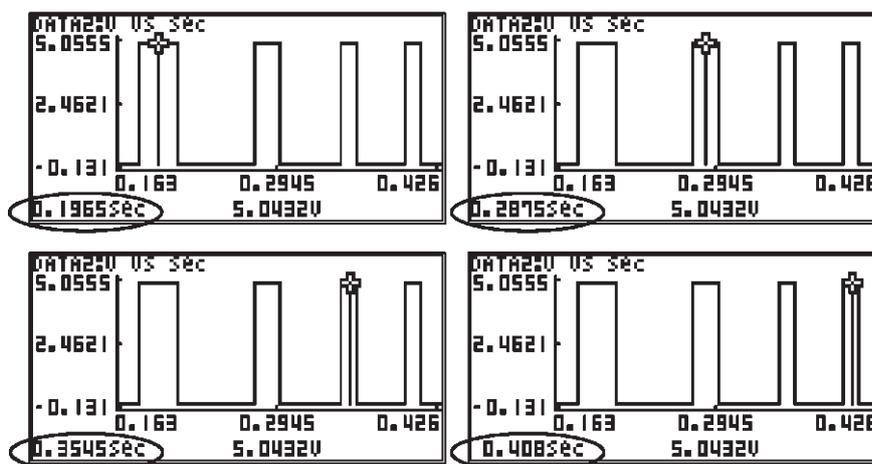
Обратим внимание: момент замыкания первого геркона фиксирует промежуток времени от момента запуска цифрового комплекса на измерение нажатием **[EXE]** до момента, когда магнит каретки замкнет геркон. Это не есть время движения каретки, так как после запуска измерительного комплекса прошел некоторый промежуток времени до того, как запущена каретка.

Целесообразно брать середины импульсов. Во-первых, это ближайшая к магниту каретки точка. Во-вторых, погрешность этого момента времени известна и равна половине ширины импульса.

Найдем нужные моменты времени на графике в режиме трассировки Trace. Нажмем **[F1]** (Trace): на графике появится курсор в виде крестика, а в нижней строке экрана отобразятся текущие координаты точки графика, в которой находится курсор. Стрелкой **[◀]** или **[▶]** клавиши REPLAY переместим курсор в середину первого максимума, занесем показание времени в таблицу 2. Последовательно перемещая курсор в середины остальных импульсов, заполним таблицу 2.



Пусть каретка второй раз. Занесем данные в таблицу 3.



Почему результаты двух пусков в неизменных условиях так сильно различаются (таблицы 2 и 3)? Дело в том, что $\tau_1 = 0,317$ сек (таблица 2) – это время до замыкания первого геркона не от момента пуска каретки, а от нажатия клавиши **EXE**. То есть неизвестно, когда в интервале $0 - 0,317$ (сек) была пущена каретка.

Из-за этого во втором опыте τ_1 оказалось совсем другим: $0,197$ сек (таблица 3). Как же получить необходимую информацию о времени движения каретки?

Момент включения первого геркона τ_1 (рис. 10) примем за ноль отсчета. Если вычесть τ_1 из всех моментов включения герконов, получим таблицы 4 и 5.

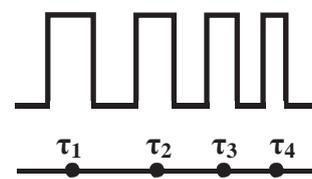


Рис. 10

Таблица 2

Пуск 1. Результат прямых измерений времени τ , сек

№ геркона			
1	2	3	4
0,317	0,406	0,475	0,531

Таблица 3

Пуск 2. Результат прямых измерений времени τ , сек

№ геркона			
1	2	3	4
0,197	0,288	0,355	0,408

Таблица 4

Пуск 1. Время движения
каретки t , сек

№ геркона			
1	2	3	4
0	0,089	0,158	0,214

Таблица 5

Пуск 2. Время движения
каретки t , сек

№ геркона			
1	2	3	4
0	0,091	0,158	0,211

Таблица 6

Время прохождения магнита каретки мимо герконов t , сек
(Координата точки пуска 50 мм)

№ пуска	№ геркона			
	1	2	3	4
1	0	0,089	0,158	0,214
2	0	0,093	0,159	0,215
3	0	0,090	0,156	0,212
4	0	0,087	0,153	0,209
5	0	0,089	0,156	0,210
Среднее	0	0,090	0,156	0,212

В таблицах 4 и 5 результаты близки, а различия между ними объясняются случайными погрешностями. Результаты пяти пусков приведены в таблице 6. Полученная информация может быть проанализирована измерительным комплексом как аналитически, так и графически.

6.2. Аналитический анализ первичной информации позволяет определить ускорение и начальную скорость каретки.

В системе координат с началом в точке установки первого геркона уравнение движения имеет вид:

$$X = \frac{at^2}{2} + v_0t, \quad (1)$$

где X – расстояние s , отсчитываемое от первого геркона (таблица 7).

Таблица 7

Кинематические характеристики движения каретки	№ геркона			
	1	2	3	4
Расстояние s от первого геркона (начало отсчета), мм	0	180 – 100 = 80	260 – 100 = 160	340 – 100 = 240
Среднее время прохождения магнита каретки мимо геркона t , сек	0	0,090	0,156	0,212

Для нахождения ускорения и начальной скорости каретки воспользуемся режимом статистической обработки данных STAT калькулятора. Он позволяет на основе специального математического аппарата (метод наименьших квадратов) отыскать коэффициенты известного исследователю уравнения функции. При заданном уравнении (виде функции) программа этого режима подбирает такие коэффициенты, которые наилучшим образом согласуются с экспериментальными данными. В данном случае, как видно из формулы (1), это уравнение

$$Y = AX^2 + BX + C.$$

В главном меню (MAIN MENU) нажмем **[2]**, что соответствует выбору режима STAT или Statistics, или переместим выделение на пиктограмму STAT и нажмем **[EXE]**. В открывшуюся таблицу в столбцы List1 и List2 введем данные таблицы 7.

MAIN MENU				
RUN-MAT	STAT	2-ACT	S-SHT	
GRAPH	DYNA	TABLE	RECUR	
CONICS	EQUA	PRGM	TVM	

	List 1	List 2	List 3	List 4
SUB	T>C	S>MM		
1	0	0		
2	0.09	80		
3	0.156	160		
4	0.212	240		

Откроем подменю расчетов, нажав **[F2]**(CALC). В окне настроек SET (**[F6]**) проверим, что в двумерных расчетах (2Var) в качестве переменной X (строка 2Var XList) используются данные столбца List1, в качестве переменной Y (строка 2Var YList) - List2, а частота повторения пар данных (строка 2Var Freq) - 1. Если в строке 2Var XList или 2Var YList указаны другие данные, переместим на нее выделение, нажмем **[F1]**(LIST), введем номер нужного столбца и нажмем **[EXE]** для подтверждения ввода. Если в строке 2Var Freq указаны другие данные, переместим на нее выделение и нажмем **[F1]** (I).

Вернемся в подменю расчетов, нажав **[EXIT]**. Откроем список регрессий REG, нажав **[F3]**.

	List 1	List 2	List 3	List 4
SUB	T>C	S>MM		
1	0	0		
2	0.09	80		
3	0.156	160		
4	0.212	240		

1Var	XList	:List1
1Var	Freq	:1
2Var	XList	:List1
2Var	YList	:List2
2Var	Freq	:1

	List 1	List 2	List 3	List 4
SUB	T>C	S>MM		
1	0	0		
2	0.09	80		
3	0.156	160		
4	0.212	240		

Выберем квадратичную регрессию (X^2 или X), нажав **[F3]**. (Если необходимо рассчитать параметры другого типа регрессии, нажмем функциональную клавишу, соответствующую требуемой зависимости.) На дисплее появится список рассчитанных параметров.

```

QuadReg
a =1963.56303
b =717.036312
c =-0.0857847
r²=0.99998879
MSe=0.35869974
y=ax²+bx+c
COPY

```

Таким образом, $A = 1963$ мм/с , $B = 717$ мм/с, $C = -0,085$ мм. То есть с экспериментальными данными лучше всего согласуется уравнение

$$Y = 1963X^2 + 717X - 0,085.$$

6.3. Для проведения графического анализа функции

$$Y = 1963X^2 + 717X - 0,085$$

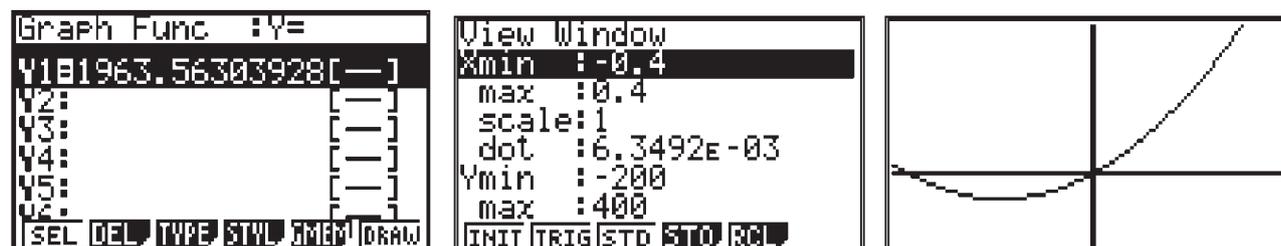
скопируем ее в режим построения графиков, нажав **[F6]** (COPY). В открывшемся списке функций клавишей REPLAY выделим нужную строку, например Y1 , и нажмем **[EXE]** для сохранения функции. Через главное меню (MAIN MENU) перейдем в режим построения графиков (GRAPH) и построим график функции.



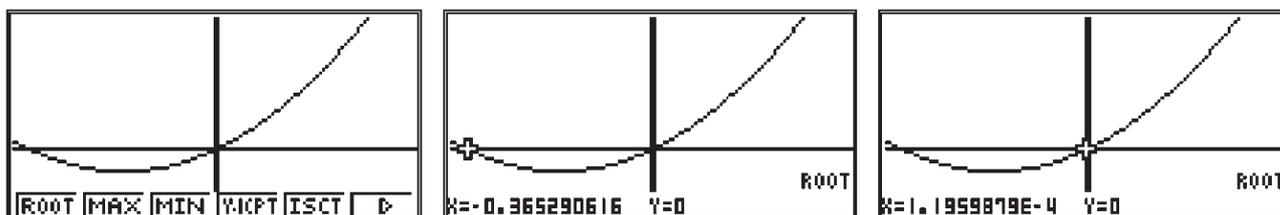
Для этого переместим выделение на строку с функцией и нажмем (SEL или SELECT). Знак «=» окажется выделенным, что указывает на выбор функции для построения графика.

Откроем меню настройки параметров окна вывода графика на дисплей, нажав **[SHIFT]** , **[F3]** . Пользуясь известными из алгебры способами нахождения опорных точек параболы, определим размер окна вывода графика, наиболее удобный для просмотра графика данной функции: $X_{min} = -0,4$; $X_{max} = 0,4$; $Y_{min} = -200$; $Y_{max} = 400$. Для изменения значения в строке X_{min} выделим ее, наберем нужное число и нажмем **[EXE]**. Аналогично введем остальные величины. Затем нажмем **[EXIT]** для возврата в список функций.

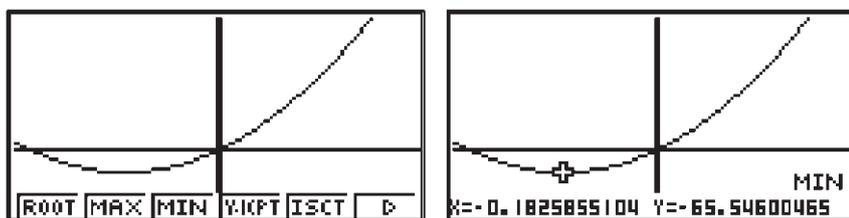
Построим график, нажав **[F6]** (DRAW).



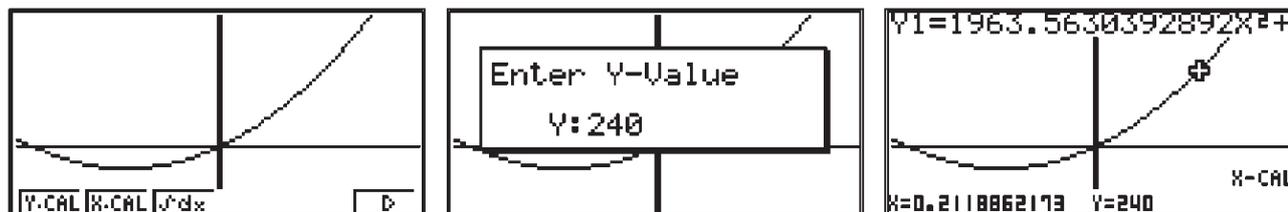
Определим координаты точек пересечения графика с осью абсцисс. Нажмем **F5** (G-Solv). В открывшемся списке расчетных характеристик выберем ROOT, нажав **F1**. На дисплее появится курсор в виде крестика, расположенный в крайней слева искомой точке. В нижней строке экрана отобразятся его координаты. Для перехода к следующей точке нажмем стрелку **▶** клавиши REPLAY.



Для определения точки минимума нажмем **F5** (G-Solv) для перехода к списку расчетных характеристик и выберем MIN, нажав **F2**.



Для расчета координаты X по заданной координате Y снова нажмем **F5** (G-Solv). Клавишей **F6** (**▶**) перейдем к следующей странице списка. Выберем X-CAL, нажав **F2**. В открывшееся диалоговое окно введем число 240 (координата Y = 240) и нажмем **EXE**.



Полученное время 0,212 с совпадает с зафиксированным в таблице 7, что подтверждает достоверность построенной графической модели движения каретки. Пользуясь этой моделью, можно определить время прохождения кареткой мимо любой точки направляющей. Например, на рис. 11 приведено время прохождения кареткой координаты 340 мм, которая соответствует отметке 440 мм на направляющей. Движение каретки из состояния покоя описывает правая от точки минимума часть полученного графика II-III-IV (рис. 11). Координаты минимума: (-0,183 с; -65,5 мм).

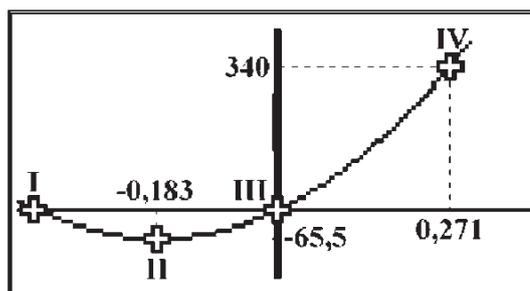
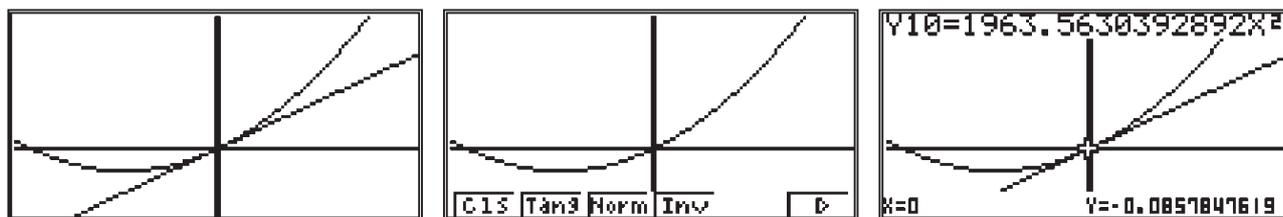


Рис. 11

Эти числа означают, что каретка от начала движения до первого геркона двигалась 0,183 с и прошла за это время 65,5 мм. Этот путь мы нашли с погрешностью 15 мм (в действительности магнит каретки начал двигаться из точки 50 мм, а первый геркон находился в точке 100 мм), что вполне естественно. Такую погрешность можно легко объяснить: диаметр магнита - 5 мм, геркон замыкается, когда магнит находится на расстоянии 7 мм от него, и размыкается, когда магнит проходит 15 мм после него.

Точку III, в соответствии с уравнением, каретка проходит со скоростью 717 мм/с. Эта скорость численно равна тангенсу угла наклона касательной к графику.

Для построения касательной к графику нажмем **F4** (Sketch). В открывшемся меню функциональных клавиш нажмем **F2** (Tang или Tangent). На графике появится курсор в виде крестика. Клавишей REPLAY переместим курсор в точку, в которой будет проведена касательная (в нашем случае $X = 0$), и нажмем для подтверждения выбора.

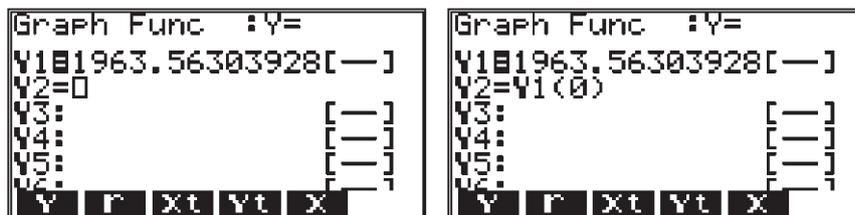


Для построения графика уравнения касательной в строку Y2 редактора функций введем функцию, описывающую уравнение касательной.

$$\text{Общий вид данной функции: } y = f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0)$$

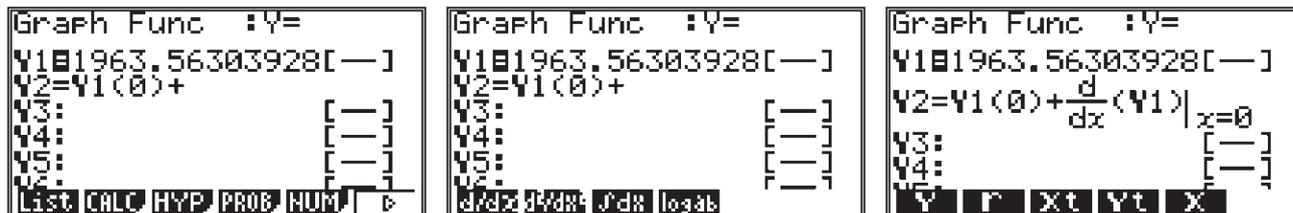
В нашем случае в калькуляторе функция $f(x_0)$ задана как Y1.

Переведем выделение в строку Y2 и нажмем **REPLAY** клавиши для входа в режим редактирования. В открывшемся меню функциональных клавиш нажмем **F1** (Y) для ввода уже заданной в редакторе функции. Нажмем **1** для обозначения номера используемой функции. В круглых скобках введем значение аргумента: (0).

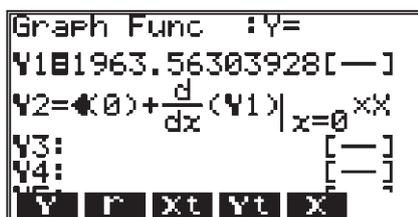


Нажмем **+** и введем шаблон производной: нажмем **OPTN** для вызова дополнительных функций, в меню функциональных клавиш нажмем **F2** (CALC) для вызова расчетных функций. В открывшемся меню выберем d/dx, нажав **F1**. В появившийся в строке ввода шаблон производной введем в качестве аргумента Y1 (для выхода из меню допол-

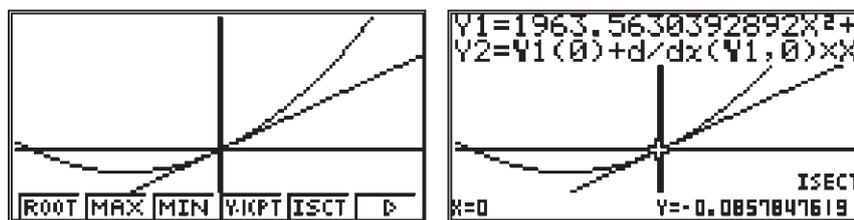
нительных функций нажмем дважды (EXIT), а в качестве значения неизвестного – 0 (для перехода к ее шаблону нажмем (REPLAY).



Для выхода из шаблона производной нажмем (REPLAY). Нажмем (X) и введем X, нажав (X,0,T).



Нажмем (EXE) для сохранения введенной функции и (F6)(DRAW) для построения графиков выделенных для построения функций Y1 и Y2. Вычислим точку пересечения графиков, нажав (F5)(G-Solv), (F5)(ISCT или INTSECT).



С учетом отмеченных систематических и рассчитанных случайных погрешностей целесообразно округлить ускорение движения каретки до одного знака после запятой. То есть можно считать, что каретка движется с ускорением $2A = 3,9 \text{ м/с}^2$. Скорость каретки в точке установки первого геркона $v_0 = 0,7 \text{ м/с}$. Последним слагаемым можно пренебречь, так как оно меньше погрешности измерения линейки направляющей. Итак, в системе координат с началом, совпадающим с первым герконом, каретка движется в соответствии с уравнением

$$X = \frac{3,9t^2}{2} + 0,7t ,$$

где 3,9 - ускорение, м/с^2 ; 0,7 - начальная скорость каретки, м/с . Следовательно, скорость каретки меняется следующим образом:

$$v = 0,7 + 3,9t.$$

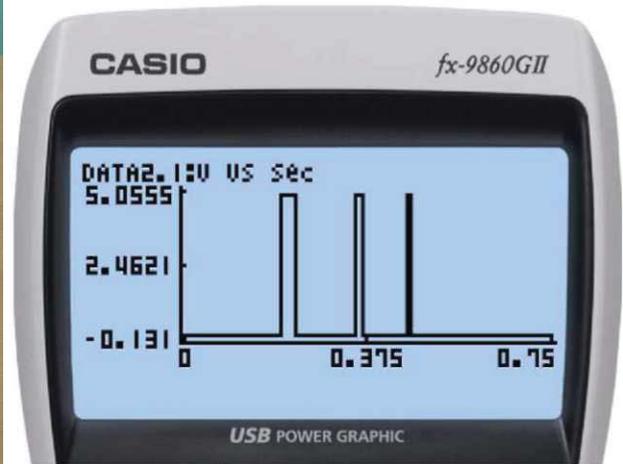


Рис. 11

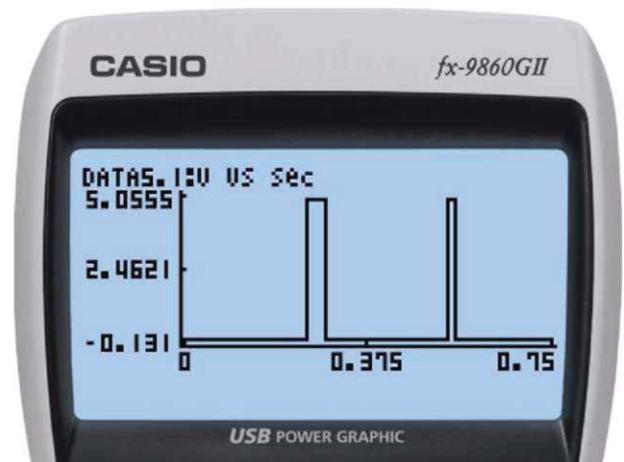


Рис. 12

6.4. Число используемых герконов зависит от цели исследования. Например, в работе 2 задействовано 3 геркона (рис. 11).

В работе 5 используется 2 геркона (рис. 12).

Во всех случаях надо помнить главное: независимо количества используемых герконов обработка результатов всегда проводится по одной технологии, подробно рассмотренной в п. 6.1.

7. Оценка случайных погрешностей.

Рассчитаем среднеквадратичные отклонения и границы случайных погрешностей для результатов измерения времени, зафиксированных в таблице 6. Для удобства повторим ее данные в таблице 8.

**Обобщенная информация о времени движения каретки t , сек
(Координата точки пуска 50 мм)**

№ пуска	№ геркона / Расстояние от первого геркона, мм			
	1	2	3	4
1	0	0,089	0,158	0,214
2	0	0,093	0,159	0,215
3	0	0,090	0,156	0,212
4	0	0,087	0,153	0,209
5	0	0,089	0,156	0,210
Среднее	0	0,090	0,156	0,212
Средняя квадратичная погрешность σ_t				
Граница случайной погрешности среднего значения Δt				

Для вычисления статистических характеристик перейдем в режим STAT, нажав **[MENU]**, **[2]**. Введем данные, соответствующие герконам 2, 3, 4 в столбцы List1, List2, List3.

Откроем подменю расчетов, нажав **[F2]**(CALC). В окне настроек SET(**[F6]**) проверим, что в одномерных расчетах (1Var) в качестве переменной X (строка 1Var XList) используются данные столбца List1, а частота повторения данных (строка 1 Var Freq) – 1 (см. п. 6.2).

Вернемся в подменю расчетов, нажав **[EXIT]**. Выполним одномерные статистические расчеты данных столбца List1, нажав **[F1]**(1VAR).

Из всех статистических характеристик нам важны $\bar{x} = 0,089 \text{ сек} = t_{cp}$,
 $\sigma_x = 1,95 \cdot 10^{-3} \text{ сек} = 0,00195 \text{ сек} = 0,002 \text{ сек} = \sigma_t$.

Граница случайной погрешности среднего равна

$$\Delta t = \frac{s \cdot \sigma_t}{\sqrt{n}},$$

где s - коэффициент Стьюдента, n - количество измерений.

При $n = 5$ коэффициент $s = 4,6$. Таким образом, граница случайной погрешности среднего значения времени

$$\Delta t = \frac{4,6 \cdot 0,002}{\sqrt{5}} = 0,004.$$

Это число означает, что в любой серии из пяти пусков среднее время движения каретки до первого геркона $t_{cp.} = 0,089 \pm 0,004$ (сек).

Чтобы вычислить статистические характеристики данных столбца List2, в окне настроек SET в строке 1Var XList: заменим List1 на List2. Для этого нажмем **F1**(LIST), в открывшемся диалоговом окне введем номер столбца (2) и нажмем **EXE** для подтверждения выбора.



Теперь выполним одномерные статистические расчеты данных столбца List2 и далее по аналогии – столбца List3.

List 2:

1-Variable	
\bar{x}	=0.1564
Σx	=0.782
Σx^2	=0.122326
σ_x	=2.0591E-03
s_x	=2.3021E-03
n	=5

List 3:

1-Variable	
\bar{x}	=0.212
Σx	=1.06
Σx^2	=0.224746
σ_x	=2.2803E-03
s_x	=2.5495E-03
n	=5

Раздел 2

РУКОВОДСТВА ПО ПРОВЕДЕНИЮ РАБОТ

§ 1. Исследование равноускоренного движения

Работа 1

Исследование зависимости пути от времени

I. Оборудование и цели исследования

Оборудование (рис.1.1): цифровой анализатор данных *CLab*; графический калькулятор *fx-9860GII*; кабель для обмена данными между *CLab* и *fx-9860GII*; датчик положения, штатив, направляющая, каретка, муфта, стержень, транспортер.

Цели исследования:

а) Составление и исследование координатного уравнения движения.

б) Измерение скорости и ускорения на основе анализа зависимости $x(t)$.

в) Определение начальных условий по виду зависимости координаты от времени.

г) Исследование одного и того же движения в разных системах координат.

д) Подготовка к ЕГЭ.



Рис. 1.1

II. Явления, процессы, физические величины

Один из способов экспериментального изучения движения – это исследование зависимости координат от времени. В общем случае, например, движения вдоль одной из осей, знание зависимости $x(t)$ позволяет найти ускорение, начальную скорость и написать уравнение зависимости $v(t)$. В простейшем случае прямолинейного равноускоренного движения $x = Ct^2$. Если начальная координата не равна нулю, то $x = Ct^2 + x_0$. При наличии начальной скорости

$$x = Ct^2 + Vt.$$

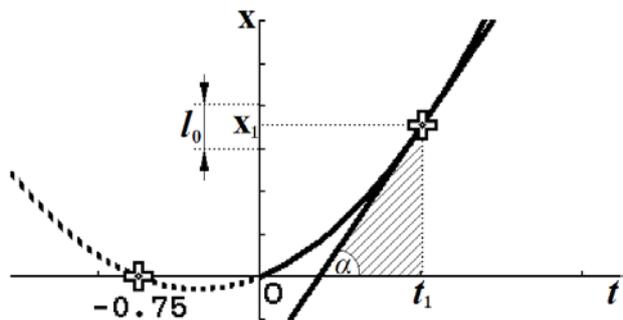


Рис. 1.2

Это уравнение позволяет определить ускорение движения $a = 2C$ и начальную скорость $v_0 = B$. Тогда зависимость скорости от времени имеет вид:

$$v = B + 2Ct.$$

Например, если $x = 2t^2 + 1,5t$, то $a = 4 \text{ м/с}^2$ и $v_0 = 1,5 \text{ м/с}$. Скорость в любой момент времени можно вычислить по формуле $v = 4t + 1,5$. График функции $x = 2t^2 + 1,5t$ приведен на рис. 1.2.

Возможности измерительного комплекса позволяют по четырем точкам, в которых расположены герконы, восстановить уравнение $x(t)$.

III. Возможный вариант выполнения исследования

Задание 1. Нахождение уравнения движения каретки по результатам совместных измерений времени и координат с началом в точке расположения первого геркона.

1. Сборка экспериментальной установки.

Соберите цифровой измерительный комплекс в соответствии с п. 3.1 раздела 1.

Соберите экспериментальную установку в соответствии с рис. 1.1. Закрепите герконы на отметках 10, 20, 30, 40 см направляющей (рис. 1.3).

2. Настройка оборудования и подготовка к измерениям.

2.1. Подготовьте и заполните таблицу 1.1.

2.2. Настройте измерительный комплекс по указаниям пп. 3.2 и 3.3 раздела 1.

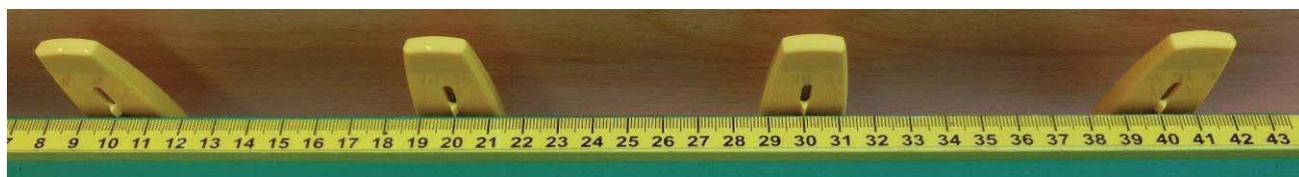


Рис. 1.3

Таблица 1.1

Положение герконов на направляющей, мм (Координата точки пуска 50 мм)	№ геркона			
	1	2	3	4
Расстояние от точки пуска				
Расстояние от первого геркона				
Положение по шкале направляющей				

2.3. Подготовьте таблицы 1.2, 1.3 для записи результатов измерений и их обработки.

3. Проведение измерений.

3.1. Проведите измерение (пуск 1) в соответствии с п. 4 раздела 1.

Общий вид возможной диаграммы импульсов представлен на рис. 1.4.

Сохраните данные в памяти калькулятора в соответствии с п. 5 раздела 1.

Внесите данные в таблицу 1.2 в соответствии с п. 6.1 раздела 1.

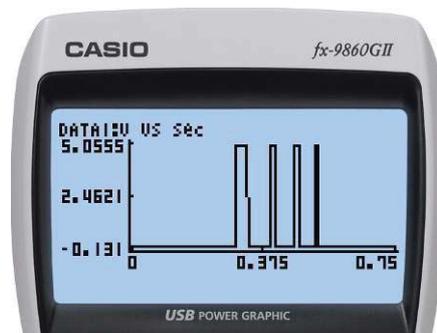


Рис. 1.4

Таблица 1.2

Результаты прямых измерений времени τ , с

№ пуска	№ геркона / Положение по шкале направляющей, мм			
	1 / 100	2 / 200	3 / 300	4 / 400
1				
2				
3				
4				
5				

Таблица 1.3

Обобщенная информация о времени движения каретки t , с (Координата точки пуска 50 мм)

№ пуска	№ геркона / Расстояние от первого геркона, мм			
	1 / 0	2 / 100	3 / 200	4 / 300
1				
2				
3				
4				
5				
Среднее				
Средняя квадратичная погрешность σ_t				
Граница случайной погрешности среднего значения Δt				

Таблица 1.4

Уравнение движения каретки	
Ускорение каретки, м/с ²	
Скорость каретки в месте расположения первого геркона, м/с	

Таблица 1.5

Значение производной в точке 250 мм, м/с	
Скорость каретки в точке 250 мм, м/с	

3.2. Осуществите еще 4 пуска каретки и заполните таблицу 1.2.

4. Обработка результатов измерений.

4.1. Обработайте результаты измерений в соответствии с пп. 6–7 раздела 1 и заполните таблицу 1.3.

4.2. Пользуясь графическим калькулятором, в соответствии с п. 6.2 раздела 1 найдите уравнение движения каретки в системе координат с началом в точке расположения первого геркона.

4.3. Заполните таблицу 1.4.

4.4. Получите на дисплее калькулятора график зависимости пути от времени движения каретки. Заполните таблицу 1.5.

Задание 2. Нахождение уравнения движения каретки по результатам совместных измерений координат и времени в системе координат с началом в точке расположения магнита каретки в момент ее пуска (50 мм).

Для выполнения этого задания используйте экспериментальные данные задания 1. Обратите внимание: в системе координат с началом в точке пуска каретки уравнение ее движения имеет вид:

$$x = \alpha \tau^2,$$

где τ – время от начала движения каретки.

В этой системе координат секундомер включается в месте расположения первого геркона, т.е. спустя t_0 (промежуток времени от начала движения каретки до замыкания первого геркона). Таким образом, уравнение движения каретки будет иметь вид:

$$x = \alpha(t + t_0)^2,$$

где t – показания секундомера.

Итак, уравнение движения в системе координат с началом в точке пуска имеет вид:

$$s = \alpha t^2 + 2\alpha t_0 t + \alpha t_0^2.$$

Таблица 1.6

Уравнение движения каретки	
Ускорение каретки, м/с ²	
Скорость в месте расположения первого геркона, м/с	
Время движения каретки от момента ее пуска до замыкания первого геркона, с	

В символах режима статистической обработки данных STAT калькулятора можно записать:

$$Y = AX^2 + BX + C.$$

Например, получены следующие результаты:

$$A = 1895 \text{ мм/с}^2; B = 921 \text{ мм/с}; C = 99 \text{ мм}.$$

Каретка проходит точку установки первого геркона со скоростью 0,92 м/с и ускорением 3,8 м/с².

Можно найти время движения каретки t_0 от момента ее пуска до замыкания первого геркона. $\alpha = C = 1895 \text{ мм/с}^2$, $2\alpha t_0 = B = 921 \text{ мм/с}$. Следовательно, $2 \times 1895 \times t_0 = 921 \text{ мм/с}$. Отсюда $t_0 = 0,243 \text{ с}$.

Результаты исследования запишите в таблицу 1.6

Подготовка к ЕГЭ. Выполните задания.

1. Велосипедист съезжает с горки, двигаясь прямолинейно и равноускоренно. За время спуска скорость велосипедиста увеличилась на 10 м/с. Ускорение велосипедиста 0,5 м/с². Сколько времени длится спуск?

- 1) 0,05 с 2) 2 с 3) 5 с 4) 20 с

2. За 2 с прямолинейного равноускоренного движения тело прошло 20 м, причем его скорость увеличилась в 3 раза. Определите ускорение тела.

3. Уравнения движения двух тел имеют вид:

$$x_1 = 10t + 0,4t^2 \text{ и } x_2 = -6t + 2t^2.$$

Опишите характер движения каждого тела. Найдите место и время их встречи. В какой момент времени тела будут иметь одинаковые по модулю скорости и совпадать по направлению? Будут ли тела находиться в какой-нибудь из этих моментов времени в одной точке пространства? Каким будет расстояние между ними через 5 с после начала движения?

Работа 2

Измерение мгновенной скорости на основе соотношения $v_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$

I. Оборудование и цели исследования

Оборудование (рис. 2.1): цифровой анализатор данных *CLab*; графический калькулятор *fx-9860GII*; кабель для обмена данными между *CLab* и *fx-9860GII*; датчик положения, штатив, направляющая, каретка, муфта, стержень, транспортёр.



Рис. 2.1

Цели исследования:
а) Моделирование предельного перехода $v_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = x'$ и определение границ применимости такой процедуры.

б) Исследование зависимости средней скорости от времени при равноускоренном движении и построение графика этой зависимости.

в) Подготовка к ЕГЭ.

II. Явления, процессы, физические величины

Известно, что в каждый момент времени материальная точка обладает скоростью, которая называется *мгновенной*. Если зависимость координаты от времени известна, то найти мгновенную скорость не представляет труда. В соответствии с процессом предельного перехода, известного вам из курса алгебры и начал анализа, скорость v_x равна

$$v_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = x'. \quad (2.1)$$

Например, если $x = 10t + 0,4t^2$, то $v_x = x' = 10t + 0,8t$.

Во всех приборах для прямого измерения скорости (например, спидометры) ее численное значение определяется на основе формулы (2.1).

В данной работе необходимо выяснить, как, опираясь на это определение, можно измерить мгновенную скорость. Трудности возникают по двум причинам. Во-первых, из-за погрешностей измерений: относительные погрешности измерения промежутков времени Δt и расстояний

Δl будут увеличиваться при уменьшении Δt и Δl . Во-вторых, применяемый метод измерения всегда накладывает ограничения на минимально возможные значения Δl и Δt . Например, герконы нельзя сблизить на расстояние, меньшее 2,5 см.

Выясним, какие предельно малые значения l_0 и t_0 достижимы в реальном эксперименте для расчета мгновенной скорости $v = \frac{l_0}{t_0}$ (вместо

математического определения $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta l}{\Delta t}$).

Как можно поставить эксперимент, и какие его результаты должны подтвердить возможность измерения мгновенной скорости в точке A внутри интервала l_0 , если l_0 нельзя сделать бесконечно малым?

Пусть мы хотим измерить скорость тела в точке A (рис. 2.2а). Установим геркон D_0' вблизи от нее справа и будем геркон D приближать к точке A слева, каждый раз находя частное $\frac{l}{t}$. По результатам измере-

ний получим последовательность скоростей и предельное значение $\frac{l_0}{t_0}$.

Для наглядности построим график 1 (рис. 2.2в). Геркон D_0'' поставим слева вблизи от точки A и будем приближать геркон D (рис. 2.2б) справа, каждый раз вычисляя $\frac{L}{T}$. Получим предельное значение $\frac{L_0}{T_0}$. По-

строим график 2 (рис. 2.2в).

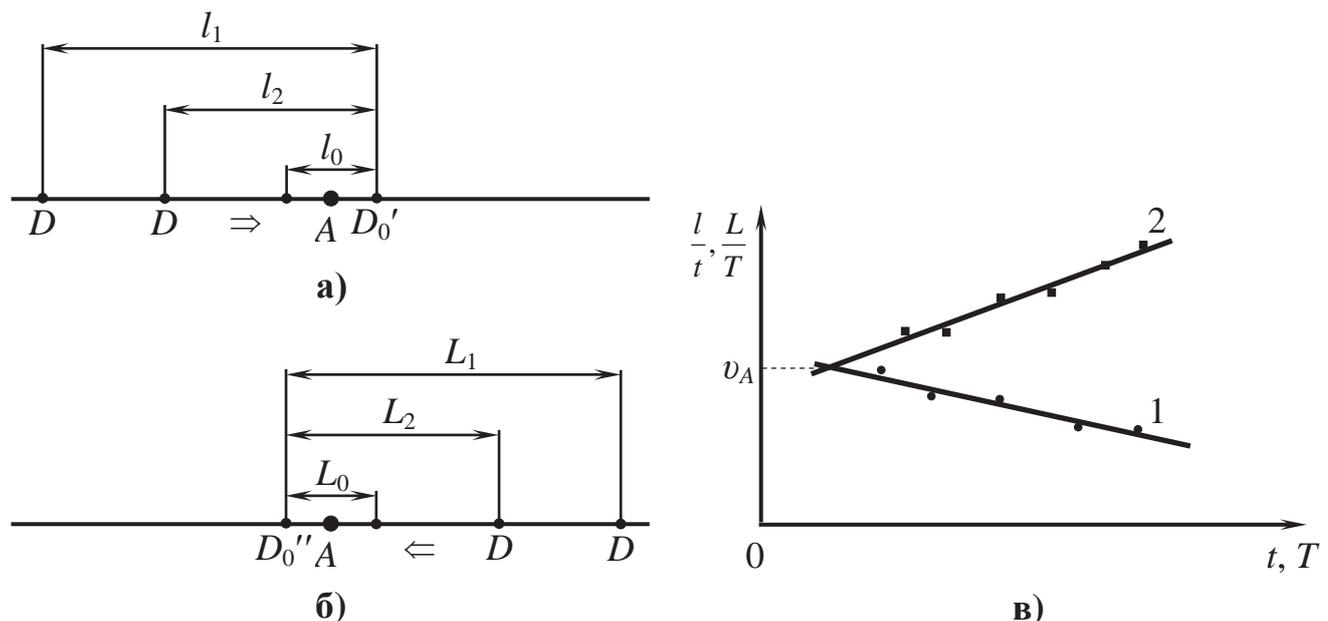


Рис. 2.2

Если в пределах погрешностей два предельных значения $\frac{l_0}{t_0}$ и $\frac{L_0}{T_0}$ близки друг к другу, а графики 1 и 2 пересекаются, то мгновенную скорость в точке A можно измерить как отношение $\frac{l_0}{t_0}$ (или $\frac{L_0}{T_0}$).

III. Возможный вариант выполнения исследования

Задание. Графическое исследование зависимости средней скорости от времени при приближении герконов к точке предельного перехода.

1. Сборка экспериментальной установки.

Соберите цифровой измерительный комплекс в соответствии с п. 3.1 раздела 1.

Экспериментальную установку надо собрать так, чтобы использовать возможность измерительного комплекса за один пробег каретки измерить промежутки t и T . Это можно сделать, если совместить датчики D_0' и D_0'' , (рис. 2.2а, б), то есть установить один геркон непосредственно в точку A .

Соберите экспериментальную установку в соответствии с рис. 2.1.

Первый геркон (D_0) установите в точке направляющей, предельный переход к которой исследуется в работе: например, 250 мм.

Второй геркон расположите в точке 100 мм (D_1), третий – в точке 400 мм (D_2). В качестве датчиков D_0 , D_1 и D_2 можно использовать любые три из 4-х герконов.

2. Настройка оборудования и подготовка к измерениям.

2.1. Настройте измерительный комплекс по указаниям пп. 3.2 и 3.3 раздела 1.

2.2. Подготовьте таблицы 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6 для записи результатов измерений и их обработки.

3. Проведение измерений.

3.1. Проведите измерение (пуск 1) в соответствии с п. 4 раздела 1.

Общий вид возможной диаграммы импульсов представлен на рис. 2.4.

Сохраните данные в памяти калькулятора в соответствии с п. 5 раздела 1.



Рис. 2.3

Таблица 2.1

Время прохождения τ магнита каретки мимо герконов D_1, D_0, D_2 , с

№ пуска	$l = L$, мм														
	150			120			90			60			30		
	D_1	D_0	D_2	D_1	D_0	D_2	D_1	D_0	D_2	D_1	D_0	D_2	D_1	D_0	D_2
1															
2															
3															
4															
5															

Таблица 2.2

Время прохождения τ магнита каретки мимо герконов D_1 и D_2 , с
($s = 30$ мм – расстояние между герконами D_1 и D_2)

№ пуска	1	2	3	4	5
D_1					
D_2					

Таблица 2.3

Время прохождения t и T магнита каретки между герконами (D_1, D_0), (D_2, D_0), (D_1, D_2), с

№ пуска	$l = L$, мм										s , мм
	150		120		90		60		30		30
	t	T	t	T	t	T	t	T	t	T	$t = T$
1											
2											
3											
4											
5											
Среднее											

Таблица 2.4

Средняя скорость каретки по результатам пяти пусков, м/с

Формула для расчета средней скорости каретки	l и L , мм										s , мм
	150		120		90		60		30		30
	$t_{\text{ср.}}$	$t_{\text{ср.}} = T_{\text{ср.}}$									
$\frac{l}{t_{\text{ср.}}}$, $\frac{L}{T_{\text{ср.}}}$, $\frac{s}{t_{\text{ср.}}}$											

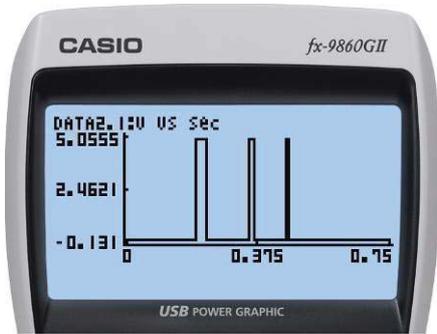


Рис. 2.4

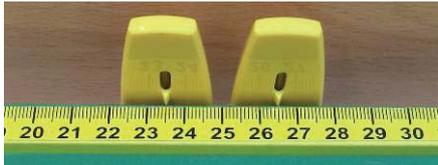


Рис. 2.5

В соответствии с п. 6.1 раздела 1 внесите экспериментальные данные в первые ячейки столбцов таблицы 2.1, соответствующих расстоянию между герконами 150 мм.

3.2. Проведите еще 4 пуска и заполните вышеуказанные столбцы таблицы 2.1.

3.3. Перемещая герконы D_1 и D_2 на 30 мм по направлению к D_0 , проведите еще 4 серии измерений по 5 пусков каретки и заполните таблицу 2.1.

3.5. В 6-й серии измерений используйте два геркона. Установите их около точки 250 мм на расстоянии 30 мм друг от друга (рис. 2.5). Результаты внесите в таблицу 2.2.

4. Обработка результатов измерений.

4.1. Обработайте результаты измерений в соответствии с пп. 6–7 раздела 1 и заполните таблицу 2.3.

4.2. Рассчитайте средние скорости $v_{cp.1}(t)$ и $v_{cp.2}(T)$ и заполните таблицу 2.4.

4.3. Графики зависимостей $\left(\frac{l}{t}\right)$ от t , т.е. $v_{cp.1}(t)$, а также $\left(\frac{L}{T}\right)$ от T ,

т.е. $v_{cp.2}(T)$ постройте на миллиметровке.

4.3. Пользуясь графическим калькулятором, получите коэффициенты A_1 и B_1 уравнения $v_{cp.1} = A_1 + B_1 t$ и коэффициенты A_2 и B_2 уравнения $v_{cp.2} = A_2 + B_2 T$. Запишите полученные уравнения в таблицу 2.5.

4.4. Постройте на дисплее калькулятора графики функций $v_{cp.1}(t)$ и $v_{cp.2}(T)$. Оцените мгновенную скорость каретки в точке 250 мм и внесите данные в таблицу 2.5.

Таблица 2.5

Уравнение зависимости $v_{cp.1}(t)$	
Уравнение зависимости $v_{cp.2}(T)$	
Мгновенная скорость каретки в точке 250 мм, м/с	

4.5. Сделайте вывод.

Подготовка к ЕГЭ. Выполните задания.

1. Брусок из состояния покоя скользит с ускорением a по наклонной плоскости длиной l . Сравните средние скорости бруска на первой и второй половинах наклонной плоскости.

2. Брусок начал скользить из состояния покоя по наклонной плоскости длиной L , затратив на движение время T . Сравните средние скорости бруска за время от нуля до $\frac{T}{2}$ и от $\frac{T}{2}$ до T .

Работа 3

Зависимость мгновенной скорости от времени и пути при равноускоренном движении

I. Оборудование и цели исследования

Оборудование (рис. 3.1): цифровой анализатор данных *CLab*; графический калькулятор *fx-9860GII*; кабель для обмена данными между *CLab* и *fx-9860GII*; датчик положения, штатив, направляющая, каретка, муфта, стержень, транспортер.

Цели исследования:

а) Ознакомление с возникновением одной из главных идей естественнонаучного познания и ролью интуиции в научных открытиях.

б) Построение графиков по результатам совместных измерений двух величин.

в) Освоение процедуры «спрямления» графика как эффективного способа графического представления информации.

г) Подготовка к ЕГЭ.



Рис. 3.1

II. Явления, процессы, физические величины

Каретка скользит по наклонной плоскости под действием сил, равнодействующая которых постоянна (рис. 3.2).

Из исследования движения тела под действием постоянной силы возникли классическая механика и современный метод познания.

Первым исследовал такое движение Галилей. Он выдвинул две гипотезы:

- 1) скорость тела пропорциональна времени движения (рис. 3.3а);
- 2) скорость тела пропорциональна пути (рис. 3.3б).

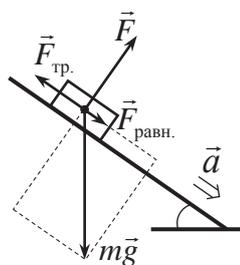


Рис. 3.2

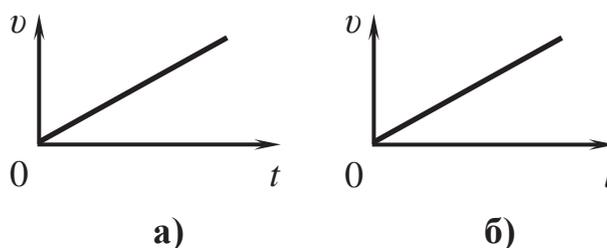


Рис. 3.3

Галилей интуитивно выбрал первую гипотезу, но способа ее прямой проверки у него не было. И ученый нашел выход. Он вывел следствие из гипотезы: если $v \sim t$ (рис. 3.4а), то путь пропорционален квадрату времени. На рис. 3.4а пройденный за разное время путь численно равен площади треугольников. Именно это следствие он проверил на опыте.

Так было открыто одно из важнейших положений научного метода познания: при невозможности прямой проверки какой-либо идеи надо получить легко проверяемое следствие из нее. Если эксперимент подтверждает следствие, то верна и исходная идея.

Теперь легко понять, почему неверна вторая гипотеза ($v \sim l$, рис. 3.4б). Увеличим время t_1 в 2 раза (рис. 3.4а). Скорость увеличится в 2 раза, а путь – в 4 раза (рис. 3.4б).

Вывод прост: скорость пропорциональна квадратному корню из пути. Аналитическое выражение этой зависимости вам известно:

$$v = \sqrt{2al} .$$

Если в момент времени $t = 0$ тело имеет начальную скорость v_0 , то

$$v(t) = v_0 + at,$$

$$v(l) = \sqrt{v_0^2 + 2al} .$$

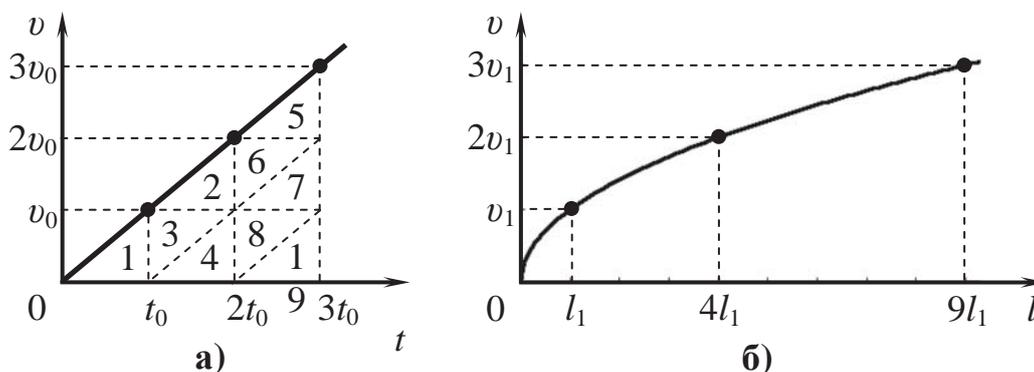


Рис. 3.4

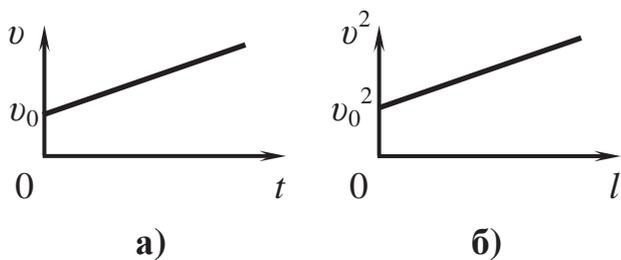


Рис. 3.5

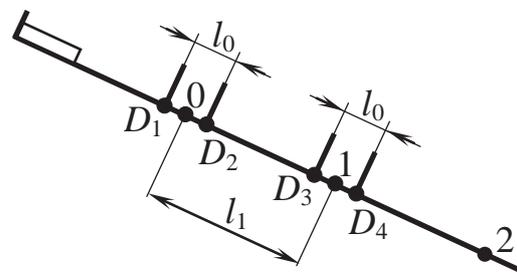


Рис. 3.6

Обе закономерности можно проверить непосредственно.

Мгновенную скорость каретки в любой точке направляющей с погрешностью порядка 10 % можно измерить как $\frac{l_0}{\tau_0}$ – отношение предельно малого перемещения l_0 к промежутку времени τ_0 , за которое это перемещение произошло (см. работу 2).

Исследовать зависимость

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2al}$$

очень сложно. В таких случаях используется процедура «спрямления». Поэтому в данной работе вы будете исследовать линейные зависимости скорости от времени $v(t)$ (рис. 3.5а) и квадрата скорости от пути $v^2(l) = v_0^2 + 2al$ (рис. 3.5б).

III. Возможный вариант выполнения исследования

В данном исследовании за начало отсчета расстояний и времени принимается заранее выбранная на направляющей точка «0» (рис. 3.6). В этой точке скорость каретки равна v_0 . Тогда в произвольной точке «1» на расстоянии l_1 в момент времени t_1 скорость каретки равна v_1 . Для измерения скоростей в разных точках направляющей точка «1» перемещается по направляющей относительно точки «0».

Цифровой измерительный комплекс позволяет за один пуск каретки измерить скорости v_0 и v_1 и промежуток времени t_1 , за который каретка перемещается из точки «0» в точку «1».

Для этого герконы D_1, D_2, D_3, D_4 устанавливаются попарно так, чтобы точки «0» и «1» оказались внутри интервалов $l_0 = 30$ мм. Точки «0» и «1» определяют, соответственно, положение пар герконов D_1 и D_2, D_3 и D_4 на направляющей.

Экспериментальные данные позволяют найти v_0, v_1 и t_1 .

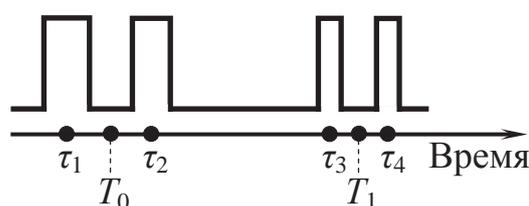


Рис. 3.7

Действительно,

$$v_0 = \frac{l_0}{t_{12}}, v = \frac{l_0}{t_{34}}, t_1 = T_1 - T_0,$$

где $t_{12} = \tau_2 - \tau_1$; $t_{34} = \tau_4 - \tau_3$; $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ – середины импульсов; T_0, T_1 – середины интервалов между импульсами (рис. 3.7).

Задание 1. Проверка соотношения $v^2 = v_0^2 + 2al$.

1. Сборка измерительной установки.

Соберите цифровой измерительный комплекс в соответствии с п. 3.1 раздела 1.



Рис. 3.8

Соберите экспериментальную установку в соответствии с рис. 3.1.

Установите четыре геркона попарно, чтобы измерить мгновенную скорость в точках 100 («0») и 180 («1») мм,

то есть на отметках 8,5; 11,5; 16,5; 19,5 см направляющей (рис. 3.8).

2. Настройка оборудования и подготовка к измерениям.

2.1. Настройте измерительный комплекс по указаниям пп. 3.2 и 3.3 раздела 1.

2.2. Подготовьте таблицы 3.1, 3.2 для записи результатов измерений и их обработки.

3. Проведение измерений.

3.1. Проведите измерение (пуск 1) в соответствии с п. 4 раздела 1.

Общий вид возможной диаграммы импульсов представлен на рис. 3.9.

Таблица 3.1

Результаты прямых измерений
времени, с

(Положение подвижной
пары герконов $l_1 = 180$ мм)

№ пуска	τ_1	T_0	τ_2	τ_3	T_1	τ_4
1						
2						
3						
4						
5						

Таблица 3.2

Время движения каретки, с
(Положение подвижной
пары герконов $l_1 = 180$ мм)

№ пуска	t_{12}	t_{34}	t
1			
2			
3			
4			
5			
Среднее			

Таблица 3.3

v_0 , м/с	v_1 , м/с	a , м/с ²	v_0^2 , м ² /с ²	v_1^2 , м ² /с ²	$v_1^2 - v_0^2$, м ² /с ²	$2al_1$, м ² /с ²

Сохраните данные в памяти калькулятора в соответствии с п. 5 раздела 1.

Внесите данные в строку 1 таблицы 3.1 в соответствии с п. 6.1 раздела 1.

3.2. Осуществите еще 4 пуска каретки и заполните таблицу 3.1.

4. Обработка результатов измерений.

4.1. Заполните таблицу 3.2.

4.2. Заполните таблицу 3.3.

4.3. Проверьте соотношение $v_1^2 = v_0^2 + 2al_1$. Для этого найдите отклонение между v_1^2 и $(v_0^2 + 2al_1)$.

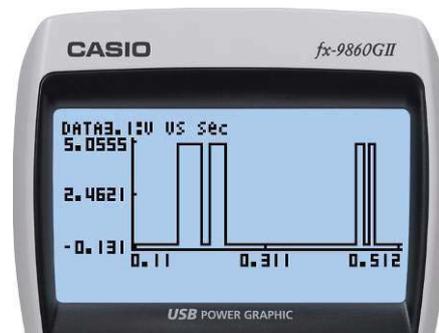


Рис. 3.9

Задание 2. Исследование линейных зависимостей скорости от времени $v(t)$ и квадрата скорости от пути $v^2(l) = v_0^2 + 2al$.

При выполнении данного задания используются результаты измерения начальной скорости v_0 и скорости v_1 в точке 180 мм, то есть задания 1. Измерения для этой точки снова проводить не надо.

1. Сборка экспериментальной установки.

Для проведения измерений используется экспериментальная установка из задания 1.

2. Настройка оборудования и подготовка к измерениям.

2.1. Настройка измерительного комплекса при переходе от задания 1 к заданию 2 не меняется.

2.2. Подготовьте таблицы 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 для записи результатов измерений и их обработки.

3. Проведение измерений.

При проведении измерений пара герконов D_1 и D_2 остается в неизменном положении, а пара герконов D_3 и D_4 передвигается в точки 260, 340 и 420 мм направляющей.

Проведите три измерения по аналогии с п. 3 задания 1 и заполните таблицы 3.4, 3.5, 3.6.

4. Обработка результатов измерений.

4.1. Заполните таблицу 3.7.

4.2. Заполните таблицу 3.8.

4.3. На миллиметровке постройте графики зависимостей скорости от времени $v(t)$ и квадрата скорости от пути $v^2(l) = v_0^2 + 2al$.

4.4. Пользуясь графическим калькулятором, в соответствии с п. 6.2, получите коэффициенты A_1 и B_1 уравнения $v(t) = A_1 + B_1t$ и коэффициенты A_2 и B_2 уравнения $v^2(l) = A_2 + B_2l$ и заполните таблицу 3.9.

Таблица 3.4

Результаты прямых измерений
времени, с
(Положение подвижной
пары герконов $l_2 = 260$ мм)

№ пуска	τ_1	T_0	τ_2	τ_3	T_1	τ_4
1						
2						
3						
4						
5						

Таблица 3.5

Результаты прямых измерений
времени, с
(Положение подвижной
пары герконов $l_3 = 340$ мм)

№ пуска	τ_1	T_0	τ_2	τ_3	T_1	τ_4
1						
2						
3						
4						
5						

Таблица 3.6

Результаты прямых измерений времени, с
(Положение подвижной пары герконов $l_4 = 420$ мм)

№ пуска	τ_1	T_0	τ_2	τ_3	T_1	τ_4
1						
2						
3						
4						
5						

Таблица 3.7

Время движения каретки, с

№ пуска	l , мм								
	260			340			420		
	t_{12}	t_{34}	t	t_{12}	t_{34}	t	t_{12}	t_{34}	t
1									
2									
3									
4									
5									
Среднее									

Таблица 3.8

Кинематические характеристики движения каретки	Положение пар герконов, мм				
	100	180	260	340	420
l , 10^{-3} м	0	80	160	240	320
t , с	0				
v , м/с					
v^2 , $м^2/с^2$					

Таблица 3.9

$v(t) = A_1 + B_1 t$	
$v^2(l) = A_2 + B_2 l$	

4.5. Постройте на дисплее калькулятора графики функций $v(t)$ и $v^2(l)$.

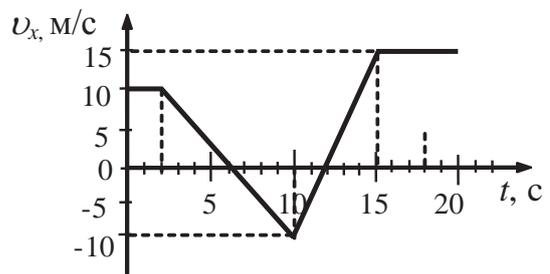
4.6. Проверьте, подтверждает ли исследование и насколько точно следующие равенства: $A_2 = A_1^2$ и $B_2 = 2B_1$.

4.7. Сделайте вывод об экспериментальном подтверждении характера зависимости скорости тела при равноускоренном движении от пути и времени.

Подготовка к ЕГЭ. Выполните задания.

1. На рис. приведен график зависимости проекции скорости тела от времени.

График зависимости от времени проекции ускорения этого тела a_x в интервале времени от 10 до 15 с совпадает с графиком



- 1) 2) 3) 4)

2. Материальная точка, двигаясь равноускоренно по прямой, за время t увеличила скорость в 3 раза, пройдя путь 20 м. Найдите t , если ускорение точки равно 5 м/с^2 .

3. Тело, свободно падающее с некоторой высоты без начальной скорости, за время $\tau = 1 \text{ с}$ после начала движения проходит путь в $n = 5$ раз меньший, чем за такой же промежуток времени в конце движения. Найдите полное время движения.

Работа 4

Измерение ускорения при равноускоренном движении на основе определительной формулы

I. Оборудование и цели исследования

Оборудование (рис. 4.1): цифровой анализатор данных *CLab*; графический калькулятор *fx-9860GII*; кабель для обмена данными между *CLab* и *fx-9860GII*; датчик положения, штатив, направляющая, каретка, муфта, стержень, транспортер.



Рис. 4.1

Цели исследования:

а) Планирование исследования по аналогии с уже проведенным в работе 3.

б) Закрепление умений строить графики по результатам совместных измерений двух величин.

в) Разработка способа измерения физической величины на основе ее определения.

г) Подготовка к ЕГЭ.

II. Явления, процессы, физические величины

Ускорение прямолинейного равноускоренного движения равно

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}.$$

Если за время $t = t_2 - t_1$ направление движения не изменяется, то модуль ускорения равен

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{v_2 - v_1}{t},$$

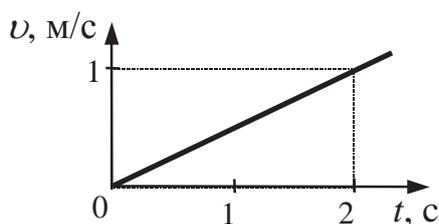
где v_2 и v_1 – мгновенные скорости в моменты времени t_2 и t_1 .

Соотношение $a = \frac{v_2 - v_1}{t}$ позволяет разработать способ измерения ускорения. Достаточно измерить скорости v_2 и v_1 и промежуток времени t , за который скорость изменилась от v_1 до v_2 .

III. Возможный вариант выполнения исследования

Разработайте способ измерения ускорения на основе определительной формулы и проведите измерение ускорения, опираясь на опыт, приобретенный вами при выполнении работы 3.

Подготовка к ЕГЭ. Выполните задания.



1. Тело начинает двигаться из начала координат вдоль оси Ox , причем проекция скорости v_x меняется с течением времени по закону, приведенному на графике. Через 2 с ускорение тела равно

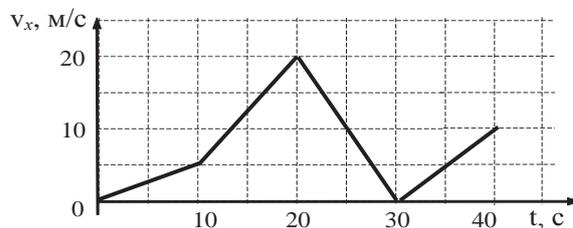
- 1) 0 м/с^2 2) $0,5 \text{ м/с}^2$ 3) 1 м/с^2 4) 2 м/с^2

2. Одной из характеристик автомобиля является время t его разгона с места до скорости 100 км/ч. Один из автомобилей имеет время разгона $t = 4$ с. С каким ускорением движется автомобиль?

- 1) 4 м/с^2 2) 7 м/с^2 3) 25 м/с^2 4) 111 м/с^2

3. Автомобиль движется по прямой улице. На графике представлена зависимость скорости автомобиля от времени. Модуль ускорения максимален на интервале времени

- 1) от 0 с до 10 с 3) от 20 с до 30 с
2) от 10 с до 20 с 4) от 30 с до 40 с

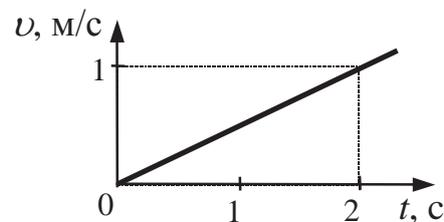


4. Сколько потребуется времени, чтобы увеличить скорость движения тела в 3 раза при его движении с ускорением 5 м/с^2 на пути в 20 м?

5. Тело начинает двигаться из начала координат вдоль оси Ox , причем проекция скорости v_x меняется с течением времени по закону, приведенному на графике.

Через 2 с ускорение тела равно

- 1) 0 м/с^2 3) 1 м/с^2
2) $0,5 \text{ м/с}^2$ 4) 2 м/с^2



Работа 5

Расчет ускорения на основе измерения промежутка времени t_0 , за которое тело переместилось на расстояние l

I. Оборудование и цели исследования

Оборудование (рис. 5.1): цифровой анализатор данных *CLab*; графический калькулятор *fx-9860GII*; кабель для обмена данными между *CLab* и *fx-9860GII*; датчик положения, штатив, направляющая, каретка, муфта, стержень, транспорт.

Цели исследования:

а) Анализ погрешностей с целью разработки более точных способов измерения.



Рис. 5.1

- б) Освоение способов уменьшения систематических погрешностей.
- в) Измерение ускорения с наименьшей относительной погрешностью.

II. Явления, процессы, физические величины

Самый простой способ расчета ускорения основан на измерении промежутка времени t , за которое тело из состояния покоя пройдет путь l .

Тогда $l = \frac{at^2}{2}$ и $a = \frac{2l}{t^2}$.

Установка для реализации этого способа с помощью герконов представлена на рис. 5.2. Геркон D_1 устанавливается на расстоянии примерно 7–10 мм от магнита (М) каретки.

Относительная погрешность такого измерения

$$\varepsilon_a = \varepsilon_l + 2\varepsilon_t = \frac{\Delta l}{l} + 2\frac{\Delta t}{t}. \quad (5.1)$$

На первый взгляд, ее можно сделать очень маленькой за счет увеличения l и t .

Но возникают две проблемы. Первая – измерение времени сопровождаются случайные погрешности. Вторая – при использовании герконов возникают дополнительные (систематические) погрешности (см. раздел 1), которые придется добавлять в формулу (5.1).

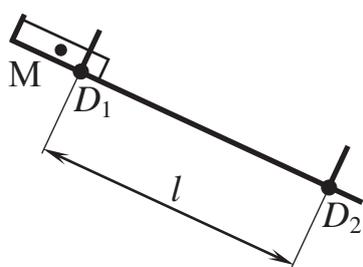


Рис. 5.2

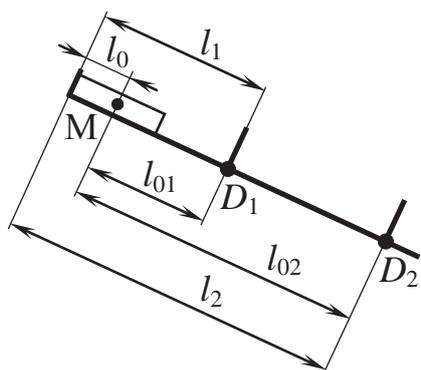


Рис. 5.3

Простой способ избавиться в данной работе от систематических погрешностей – отодвинуть геркон D_1 от магнита каретки (рис. 5.3). При этом относительная погрешность уменьшится, но формула для расчета ускорения усложнится:

$$a = 2 \frac{(\sqrt{l_{02}} - \sqrt{l_{01}})^2}{t_0^2}, \quad (5.2)$$

где t_0 – время движения каретки между герконами D_1 и D_2 , $l_{01} = l_1 - l_0$, $l_{02} = l_2 - l_0$.

Цифровой измерительный комплекс позволяет измерить t_0 .

Выведем формулу (5.2).

Расстояния $l_{01} = \frac{at_1^2}{2}$ и $l_{02} = \frac{at_2^2}{2}$,

где t_1 – время прохождения кареткой пути l_{01} , t_2 – время прохождения кареткой пути l_{02} .

$$\text{Отсюда: } t_1 = \sqrt{\frac{2l_{01}}{a}} \text{ и } t_2 = \sqrt{\frac{2l_{02}}{a}}.$$

Время движения каретки между герконами $t_0 = t_2 - t_1$.

$$\text{Следовательно, } t_0 = \sqrt{\frac{2}{a}}(\sqrt{l_{02}} - \sqrt{l_{01}}).$$

$$\text{Итак, } \sqrt{\frac{2}{a}} = \frac{t_0}{\sqrt{l_{02}} - \sqrt{l_{01}}}; \quad \frac{a}{2} = \frac{(\sqrt{l_{02}} - \sqrt{l_{01}})^2}{t_0^2} \Rightarrow a = 2 \frac{(\sqrt{l_{02}} - \sqrt{l_{01}})^2}{t_0^2}.$$

III. Возможный вариант выполнения исследования

Задание 1. Измерение ускорения без систематических погрешностей.

1. Сборка экспериментальной установки.

Соберите цифровой измерительный комплекс в соответствии с п. 3.1 раздела 1.

Соберите экспериментальную установку в соответствии с рис. 5.1.

Любые два из 4-х герконов установите на расстояниях, соответственно, $l_1 = 10\text{--}15$ см и $l_2 = 40\text{--}42$ см от верхней кромки направляющей. Подберите «удобные» значения l_1 и l_2 .

2. Настройка оборудования и подготовка к измерениям.

2.1. Настройте измерительный комплекс по указаниям пп. 3.2 и 3.3 раздела 1.

2.2. Подготовьте таблицы 5.1 и 5.2 для записи результатов измерений и их обработки.

3. Проведение измерений.

3.1. Расположите каретку вплотную к верхней кромке направляющей. Заполните таблицу 5.1.

3.2. Проведите измерение (пуск 1) в соответствии с п. 4 раздела 1.

Общий вид возможной диаграммы импульсов представлен на рис. 5.4.

Внесите данные в столбец 1 таблицы 5.2.

3.3. Осуществите еще 4 пуска каретки и внесите данные в таблицу 5.2.

4. Обработка результатов измерений.

4.1. Рассчитайте погрешности измерения времени в таблице 5.2 в соответствии с п. 7 раздела 1.

4.2. Рассчитайте ускорение каретки.

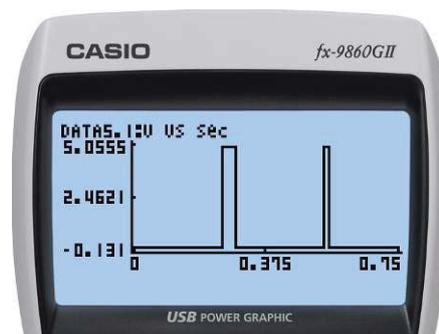


Рис. 5.4

Таблица 5.1

Положение магнита каретки в момент пуска $l_0, 10^{-3}$ м	
Положение геркона по шкале направляющей, 10^{-3} м	l_1
	l_2
$l_{01} = l_1 - l_0, 10^{-3}$ м	
$l_{02} = l_2 - l_0, 10^{-3}$ м	

Таблица 5.2

№ пуска	$\tau_2,$ с	$\tau_1,$ с	$t_0 = \tau_2 - \tau_1,$ с	$t_{0 \text{ ср.}},$ с	Средняя квадратичная погрешность, с	Граница случайной погрешности, с
1						
2						
3						
4						
5						

Работа 6

Измерение ускорения свободного падения

I. Оборудование и цели исследования

Оборудование (рис. 6.1, 6.2): цифровой анализатор данных *CLab*; графический калькулятор *fx-9860GII*; кабель для обмена данными между *CLab* и *fx-9860GII*; датчик положения, штатив, направляющая, каретка, муфта, лапка.



Рис. 6.1



Рис. 6.2

Цели исследования:

- Планирование исследования по заданной цели.
- Закрепление умений по исследованию движения.
- Разработка способа измерения ускорения свободного падения.

II. Явления, процессы, физические величины

Ускорение свободного падения можно измерить двумя уже известными вам способами.

Первый способ основан на использовании соотношения определительной формулы для ускорения:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}.$$

Если за время $t = t_2 - t_1$ направление движения не изменяется, то модуль ускорения равен

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{v_2 - v_1}{t},$$

где v_2 и v_1 – мгновенные скорости в моменты времени t_2 и t_1 .

Соотношение $a = g = \frac{v_2 - v_1}{t}$ позволяет разработать способ измерения ускорения свободного падения: достаточно измерить скорости v_2 , v_1 и промежуток времени t , за который скорость изменилась от v_1 до v_2 .

При реализации этого способа экспериментальная установка собирается в соответствии с рис. 6.1.

Второй способ основан на использовании соотношения

$$a = 2 \frac{(\sqrt{l_{02}} - \sqrt{l_{01}})^2}{t_0^2}.$$

Этот способ использовался при выполнении работы 5. Экспериментальная установка представлена на рис. 6.2.

III. Возможный вариант выполнения исследования

Измерьте ускорение свободного падения одним из предложенных способов.

При сборке экспериментальных установок в данном исследовании направляющую необходимо устанавливать под углом чуть меньше 90° , чтобы каретка скользила по направляющей. Это обеспечит надежное срабатывание герконов.

§ 2. Применение законов динамики к движению тел под действием нескольких сил

Работа 7

Скольжение тела по наклонной плоскости: сравнение произведения (ma) с равнодействующей F_0

I. Оборудование и цели исследования



Рис. 7.1

Оборудование (рис. 7.1)): цифровой анализатор данных CLab; графический калькулятор $fx-9860GII$; кабель для обмена данными между CLab и $fx-9860GII$; датчик положения, штатив, направляющая, каретка, муфта, стержень, динамометр с пределом измерения 1 Н, транспортир.

Цели исследования:

- Проверка фундаментальных законов механики на основе метода познания.
- Прямое измерение равнодействующей.
- Подготовка к ЕГЭ.

II. Явления, процессы, физические величины

Пусть на наклонной плоскости находится груз-брусочек массой m (рис. 7.2). Хорошо известны явления, которые происходят при постепенном увеличении угла α . При коэффициенте трения скольжения μ брусочек неподвижен до тех пор, пока угол α не станет равным α_0 , таким, что $\operatorname{tg} \alpha_0 = \mu$. При $\alpha > \alpha_0$ брусочек начнет равноускоренно скользить по наклонной плоскости с тем большим ускорением, чем больше угол α . Это ускорение не зависит от массы бруска и будет максимальным – равным g – при угле наклона 90° . При отсутствии силы трения

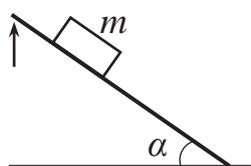


Рис. 7.2

$$a = g \cdot \sin \alpha.$$

Отмеченные особенности движения вытекают из свойств сил трения и тяжести и законов динамики. Чтобы убедиться в этом, достаточно вывести формулу для ускорения бруска при $\alpha > \alpha_0$:

$$a = g \cdot \sin \alpha - \mu g \cdot \cos \alpha = g \cdot \cos \alpha (\operatorname{tg} \alpha - \mu). \quad (7.1)$$

Для ее вывода обычно анализируют все силы, действующие на брусок (рис.7.3), и записывают второй закон в векторном виде:

$$m \vec{a} = m \vec{g} + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{N}.$$

После проектирования всех сил этого уравнения на оси OX и OY и замены $F_{\text{тр}} = \mu mg \cdot \cos \alpha$ получается формула (7.1), которая объясняет все наблюдаемые свойства движения бруска.

Действительно:

а) брусок скользит равномерно ($a = 0$) при таком угле α_0 , для которого $\operatorname{tg} \alpha_0 = \mu$;

б) брусок неподвижен при $\alpha < \alpha_0$, так как в соответствии с формулой (7.1) $a < 0$, что не имеет смысла;

в) ускорение растет от 0 до g при изменении угла от α_0 до 90° ;

г) при очень малом трении ($\mu \rightarrow 0$) $a = g \cdot \sin \alpha$;

д) так как все три силы пропорциональны массе, то ускорение не зависит от массы.

Как оценить угол α_0 ?

Для этого положите каретку на направляющую (рис. 7.4). Не затягивая винт муфты, удерживающий ее на штанге штатива, постепенно поднимайте муфту до начала скольжения каретки по направляющей. Затяните винт муфты на стойке штатива и измерьте угол α_0 .

Ускорение можно измерить любым способом из § 1. Наиболее предпочтителен способ, основанный на соотношении (см. работу 5, рис. 7.5):

$$a = 2 \frac{(\sqrt{l_{02}} - \sqrt{l_{01}})^2}{t_0^2}.$$

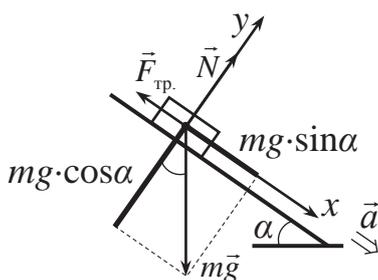


Рис. 7.3



Рис. 7.4

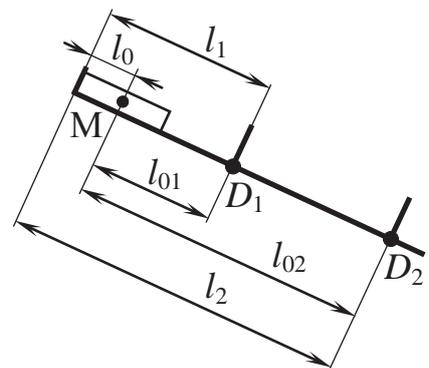


Рис. 7.5

III. Возможный вариант выполнения исследования

Задание 1. Измерение ускорения и расчет произведения (ta).

1. Сборка экспериментальной установки.

Соберите цифровой измерительный комплекс в соответствии с п. 3.1 раздела 1.

Соберите экспериментальную установку в соответствии с рис. 7.1.

Оцените критический угол α_0 и установите угол наклона направляющей на $10\text{--}15^\circ$ больше α_0 .

Любые два из 4-х герконов установите на расстояниях, соответственно, $l_1 = 10\text{--}15$ см и $l_2 = 40\text{--}42$ см от верхней кромки направляющей. Подберите «удобные» значения l_1 и l_2 .

2. Настройка оборудования и подготовка к измерениям.

2.1. Настройте измерительный комплекс по указаниям пп. 3.2 и 3.3 раздела 1.

2.2. Подготовьте таблицы 7.1 и 7.2 для записи результатов измерений и их обработки.

3. Проведение измерений.

3.1. Расположите каретку вплотную к верхней кромке направляющей. Заполните таблицу 7.1.

3.2. Проведите измерение (пуск 1) в соответствии с п. 4 раздела 1.

Общий вид возможной диаграммы импульсов представлен на рис. 7.6.

Таблица 7.1

Положение магнита каретки в момент пуска $l_0, 10^{-3}$ м		
Положение геркона по шкале направляющей, 10^{-3} м	l_1	
	l_2	
$l_{01} = l_1 - l_0, 10^{-3}$ м		
$l_{02} = l_2 - l_0, 10^{-3}$ м		

Таблица 7.2

№ пуска	$\tau_2,$ с	$\tau_1,$ с	$t_0 = \tau_2 - \tau_1,$ с	$t_{0 \text{ ср.}},$ с	Средняя квадратичная погрешность, с	Граница случайной погрешности, с
1						
2						
3						
4						
5						

Таблица 7.3

$a, \text{ м/с}^2$	$m, 10^{-3} \text{ кг}$	$F = ma, \text{ Н}$

Внесите данные в столбец 1 таблицы 7.2.

3.3. Осуществите еще 4 пуска каретки и заполните таблицу 7.2.

4. Обработка результатов измерений.

4.1. Рассчитайте погрешности измерения времени в таблице 5.2 в соответствии с п. 7 раздела 1.

4.2. Рассчитайте ускорение каретки и заполните таблицу 7.3. Масса каретки $(100 \pm 2) \text{ г}$.

Задание 2. Прямое измерение равнодействующей.

Как измерить равнодействующую? Из рис. 7.7 видно, что ее модуль равен $(mg \cdot \sin \alpha - F_{\text{тр}})$. Теперь представим себе, что к каретке прицепили динамометр и, пользуясь им, *равномерно* перемещают каретку вниз по направляющей. Понятно, что динамометр показывает численное значение равнодействующей F_0 .

Измерьте равнодействующую F_0 динамометром (рис. 7.8).

Сравните полученное значение F_0 с рассчитанным с помощью второго закона Ньютона в задании 1. Для этого определите относительное отклонение ε между ними и сделайте вывод. Результаты запишите в таблицу 7.4.

Таблица 7.4

$F = ma, \text{ Н}$	$F_0, \text{ Н}$	$\varepsilon = \frac{ F - F_0 }{F_0}$

Подготовка к ЕГЭ. Выполните задания.

1. На рис. 1 представлены направления векторов скорости \vec{v} и ускорения \vec{a} мяча в инерциальной системе отсчета. Какое из представленных на рис. 2 направлений имеет вектор равнодействующей всех сил \vec{F} , приложенных к мячу?

- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

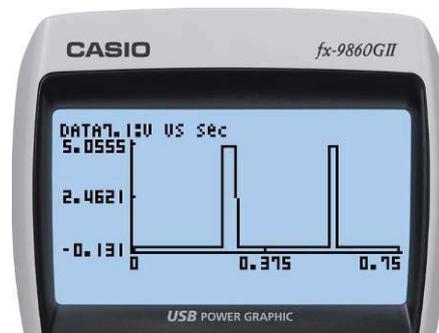


Рис 7.6

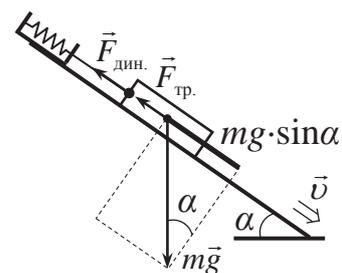


Рис. 7.7

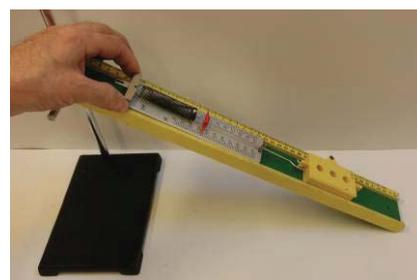


Рис. 7.8

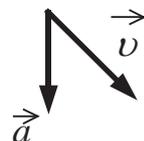


Рис.1

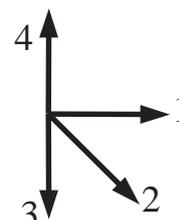
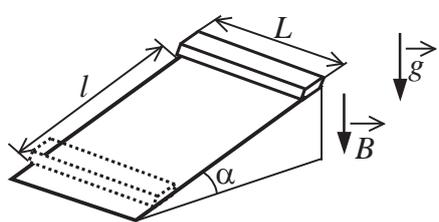


Рис.2

2. Тонкий алюминиевый брусок прямоугольного сечения, имеющий длину $L = 0,5$ м, соскальзывает из состояния покоя по гладкой наклонной плоскости из диэлектрика в вертикальном магнитном поле индукцией $B = 0,1$ Тл (см. рис.). Плоскость наклонена к горизонту под

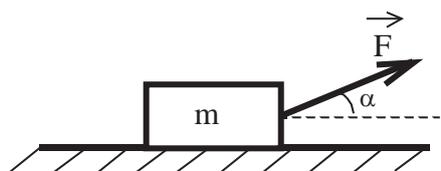


углом $\alpha = 30^\circ$. Продольная ось бруска при движении сохраняет горизонтальное направление. Найдите величину ЭДС индукции на концах бруска в момент, когда брусок пройдет по наклонной плоскости расстояние $l = 1,6$ м.

3. После удара клюшкой шайба стала скользить вверх по ледяной горке, и у ее вершины имела скорость 5 м/с. Высота горки 10 м. Если трение шайбы о лед пренебрежимо мало, то после удара скорость шайбы равнялась

- 1) 7,5 м/с 2) 15 м/с 3) 12,5 м/с 4) 10 м/с

4. Брусок массой 1 кг движется равноускоренно по горизонтальной поверхности под действием силы $F = 10$ Н, как показано на рис. Коэффициент трения скольжения равен 0,4, а угол $\alpha = 30^\circ$. Модуль силы трения равен



- 1) 8,5 Н 2) 2 Н 3) 3,4 Н 4) 6 Н

Работа 8

Исследование движения тел разных масс по наклонной плоскости

I. Оборудование и цели исследования

Оборудование (рис. 8.1): цифровой анализатор данных *CLab* ; графический калькулятор *fx-9860GII*; кабель для обмена данными между *CLab* и *fx-9860GII*; датчик положения, штатив, направляющая, каретка, муфта, стержень, динамометр с пределом измерения 1 Н, транспортер.

Цели исследования:

- а) Планирование исследования по заданной цели.
- б) Проверка следствий фундаментальных законов механики на основе метода познания.
- в) Закрепление умений по исследованию движения.

II. Явления, процессы, физические величины

1. Ускорение, с которым брусок скользит по наклонной плоскости, не зависит от его массы:

$$a = g \cdot \sin \alpha - \mu g \cdot \cos \alpha.$$

Такой результат есть следствие второго закона Ньютона. В соответствии с ним $a = \frac{F}{m}$. Следовательно, ускорение не зависит от массы только тогда, когда равнодействующая ($m \vec{g} + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{N}$) прямо пропорциональна ей (рис. 8.2).

Отсюда следует вывод: для подтверждения обратной пропорциональной зависимости ускорения от массы необходимо проверить, что ускорение бруска при скольжении по наклонной плоскости не зависит от его массы.

Для изменения массы движущегося тела (при неизменном коэффициенте трения) достаточно поставить груз на брусок.



Рис. 8.1

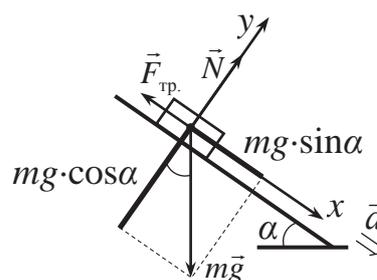


Рис. 8.2

III. Возможный вариант выполнения исследования

Спланируйте и проведите исследование по проверке следствия второго закона Ньютона о независимости ускорения бруска от его массы.

Работа 9

Исследование движения системы тел, привязанных к нити, перекинутой через блок

I. Оборудование и цели исследования

Оборудование (рис. 9.1): цифровой анализатор данных *CLab*; графический калькулятор *fx-9860GII*; кабель для обмена данными между *CLab* и *fx-9860GII*; датчик положения, штатив, направляющая, блок, каретка, муфта, груз массой 100 г, 5 одинаковых гаек по 10–20 г каждая, динамометр с пределом измерения 1 Н, скрепки.



Рис. 9.1

Цели исследования:

- а) Исследование движения сложных систем на основе законов динамики.
- б) Приведение гипотезы к виду, удобному для экспериментальной проверки.
- в) Подготовка к ЕГЭ.

II. Явления, процессы, физические величины

Пусть через блок перекинута нить, на концах которой закреплены грузы

одинаковой массы (рис. 9.2). Масса блока и нити мала по сравнению с массой грузов, сила трения в оси блока много меньше силы тяжести, действующей на грузы. В поле сил тяжести такая система остается в равновесии. Если к одному из грузов добавить дополнительный груз, система начнет двигаться с ускорением.

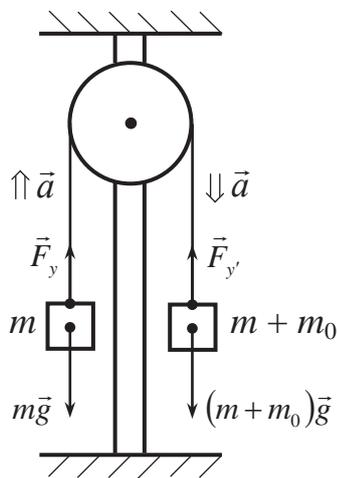


Рис. 9.2

На тела действуют силы тяжести и упругости. Силы \vec{F}_y и $(\vec{F}_y)'$ одинаковы по модулю, т.к. массой блока можно пренебречь. Тогда второй закон Ньютона для каждого тела системы имеет вид:

$$ma = F_y - mg, \tag{9.1}$$

$$(m + m_0)a = (m + m_0)g - (F_y)'.$$

Считая нить нерастяжимой ($a = a_1 = a_2$), сложим правые и левые части равенств (9.1), получим:

$$a = g \frac{m_0}{2m + m_0},$$

где m_0 – масса дополнительного груза (перегрузка).

$$m_0 = n \cdot \Delta m,$$

где Δm – масса одной гайки, n – количество гаек.

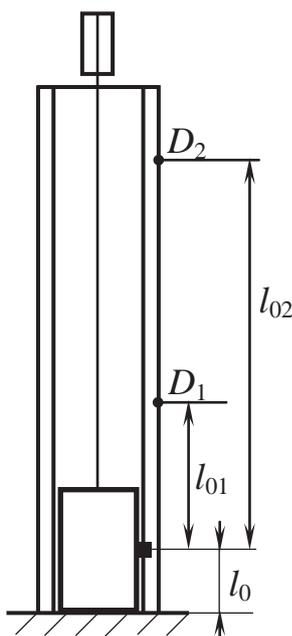


Рис. 9.3

При увеличении массы перегрузка ускорение системы тел увеличивается. Это сразу становится ясным, если вынести в знаменателе m_0 за скобки.

Какой кинематический способ измерения ускорения выбрать? Наиболее удобен свободный от систематических погрешностей способ, рассмотренный в работе 5. Напомним, что при использовании этого способа два геркона устанавливаются вдоль направляющей (рис. 9.3) и ускорение рассчитывается по формуле (см. работу 5):

$$a = 2 \frac{(\sqrt{l_{02}} - \sqrt{l_{01}})^2}{t_0^2}.$$

III. Возможный вариант выполнения исследования

Задание 1. Сравнение результатов кинематического и динамического способов измерения ускорения.

1. Сборка экспериментальной установки.

Соберите цифровой измерительный комплекс в соответствии с п. 3.1 раздела 1.

Соберите экспериментальную установку в соответствии с рис. 9.4а.

Соедините груз и каретку прочной нитью (рис. 9.4б). Зафиксируйте блок скрепкой (рис. 9.4в). Прицепите к грузу одну гайку (рис. 9.4в).

Любые два из 4-х герконов установите на расстояниях, соответственно, $l_1 = 10-15$ см и $l_2 = 40-42$ см от верхней кромки направляющей. Подберите «удобные» значения l_1 и l_2 .



а)



б)



в)

Рис. 9.4

Таблица 9.1

Положение магнита каретки в момент пуска $l_0, 10^{-3}$ м	
Положение геркона по шкале направляющей, 10^{-3} м	l_1
	l_2
$l_{01} = l_1 - l_0, 10^{-3}$ м	
$l_{02} = l_2 - l_0, 10^{-3}$ м	

Таблица 9.2

Время движения системы связанных тел, с
(Масса перегрузка $m_0 = 1 \cdot \Delta m$)

№ пуска	$\tau_2, \text{с}$	$\tau_1, \text{с}$	$t_0 = \tau_2 - \tau_1, \text{с}$	$t_{0 \text{ ср.}}, \text{с}$	Средняя квадратичная погрешность, с	Граница случайной погрешности, с
1						
2						
3						
4						
5						

Таблица 9.3

$a_k, \text{м/с}^2$	$a_d, \text{м/с}^2$	$\varepsilon = \frac{ a_k - a_d }{a_d}$

2. Настройка оборудования и подготовка к измерениям.

2.1. Настройте измерительный комплекс по указаниям пп. 3.2 и 3.3 раздела 1.

2.2. Подготовьте таблицы 9.1 и 9.2 для записи результатов измерений и их обработки.

Проведение измерений.

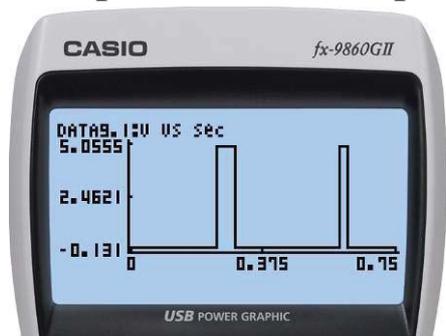


Рис. 9.5

3.1. Расположите каретку вплотную к торцу направляющей и заполните таблицу 9.1.

3.2. Вытащив из блока фиксирующую скрепку, проведите измерение (пуск 1) в соответствии с п. 4 раздела 1.

Общий вид возможной диаграммы импульсов представлен на рис. 9.5.

Внесите данные в столбец 1 таблицы 9.2.

3.3. Осуществите еще 4 пуска каретки и внесите данные в таблицу 9.2.

4. Обработка результатов измерений.

4.1. Рассчитайте погрешности измерения времени в таблице 9.2 в соответствии с п. 7 раздела 1.

4.2. Рассчитайте ускорение каретки по кинематической формуле

$$a_k = 2 \frac{(\sqrt{l_{02}} - \sqrt{l_{01}})^2}{t_0^2}.$$

4.3. Рассчитайте ускорение каретки по формуле

$$a_d = g \frac{m_0}{2m + m_0}.$$

4.4. Результаты пп. 4.2 и 4.3 занесите в таблицу 9.3. Сравните два значения ускорения и сделайте вывод.

Задание 2. Исследование зависимости ускорения от массы перегрузка.

Из формулы

$$a_d = g \frac{m_0}{2m + m_0} \quad (9.2)$$

видно, что при изменении массы перегрузка m_0 ускорение увеличивается. Прямое исследование этой зависимости довольно утомительно, так как необходимо каждый раз рассчитывать ускорение по формуле

$$a_k = 2 \frac{(\sqrt{l_{02}} - \sqrt{l_{01}})^2}{t_0^2} = 2 \frac{C}{t_0^2}, \quad (9.3)$$

где $C = (\sqrt{l_{02}} - \sqrt{l_{01}})^2$.

Целесообразно найти зависимость между $\frac{m_0}{2m + m_0}$ и t_0^2 . Для этого

приравняем правые части формул (9.2) и (9.3): $2 \frac{C}{t_0^2} = g \frac{m_0}{2m + m_0}$.

Получим: $t_0^2 = \frac{2C}{g} \cdot \frac{2m + m_0}{m_0}$.

Обозначим $\frac{2m + m_0}{m_0}$ через X .

Тогда

$$t_0^2 = \frac{2C}{g} \cdot X.$$

Следовательно, в данном задании необходимо убедиться, что квадрат времени движения каретки между двумя герконами прямо пропорционален величине $X = \frac{2m + m_0}{m_0}$.

1. Сборка экспериментальной установки.

Для проведения измерений используется экспериментальная установка из задания 1.

2. Настройка оборудования и подготовка к измерениям.

2.1. Настройка измерительного комплекса при переходе от задания 1 к заданию 2 не меняется.

2.2. Подготовьте таблицы 9.4, 9.5, 9.6, 9.7, 9.8, 9.9 для записи результатов измерений и их обработки.

3. Проведение измерений.

3.1. Расположите каретку вплотную к верхней кромке направляющей. Заполните таблицу 9.4.

3.2. Результаты, полученные в задании 1, занесите в строку 1 таблицы 9.9.

3.3. Проведите оставшиеся 4 измерения по аналогии с п. 3 задания 1. Заполните таблицы 9.5–9.8.

3.4. Заполните таблицу 9.9.

Таблица 9.4

l_{01} , м	l_{02} , м	C , м	Δm , г

Таблица 9.5

Время движения системы связанных тел, с
(Масса перегрузка $m_0 = 2 \cdot \Delta m$)

№ пуска	τ_2 , с	τ_1 , с	$t_0 = \tau_2 - \tau_1$, с	$t_{0 \text{ ср.}}$, с	Средняя квадратичная погрешность, с	Граница случайной погрешности, с
1						
2						
3						
4						
5						

Таблица 9.6

Время движения системы связанных тел, с
(Масса перегрузка $m_0 = 3 \cdot \Delta m$)

№ пуска	$\tau_2,$ с	$\tau_1,$ с	$t_0 = \tau_2 - \tau_1,$ с	$t_{0 \text{ ср.}},$ с	Средняя квадратичная погрешность, с	Граница случайной погрешности, с
1						
2						
3						
4						
5						

Таблица 9.7

Время движения системы связанных тел, с
(Масса перегрузка $m_0 = 4 \cdot \Delta m$)

№ пуска	$\tau_2,$ с	$\tau_1,$ с	$t_0 = \tau_2 - \tau_1,$ с	$t_{0 \text{ ср.}},$ с	Средняя квадратичная погрешность, с	Граница случайной погрешности, с
1						
2						
3						
4						
5						

Таблица 9.8

Время движения системы связанных тел, с
(Масса перегрузка $m_0 = 5 \cdot \Delta m$)

№ пуска	$\tau_2,$ с	$\tau_1,$ с	$t_0 = \tau_2 - \tau_1,$ с	$t_{0 \text{ ср.}},$ с	Средняя квадратичная погрешность, с	Граница случайной погрешности, с
1						
2						
3						
4						
5						

Таблица 9.9

n	$m_0 = n \cdot \Delta m, \text{ г}$	$X = \frac{2m + m_0}{m_0}$	$t_{0 \text{ ср.}}, \text{ с}$	$(t_{0 \text{ ср.}})^2, \text{ с}^2$
1				
2				
3				
4				
5				

4. Обработка результатов измерений.

4.1. Постройте на миллиметровке график зависимости t_0^2 от X .

4.2. В режиме статистической обработки данных СТАТ калькулятора определите коэффициенты A и B в уравнении $t_0^2 = A + BX$. Результаты занесите в таблицу 9.10.

Таблица 9.10

A	B	$t_0^2 = A + BX$

4.3. Сделайте вывод о результатах экспериментальной проверки прямой пропорциональной зависимости между квадратом времени движения каретки и $X = \frac{2m + m_0}{m_0}$.

Подготовка к ЕГЭ. Выполните задания.

1. На концах нити, перекинутой через блок с неподвижной осью, прикреплены грузы массами 300 г и 200 г. С каким ускорением движутся грузы? $g = 10 \text{ м/с}^2$.

2. Через блок с неподвижной осью перекинута нить, к концам которой прикреплены грузы массами 2 кг и 8 кг. Найдите силу натяжения нити. $g = 10 \text{ м/с}^2$.

3. На концах нити, перекинутой через блок с неподвижной осью, подвешены тела массами по 0,49 кг каждое. Какова масса (в г) дополнительного груза, который надо положить на одно из тел, чтобы каждое из них прошло за 4 с путь 1,6 м? $g = 10 \text{ м/с}^2$.

4. Две гири массами 7 кг и 11 кг висят на концах нити, перекинутой через блок с неподвижной осью. Гири вначале находятся на одной высоте. Через сколько миллисекунд после начала движения легкая гиря окажется на 20 см выше тяжелой? $g = 10 \text{ м/с}^2$.

5. На длинной нити, перекинутой через блок, подвешены на одном уровне одинаковые грузы. От одного из грузов отделяется часть, масса которой равна $1/5$ массы груза, и через 1 с падает на землю. Через какое время после этого достигнет земли другой груз?

6. Блок подвешен к потолку с помощью троса. Через блок перекинута нить с двумя грузами. Чему равно отношение масс грузов, если во время их движения натяжение троса равно силе тяжести более тяжелого груза?

Работа 10

Исследование движения системы двух одинаковых связанных тел, одно из которых движется по наклонной плоскости, а другое – вертикально

I. Оборудование и цели исследования

Оборудование (рис. 10.1): цифровой анализатор данных *CLab*; графический калькулятор *fx-9860GII*; кабель для обмена данными между *CLab* и *fx-9860GII*; датчик положения, штатив, направляющая, блок, каретка, муфта, груз массой 100 г, динамометр с пределом измерения 1 Н, транспортир.

Цели исследования:

а) Освоение метода познания: экспериментальное подтверждение фундаментальных законов – проверка следствия.

б) Подтверждение теоретических предсказаний опытным путем.

в) Наблюдение изменения характера движения при изменении параметров системы связанных тел.

г) Подготовка к ЕГЭ.



Рис. 10.1

II. Явления, процессы, физические величины

Рассмотрим систему связанных тел (рис. 10.2а). Брусок массой m , расположенный на наклонной плоскости с углом α к горизонту, связан с грузом массой M . Нить перекинута через блок. Считаем нить нерастяжимой, а блок невесомым. На брусок действуют сила тяжести, сила реакции опоры, сила трения и сила натяжения нити. На груз действуют

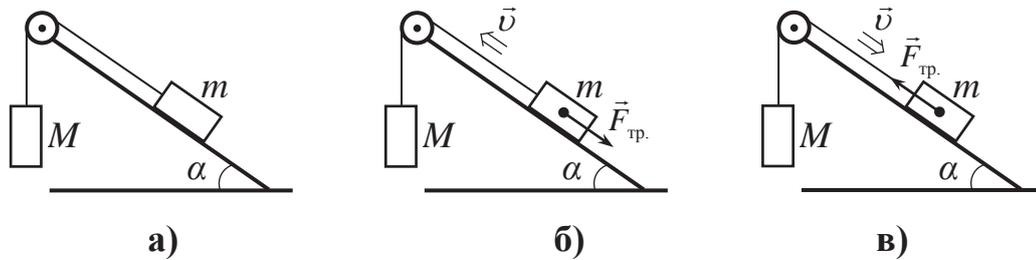


Рис. 10.2

сила тяжести и сила натяжения нити. При невесомых нити и блоке силы натяжения, действующие на груз и брусок, одинаковы по модулю.

Сила трения может быть силой трения покоя или силой трения скольжения.

Направление силы трения зависит от ее характера и направления движения тел.

Сила трения покоя всегда направлена в сторону, противоположную возможному перемещению тел. Например, на рис. 10.2а сила трения покоя может быть направлена как вверх, так и вниз в зависимости от соотношения масс m и M .

Сила трения скольжения всегда направлена в сторону, противоположную вектору скорости (рис. 10.2б, в).

Характер движения системы зависит от соотношения масс, коэффициента трения и угла наклона. При исследовании скольжения бруска по наклонной плоскости выяснено (см. работу 7), что коэффициент трения μ определяет критический угол α_0 наклона плоскости ($\text{tg } \alpha_0 = \mu$).

1. Наклонная плоскость расположена под углом $\alpha < \alpha_0$.

При любом соотношении масс m и M движение вниз по наклонной плоскости невозможно: $mg \cdot \sin \alpha$ «не может» сдвинуть брусок m , не говоря уже о грузе M . При определенном соотношении между m и M (при заданном коэффициенте трения) брусок m движется вверх по наклонной плоскости либо равномерно, либо ускоренно.

Уравнения второго закона Ньютона для тела m в проекции на ось x , а для тела M в проекции на ось y имеют вид (рис. 10.3):

$$F_H - \mu \cdot mg \cdot \cos \alpha - mg \cdot \sin \alpha = ma.$$

$$Mg - F_H' = Ma \quad (F_H = F_H').$$

Получим условие равномерного движения системы

$$F_H = F_H' = Mg \quad \text{при } a = 0.$$

Оно определяется соотношением

$$M \cdot g = \mu \cdot mg \cdot \cos \alpha + mg \cdot \sin \alpha$$

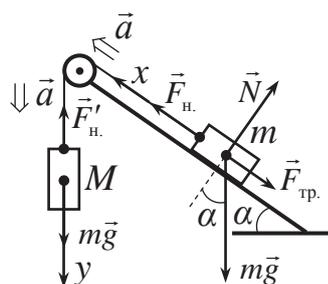


Рис. 10.3

или

$$M = m(\mu \cdot \cos \alpha + \sin \alpha). \quad (10.1)$$

Если равенство (10.1) не выполняется, то система движется с ускорением:

$$a = g \frac{M - m(\mu \cdot \cos \alpha + \sin \alpha)}{M + m}. \quad (10.2)$$

Итак, при $\alpha < \alpha_0$ ($\operatorname{tg} \alpha_0 = \mu$) возможны два состояния системы:

1а) Груз m поднимается *равномерно* вверх по наклонной плоскости, если выполняется соотношение (10.1);

1б) Груз m поднимается *равноускоренно* вверх по наклонной плоскости, если:

$$M > m(\mu \cdot \cos \alpha + \sin \alpha).$$

При этом ускорение определяется по формуле (10.2).

2. Наклонная плоскость расположена под углом $\alpha > \alpha_0$.

2а) При движении бруска m *вверх* по наклонной плоскости направления сил не изменяются, поэтому справедливы соотношения (10.1) и (10.2) и два уже рассмотренных типа движения: 1а) – равномерное и 1б) – равноускоренное.

2б) Пусть брусок m движется *вниз* по наклонной плоскости. Тогда сила трения направлена вверх вдоль наклонной плоскости (рис. 10.4).

В этом случае можно записать уравнения:

$$mg \cdot \sin \alpha - \mu \cdot mg \cdot \cos \alpha - F_{\text{тр}} = ma.$$

$$F_{\text{тр}}' - Mg = Ma.$$

Движение будет равномерным ($a = 0$, $F_{\text{тр}}' = F_{\text{тр}} = Mg$) при

$$M = m(\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha).$$

Если $M < m(\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha)$, то брусок m будет скользить вниз с ускорением

$$a = g \cdot \frac{m(\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha) - M}{M + m}. \quad (10.3)$$

3. Движение системы связанных тел при $m = M$.

Анализ формулы (10.3) показывает, что брусок не может скользить вниз по наклонной плоскости

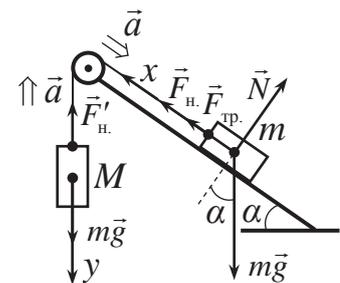


Рис. 10.4

равномерно. Для такого движения числитель дроби в формуле (10.3) должен равняться нулю. При $M = m$ это значит, что $(\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha) = 1$, что невозможно.

Тем более не выполняется соотношение $M < m(\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha)$, так как при $m = M$ выражение $(\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha)$ не может быть больше 1.

Таким образом, в исследовании будет рассматриваться ситуация, при которой каретка движется по направляющей вверх.

При этом надо использовать условие равномерного движения:

$$M = m(\mu \cdot \cos \alpha + \sin \alpha)$$

и условие равноускоренного движения:

$$a = g \frac{M - m(\mu \cdot \cos \alpha + \sin \alpha)}{M + m}.$$

В нашем исследовании $m = M$, поэтому можно сделать два вывода:

I. Каретка движется вверх равномерно, если

$$(\mu \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) = 1.$$

Отсюда можно найти угол равномерного подъема α_1 каретки по направляющей.

II. При $\alpha_2 < \alpha_1$ каретка будет подниматься с ускорением

$$a_{\text{д}} = g \cdot \frac{1 - (\mu \cdot \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2)}{2}.$$

Для расчета ускорения по результатам кинематических измерений используется свободный от систематических погрешностей метод (см. работу 5).

Ускорение рассчитывается по формуле (см. работу 5)

$$a = 2 \frac{(\sqrt{l_{02}} - \sqrt{l_{01}})^2}{t_0^2}.$$

III. Возможный вариант выполнения исследования

Задание 1. Оценка коэффициента трения на основе измерения критического угла α_0 .

1. Сборка экспериментальной установки.

Соберите экспериментальную установку в соответствии с рис. 7.4 (см. работу 7).

Таблица 10.1

№ опыта	α_0°	$\operatorname{tg} \alpha_0 = \mu$	$\mu_{\text{ср.}}$	Средняя квадратичная погрешность μ	Граница случайной погрешности $\Delta\mu$
1					
2					
3					
4					
5					

2. Подготовка к измерениям.

Подготовьте таблицу 10.1 для записи результатов измерений и их обработки.

3. Проведение измерений.

3.1. Постепенно увеличивая угол наклона, добейтесь равномерного скольжения каретки по направляющей (см. работу 7). Измерьте α_0 и запишите данные в первую ячейку первого столбца таблицы 10.1.

Верните направляющую в исходное состояние.

3.2. Выполните еще 4 опыта по измерению α_0 и внесите данные в таблицу 10.1.

4. Обработка результатов измерений.

4.1. Рассчитайте погрешности измерения μ в соответствии с п. 7 раздела 1 и внесите результаты в таблицу 10.1.

4.2. Запишите значение коэффициента трения в виде

$$\mu_{\text{ср.}} - \Delta\mu < \mu < \mu_{\text{ср.}} + \Delta\mu.$$

Задание 2. Измерение угла α_1 , при котором система двух одинаковых тел движется равномерно.

1. Сборка экспериментальной установки.

Соберите экспериментальную установку в соответствии с рис. 10.5, установив направляющую под углом, несколько меньше 90° . Направляющую закрепите в лапке; лапку в муфте штатива закрепите так, чтобы она свободно поворачивалась.

2. Подготовка к измерениям.

2.2. Подготовьте таблицу 10.2 для записи результатов измерений и их обработки.



Рис. 10.5

№ опыта	α_1°	$\alpha_{1 \text{ ср.}}^\circ$	Средняя квадратичная погрешность α_1°	Граница случайной погрешности $\Delta\alpha_1^\circ$
1				
2				
3				
4				
5				

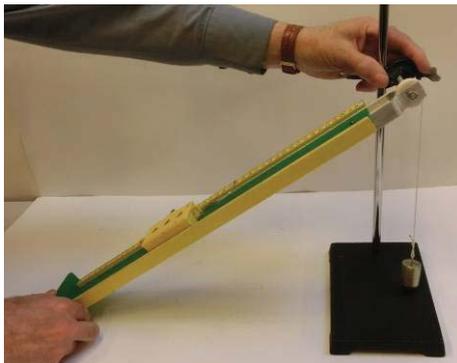


Рис. 10.6

3. Проведение измерений.

3.1. Постепенно уменьшая угол наклона (рис. 10.6), добейтесь равномерного скольжения каретки вверх по направляющей. Измерьте угол α_1 . Верните направляющую в исходное состояние.

Запишите данные в первую ячейку первого столбца таблицы 10.2.

3.2. Выполните еще 4 опыта по определению α_1 и внесите данные в таблицу 10.2.

4. Обработка результатов измерений.

4.1. Рассчитайте погрешности измерения α_1 в соответствии с п. 7 раздела 1 и внесите результаты в таблицу 10.2.

4.2. Запишите значение α_1 в виде $\alpha_{1 \text{ ср.}} - \Delta\alpha_1 < \alpha_1 < \alpha_{1 \text{ ср.}} + \Delta\alpha_1$.

4.3. Проверьте, выполняется ли условие: $(\mu \cdot \cos\alpha_1 + \sin\alpha_1) = 1$.

Для проверки можно вычислить нижнюю и верхнюю границы A_1 и A_2 выражения $(\mu \cdot \cos\alpha_1 + \sin\alpha_1)$.

С учетом свойств тригонометрических функций для нижней границы можно записать: $A_1 = (\mu_{\text{ср.}} - \Delta\mu) \cdot \cos(\alpha_{1 \text{ ср.}} + \Delta\alpha_1) + \sin(\alpha_{1 \text{ ср.}} - \Delta\alpha_1)$.

Аналогично находится верхняя граница:

$$A_2 = (\mu_{\text{ср.}} + \Delta\mu) \cdot \cos(\alpha_{1 \text{ ср.}} - \Delta\alpha_1) + \sin(\alpha_{1 \text{ ср.}} + \Delta\alpha_1).$$

Проверка условия равномерного движения *достоверна*, если выполняется неравенство: $A_1 < 1 < A_2$.

Задание 3. Сравнение предсказанного значения ускорения системы связанных тел с результатами измерений при $\alpha_2 < \alpha_1$.

1. Сборка экспериментальной установки.

Соберите цифровой измерительный комплекс в соответствии с п. 3.1 раздела 1.

Соберите экспериментальную установку в соответствии с рис. 10.1.

Таблица 10.3

Положение магнита каретки в момент пуска $l_0, 10^{-3}$ м		
Положение герконов по шкале направляющей, 10^{-3} м	l_1	
	l_2	
$l_{01} = l_1 - l_0, 10^{-3}$ м		
$l_{02} = l_2 - l_0, 10^{-3}$ м		
$A = \left(\sqrt{l_{02}} - \sqrt{l_{01}}\right)^2, 10^{-3}$ м		

Таблица 10.4

№ пуска	$\tau_2,$ с	$\tau_1,$ с	$t_0 = \tau_2 - \tau_1,$ с	$t_{0 \text{ ср.}},$ с	Средняя квадратичная погрешность, с	Граница случайной погрешности, с	$a_k,$ м/с ²
1							
2							
3							
4							
5							

Установите направляющую под углом α_2 на 10–15° меньше угла равномерного движения α_1 .

Любые два из 4-х герконов установите на расстояниях, соответственно, $l_1 = 10$ –15 см и $l_2 = 40$ –42 см от верхней кромки направляющей. Подберите «удобные» значения l_1 и l_2 .

2. Настройка оборудования и подготовка к измерениям.

2.1. Настройте измерительный комплекс по указаниям пп. 3.2 и 3.3 раздела 1.

2.2. Подготовьте таблицы 10.3, 10.4 для записи результатов измерений и их обработки.

3. Проведение измерений.

3.1. Расположите каретку вплотную к верхней кромке направляющей. Заполните таблицу 10.3.

3.2. Проведите измерение (пуск 1) в соответствии с п. 4 раздела 1.

Общий вид возможной диаграммы импульсов представлен на рис. 10.7.

Внесите данные в первую строку таблицы 10.4.

3.3. Осуществите еще 4 пуска каретки и внесите данные в таблицу 10.4.

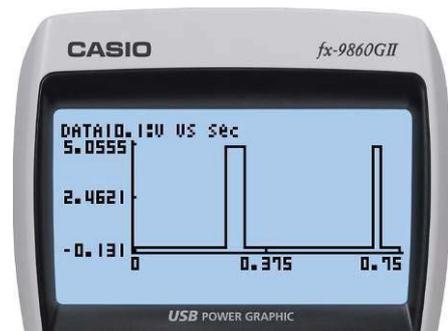


Рис. 10.7

Таблица 10.5

α_1°	α_2°	α_0°	μ	$\alpha_{\text{д}}, \text{м/с}^2$	$a_{\text{к}}, \text{м/с}^2$

4. Обработка результатов измерений.

4.1. Рассчитайте погрешности измерения времени в соответствии с п. 7 раздела 1 и внесите результаты в таблицу 10.4.

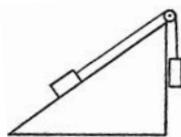
4.2. Рассчитайте ускорение движения каретки $a_{\text{к}}$ и внесите результат в таблицу 10.4.

4.3. Рассчитайте ускорение движения каретки $a_{\text{д}}$ и заполните таблицу 10.5.

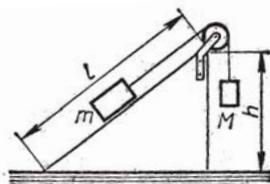
4.4. Оцените относительное отклонение между $a_{\text{к}}$ и $a_{\text{д}}$, сделайте вывод.

Подготовка к ЕГЭ. Выполните задания.

1. Грузы массами 5 кг и 2 кг связаны нитью, перекинутой через блок. Первый груз находится на наклонной плоскости с углом наклона 36° . Второй груз висит на нити (см. рис.). Система приходит в движение так, что первый груз движется вниз по наклонной плоскости, при этом коэффициент трения скольжения груза о плоскость 0,1. Найдите натяжение нити. Массу блока и трение в нем не учитывайте.



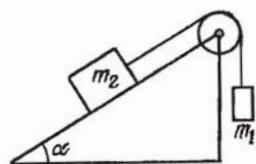
2. Какова сила трения, действующая на брусок массой m (см. рис.), с каким ускорением движутся грузы и какова сила натяжения нити, если $h = 60$ см, $l = 1$ м, $m = 0,5$ кг, $\mu = 0,25$?



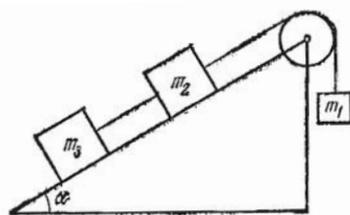
Решить задачу при следующих значениях массы M :

а) 0,1 кг; б) 0,25 кг; в) 0,3 кг; г) 0,35 кг; д) 0,5 кг.

3. Два тела с массами $m_1 = 10$ г и $m_2 = 15$ г связаны нитью, перекинутой через блок, установленный на наклонной плоскости (см. рис.). Плоскость образует с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$. Найти ускорения, с которыми будут двигаться эти тела.



4. Три тела с массами m_1 , m_2 и m_3 связаны нитью, перекинутой через блок, установленный на наклонной плоскости (см. рис.). Плоскость образует с горизонтом угол α . Начальные скорости грузов равны нулю. Найти силу натяжения T нити, связывающей грузы, находящиеся на наклонной плоскости. Коэффициент трения между грузами и плоскостью равен k .



Работа 11

Исследование движения системы двух связанных тел,
одно из которых движется горизонтально, а другое – вертикально

I. Оборудование и цели исследования

Оборудование (рис. 11.1): цифровой анализатор данных *CLab*; графический калькулятор *fx-9860GII*; кабель для обмена данными между *CLab* и *fx-9860GII*; датчик положения, направляющая, блок, каретка, груз массой 100 г, прочная нить, динамометр с пределом измерения 1 Н.



Рис. 11.1

Цели исследования:

- Планирование исследования по заданной цели.
- Закрепление умений по исследованию движения системы двух связанных тел.
- Подготовка к ЕГЭ.

II. Явления, процессы, физические величины

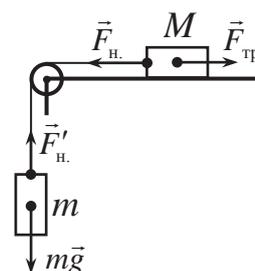
Опираясь на рис.11.2, можно применить законы динамики для исследования движения системы связанных тел и составить систему уравнений:

$$F_{\text{н.}} - F_{\text{тр.}} = Ma,$$

$$mg - F_{\text{н.}} = ma,$$

$$F_{\text{тр.}} = \mu \cdot Mg,$$

(11.1)



где $F_{\text{н.}}$ – модуль сил $\vec{F}_{\text{н.}}$ и $(\vec{F}_{\text{н.}})'$.

Рис. 11.2

III. Возможный вариант выполнения исследования

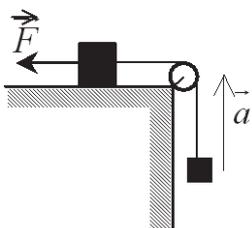
Подумайте, какую проблему, основанную на применении системы уравнений (11.1), можно исследовать.

После выдвижения проблемы разработайте способ ее экспериментального решения с использованием имеющегося у вас оборудования.

Возможный вариант экспериментальной установки приведен на рис. 11.1.

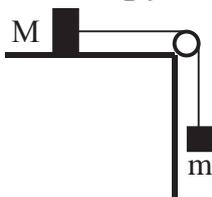
Подготовка к ЕГЭ. Выполните задания.

1. Груз, лежащий на столе, связан легкой нерастяжимой нитью, переброшенной через идеальный блок, с грузом массой $0,25$ кг. На первый груз действует горизонтальная постоянная сила $F = 9$ Н (см. рис.). Второй груз начал двигаться с ускорением 2 м/с², направленным вверх. Трением между грузом и поверхностью стола пренебречь. Какова масса первого груза?



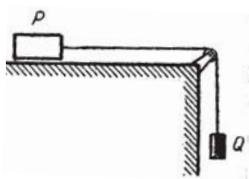
- 1) 1,0 кг 2) 1,5 кг 3) 2,5 кг 4) 3,0 кг

2. Брусок массой $M = 300$ г соединен с грузом массой $m = 200$ г невесомой и нерастяжимой нитью, перекинутой через невесомый блок (см. рис.). Брусок скользит без трения по горизонтальной поверхности. Чему равна сила натяжения нити?



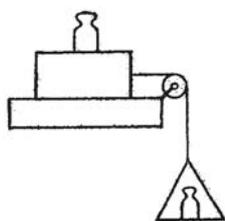
- 1) 4 Н 2) 1,5 Н 3) 1,2 Н 4) 1 Н

3. Грузы, изображенные на рис., соединены невесомой нитью, переброшенной через невесомый блок. На верхний груз действует сила тяжести $P = 100$ Н. Какая сила тяжести должна действовать на нижний груз, чтобы сила, движущая верхний груз, была равна 90 Н? (Трение отсутствует.)



4. Решить предыдущую задачу в случае, когда между грузом и горизонтальной плоскостью имеется трение. Коэффициент трения равен $0,2$.

5. На брусок массой $m_1 = 0,18$ кг поставлена гиря массой $m_2 = 2$ кг (см. рис.). С помощью нити, перекинутой через блок, брусок с гирей скользит с постоянной скоростью по доске, когда на чашку массой $m_3 = 0,18$ кг положена гиря массой $m_4 = 0,5$ кг. Найти коэффициент трения k между бруском и доской.



§ 3. Применение законов сохранения к движению тел под действием нескольких сил

Работа 12

Сравнение импульса силы с изменением импульса тела

I. Оборудование и цели исследования

Оборудование (рис. 12.1): цифровой анализатор данных *CLab*; графический калькулятор *fx-9860GII*; кабель для обмена данными между *CLab* и *fx-9860GII*; датчик положения, штатив, направляющая, каретка, муфта, стержень, динамометр с пределом измерения 1 Н, транспортёр.

Цели исследования:

а) Анализ изменения импульса тела при его равноускоренном движении под действием постоянной силы.

б) Подтверждение достоверности экспериментальных фактов на основе метода познания.

в) Подготовка к ЕГЭ.



Рис. 12.1

II. Явления, процессы, физические величины

В соответствии со вторым законом Ньютона изменение импульса тела равно импульсу действующей силы:

$$\vec{F}t = \vec{P}_2 - \vec{P}_1.$$

Для нахождения импульса тела необходимо знать его мгновенную скорость. Измерение малых промежутков времени Δt , за которые тело совершает перемещения Δl , позволяет найти скорость, а затем рассчитать импульс.

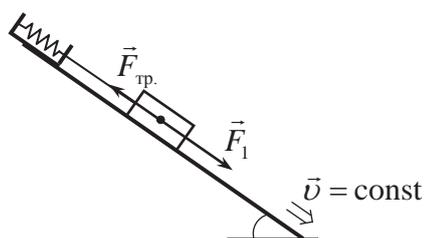


Рис. 12.2

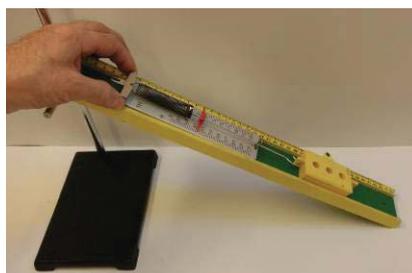


Рис. 12.3

Выполняя работы 7 и 10, вы научились измерять равнодействующую всех сил, действующих на скользящую вниз по наклонной плоскости каретку (рис. 12.2, 12.3).

III. Возможный вариант выполнения исследования

В данном исследовании за начало отсчета расстояний принимается произвольная точка «0» на направляющей (рис. 12.4). В этой точке скорость каретки равна v_0 . Тогда в точке «1» на расстоянии l_1 в момент времени t_1 скорость каретки равна v_1 . Для измерения скоростей в разных точках направляющей точка «1» перемещается по направляющей относительно точки «0».

Цифровой измерительный комплекс позволяет за один пуск каретки измерить скорости v_0 и v_1 и промежуток времени t_1 , за который каретка перемещается из точки «0» в точку «1».

Для этого четыре геркона D_1, D_2, D_3, D_4 устанавливаются попарно вблизи точек «0» и «1» так, чтобы эти точки оказались внутри интервалов $l_0 = 30$ мм. Точки «0» и «1» определяют, соответственно, положение пар герконов D_1 и D_2, D_3 и D_4 на направляющей.

Экспериментальные данные позволяют найти v_0, v_1 и t_1 .

Действительно,

$$v_0 = \frac{l_0}{t_{12}}, \quad v_1 = \frac{l_0}{t_{34}}, \quad t_1 = T_1 - T_0,$$

где $t_{12} = \tau_2 - \tau_1$; $t_{34} = \tau_4 - \tau_3$; $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ – середины импульсов; T_0, T_1 – середины интервалов между импульсами (рис. 12.5).

Задание 1. Измерение мгновенных скоростей и изменения импульса каретки.

1. Сборка экспериментальной установки.

Соберите цифровой измерительный комплекс в соответствии с п. 3.1 раздела 1.

Соберите экспериментальную установку в соответствии с рис. 12.1.

Установите 4 геркона попарно на расстоянии 10–12 и 40–42 см от верхней кромки направляющей.

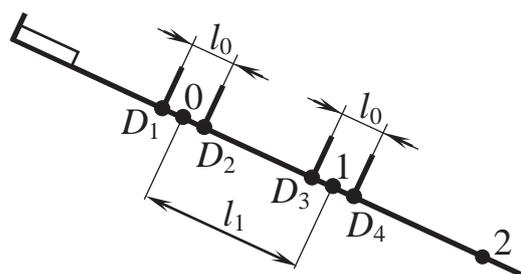


Рис. 12.4

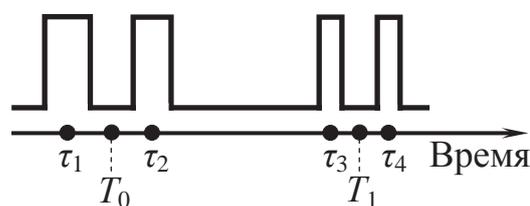


Рис. 12.5

Таблица 12.1

Результаты прямых измерений
времени, с

№ пуска	τ_1	T_0	τ_2	τ_3	T_1	τ_4
1						
2						
3						
4						
5						

Таблица 12.2

Время движения каретки, с

№ пуска	t_{12}	t_{34}	t
1			
2			
3			
4			
5			
Среднее			

Таблица 12.3

v_0 , м/с	v_1 , м/с	p_0 , кг·м/с	p_1 , кг·м/с	$\Delta p = p_1 - p_0$, кг·м/с

2. Настройка оборудования и подготовка к измерениям.

2.1. Настройте измерительный комплекс по указаниям пп. 3.2 и 3.3 раздела 1.

2.2. Подготовьте таблицы 12.1, 12.2 для записи результатов измерений и их обработки.

3. Проведение измерений.

3.1. Проведите измерение (пуск 1) в соответствии с п. 4 раздела 1.

Общий вид возможной диаграммы импульсов представлен на рис. 12.6.

Внесите данные в строку 1 таблицы 12.1 в соответствии с п. 6.1 раздела 1.

3.2. Осуществите еще 4 пуска каретки и заполните таблицу 12.1.

4. Обработка результатов измерений.

4.1. Заполните таблицу 12.2.

4.2. Заполните таблицу 12.3. Масса каретки (100 ± 2) г.

Задание 2. Измерение импульса равнодействующей силы.

1. Измерьте равнодействующую силу динамометром (см. работы 7, 10) и рассчитайте ее импульс. Заполните таблицу 12.4.

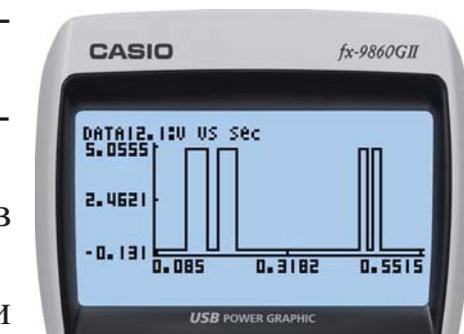


Рис. 12.6

Таблица 12.4

Равнодействующая F , Н	
Время действия силы t , с	
Импульс равнодействующей Ft , Н·с	

2. Сравните изменение импульса каретки с импульсом равнодействующей силы, рассчитав отклонение между ними $\varepsilon = \frac{|\Delta p - Ft|}{Ft}$. Сделайте вывод.

Подготовка к ЕГЭ. Выполните задания.

1. Шарики массами 1 кг и 2 кг движутся параллельно друг другу в одном направлении со скоростями 4 м/с и 6 м/с соответственно. Чему равен суммарный импульс этих двух шариков?

2. Два одинаковых шарика массами 2 кг движутся навстречу друг другу. Скорость одного шарика 3 м/с, другого 7 м/с. Найдите величину суммарного импульса двух шариков.

3. Два одинаковых шарика массами 3 кг движутся во взаимно перпендикулярных направлениях со скоростями 3 м/с и 4 м/с. Чему равна величина полного импульса этой системы?

4. Шарик массой 0,1 кг упал на горизонтальную площадку, имея в момент падения скорость 10 м/с. Найдите изменение импульса шарика при абсолютно неупругом ударе. В ответе укажите модуль полученной величины.

5. Пуля массой 10 г пробила стенку, при этом ее скорость уменьшилась от 800 м/с до 400 м/с. Найдите изменение импульса пули. В ответе укажите модуль полученной величины.

6. Шарик массой 0,2 кг свободно упал на горизонтальную площадку, имея в момент падения скорость 15 м/с. Найдите изменение импульса шарика при абсолютно упругом ударе. В ответе укажите модуль полученной величины.

7. Тело массой 1 кг равномерно вращается по окружности радиусом 1 м с угловой скоростью 2 рад/с. Найдите модуль изменения импульса тела при повороте радиус-вектора, проведенного из центра окружности к телу на 180° .

8. Тело массой 2 кг двигалось по окружности, причем в некоторой точке оно имело скорость 4 м/с. Пройдя четверть окружности, тело приобрело скорость 3 м/с. Определите модуль изменения импульса тела.

9. Мячик массой 200 г летел со скоростью 25 м/с. После удара о стенку он отскочил под углом 120° к прежнему направлению со скоростью 15 м/с. Найдите модуль изменения импульса мячика при ударе.

10. Из орудия вылетел снаряд со скоростью 600 м/с. Определите массу снаряда, если средняя сила давления пороховых газов равна 2700 кН, и снаряд движется внутри ствола 0,002 с.

11. Молот массой 1000 кг падает с высоты 1,8 м на наковальню. Длительность удара 0,1 с. Удар неупругий. Определите среднее значение силы взаимодействия (в кН) молота и наковальни. $g = 10 \text{ м/с}^2$.

12. Металлический шарик массой 20 г, падающий со скоростью 5 м/с, ударяется упруго о стальную плиту и отскакивает от нее в противоположном направлении с такой же по модулю скоростью. Найдите среднюю силу взаимодействия шарика с плитой за время соударения, если оно длилось 0,01 с. Действием силы тяжести за время удара пренебречь.

13. Стальной шарик падает на горизонтальную поверхность стола с высоты 45 см и, отскочив, поднимается на высоту 20 см. Масса шарика 20 г. Какова средняя сила, с которой шарик действовал на стол при ударе, если соприкосновение шарика со столом длилось 10^{-4} с? Действием силы тяжести за время удара пренебречь. $g = 10 \text{ м/с}^2$.

14. Мячик массой 300 г летел со скоростью 20 м/с. После удара о стенку он отскочил под прямым углом к прежнему направлению движения со скоростью 15 м/с. Какова средняя сила взаимодействия мячика и стенки во время удара, если продолжительность удара 0,05 с ?

15. Мячик массой 0,5 кг отскакивает от пола, имея перед ударом скорость 10 м/с, направленную под углом 60° к вертикали. Найдите среднюю силу взаимодействия мяча с полом, если длительность удара 0,1 с. Удар считать абсолютно упругим. $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Работа 13

Сравнение работы равнодействующей силы с изменением кинетической энергии тела

I. Оборудование и цели исследования

Оборудование (рис. 13.1): цифровой анализатор данных *CLab*; графический калькулятор *fx-9860GII*; кабель для обмена данными между *CLab* и *fx-9860GII*; датчик положения, штатив, направляющая, каретка, муфта, лапка, динамометр с пределом измерения 1 Н, транспортер.

Цели исследования:

а) Анализ изменения кинетической энергии тела при его равноускоренном движении под действием постоянной силы.



Рис. 13.1

гипотеза: увеличение кинетической энергии равно работе равнодействующей силы. Докажем это.

Работа равнодействующей силы равна

$$A = FS = ma \cdot s.$$

Учтем, что $a = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2s}$. Тогда

$$A = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}.$$

Как измерить равнодействующую при скольжении каретки вниз по наклонной плоскости?

Для нахождения кинетической энергии тела необходимо знать его мгновенную скорость. Измерение малых промежутков времени Δt , за которые тело совершает перемещения Δl , позволяет найти скорость, а затем рассчитать импульс.

Выполняя работы 7 и 10, вы научились измерять равнодействующую всех сил, действующих на скользящую вниз по наклонной плоскости каретку (рис. 13.2, 13.3).

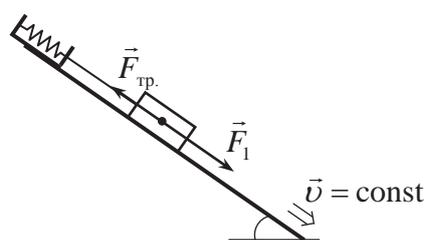


Рис. 13.2

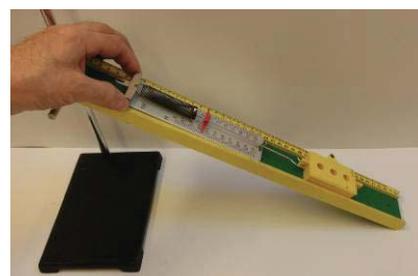


Рис. 13.3

б) Подтверждение достоверности экспериментальных фактов на основе метода познания.

в) Освоение методов подтверждения достоверности экспериментальных фактов.

II. Явления, процессы, физические величины

Скорость каретки, скользящей равноускоренно по наклонной плоскости, увеличивается. При этом в процессе совершения работы возрастает ее кинетическая энергия. Вполне обоснованной является гипотеза: увеличение кинетической энергии равно работе равнодействующей силы.

III. Возможный вариант выполнения исследования

В данном исследовании за начало отсчета расстояний принимается произвольная точка «0» на направляющей (рис. 13.4). В этой точке скорость каретки равна v_0 . Тогда в точке «1» на расстоянии l_1 в момент времени t_1 скорость каретки равна v_1 . Для измерения скоростей в разных точках направляющей точка «1» перемещается по направляющей относительно точки «0».

Цифровой измерительный комплекс позволяет за один пуск каретки измерить скорости v_0 и v_1 и промежуток времени t_1 , за который каретка перемещается из точки «0» в точку «1».

Для этого четыре геркона D_1, D_2, D_3, D_4 устанавливаются попарно вблизи точек «0» и «1» так, чтобы эти точки оказались внутри интервалов $l_0 = 30$ мм. Точки «0» и «1» определяют, соответственно, положение пар герконов D_1 и D_2, D_3 и D_4 на направляющей.

Экспериментальные данные позволяют найти v_0, v_1 и t_1 .

Действительно,

$$v_0 = \frac{l_0}{t_{12}}, \quad v_1 = \frac{l_0}{t_{34}}, \quad t_1 = T_1 - T_0,$$

где $t_{12} = \tau_2 - \tau_1; t_{34} = \tau_4 - \tau_3; \tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ – середины импульсов; T_0, T_1 – середины интервалов между импульсами (рис. 13.5).

Задание 1. Измерение мгновенных скоростей и расчет изменения кинетической энергии каретки.

1. Сборка измерительной установки.

Соберите цифровой измерительный комплекс в соответствии с п. 3.1 раздела 1.

Соберите экспериментальную установку в соответствии с рис. 13.1.

Установите 4 геркона попарно на расстоянии 10–12 см и 40–42 см от верхней кромки направляющей (рис. 13.6).

2. Настройка оборудования и подготовка к измерениям.

2.1. Настройте измерительный комплекс по указаниям пп. 3.2 и 3.3 раздела 1.

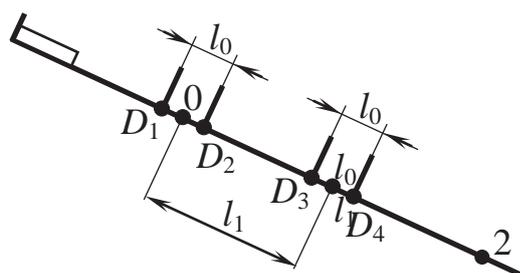


Рис. 13.4

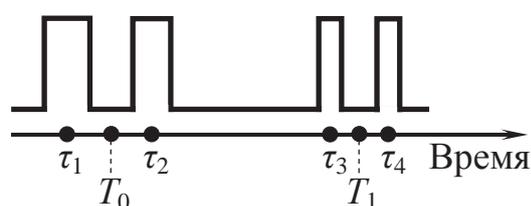


Рис. 13.5

Таблица 13.1

Результаты прямых измерений
времени, с

№ пуска	τ_1	T_0	τ_2	τ_3	T_1	τ_4
1						
2						
3						
4						
5						

Таблица 13.2

Время движения каретки, с

№ пуска	t_{12}	t_{34}	t
1			
2			
3			
4			
5			
Среднее			

Таблица 13.3

v_0 , м/с	v_1 , м/с	$E_{к.0}$, Дж	$E_{к.1}$, Дж	$\Delta E = E_{к.1} - E_{к.0}$, Дж

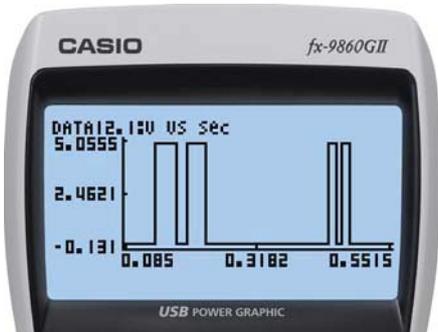


Рис. 13.6

2.2. Подготовьте таблицы 13.1, 13.2 для записи результатов измерений и их обработки.

3. Проведение измерений.

3.1. Проведите измерение (пуск 1) в соответствии с п. 4 раздела 1.

Общий вид возможной диаграммы импульсов представлен на рис. 13.6.

Внесите данные в строку 1 таблицы 13.1 в соответствии с п. 6.1 раздела 1.

3.2. Осуществите еще 4 пуска каретки и заполните таблицу 13.1.

4. Обработка результатов измерений.

4.1. Заполните таблицу 13.2.

4.2. Заполните таблицу 13.3. Масса каретки (100 ± 2) г.

Задание 2. Измерение работы равнодействующей.

1. Измерьте равнодействующую силу динамометром (см. работы 7, 10) и рассчитайте ее работу. Заполните таблицу 13.4.

2) Сравните изменение кинетической энергии каретки с работой равнодействующей силы, рассчитав $\varepsilon = \frac{|\Delta E - A|}{A}$. Сделайте вывод.

Таблица 13.4

Равнодействующая F , Н	
Путь, пройденный кареткой (расстояние между герконами), м	
Работа равнодействующей силы A , Дж	

Работа 14

Исследование преобразования энергии при свободном падении

I. Оборудование и цели исследования

Оборудование (рис. 14.1): цифровой анализатор данных *CLab*; графический калькулятор *fx-9860GII*; кабель для обмена данными между *CLab* и *fx-9860GII*; датчик положения, штатив, направляющая, каретка, муфта, лапка.

Цели исследования:

- Планирование исследования по заданной цели.
- Освоение технологии экспериментального исследования фундаментальных законов.
- Закрепление умений по исследованию преобразования энергии при свободном падении тела.



Рис. 14.1

II. Явления, процессы, физические величины

При свободном падении тела закон сохранения энергии имеет вид:

$$\frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 = \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2.$$

Следовательно, для экспериментальной проверки закона сохранения энергии необходимо измерить скорость движения каретки на высотах h_2 и h_1 . Значение потенциальной энергии зависит от нулевого уровня отсчета высоты. Поэтому удобнее проводить сравнение изменений потенциальной энергии

$$\Delta E_{\text{п.}} = mg(h_2 - h_1)$$

и кинетической энергии

$$\Delta E_{\text{к.}} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}.$$

При этом надо учесть, что в нашем исследовании $h_1 > h_2$. Поэтому изменение потенциальной энергии при падении каретки отрицательно, следовательно, с изменением кинетической энергии необходимо сравнивать модуль изменения потенциальной энергии.

III. Возможный вариант выполнения исследования

Спланируйте и проведите исследование преобразований механической энергии при скольжении каретки по наклонной плоскости.

Раздел 3

РАЗРАБОТКИ УЧАСТНИКОВ МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ПРОЕКТА «ШКОЛЬНЫЙ КАЛЬКУЛЯТОР»

*Л. П. Мошейко, Хабаровский краевой институт развития образования,
Р. А. Видинеева, гимназия № 4
восточных языков г. Хабаровска*

Работа 15

Изучение равноускоренного движения тела по наклонной плоскости

I. Оборудование и цель исследования

Оборудование (рис. 15. 1): цифровой анализатор данных EA200; графический калькулятор fx-9860G; кабель для обмена данными между EA-200 и fx-9860G; датчик движения EA-2 (радар), штатив с муфтой и лапкой, трибометр, тележка, набор грузов по механике.



Рис. 15.1

Цель исследования:
Исследование графиков зависимости пройденного пути, скорости и ускорения тела, движущегося по наклонной плоскости, от времени.

II. Явления, процессы, физические величины

Тело движется по наклонной плоскости под действием силы тяжести, силы реакции опоры и силы трения. В данном исследовании тележка на колесиках скатывается с наклонной плоскости, поэтому, силой трения качения можно пренебречь, так как она намного меньше силы трения скольжения.

При равноускоренном движении скорость зависит от времени движения линейно

$$v = v_0 + at.$$

Зависимость пути от времени движения является квадратичной

$$s = v_0t + \frac{at^2}{2}.$$

Если начальная скорость равна нулю, то формулы скорости и пройденного пути принимают вид:

$$v = at; s = \frac{at^2}{2}.$$

III. Возможный вариант выполнения исследования

Для исследования зависимости пройденного пути, скорости и ускорения тележки от времени в данной работе применяется цифровой измерительный комплекс *EA-200 – fx-9860G* с датчиком движения *EA-2* (радаром).

Трибометр укрепляется в лапке штатива (рис. 15.1), а над ним на штативе крепится датчик движения *EA-2*. Стационарно установленный *EA-2* фиксирует только объект, находящийся на одной с ним прямой. Отклоняющийся от нее движущийся объект датчик теряет из вида.

Управление анализатором *EA-200* осуществляется графическим калькулятором *fx-9860G* в режиме E-CON2 посредством возможности программирования. Необходимая для настройки *EA-200* на проведение измерений программа содержится в его инструкции.

Опыт рекомендуется выполнять не менее 4–5 раз, сначала запуская комплекс на измерения, а затем, как можно быстрее – тележку.

После проведения эксперимента на экране калькулятора автоматически строится график зависимости пути от времени движения тележки. Одновременное построение графиков зависимости пути, скорости и ускорения от времени и анализ экспериментальных данных осуществляются в режиме статистической обработки данных STAT.

В этом случае после вывода на дисплей графиков зависимости пройденного пути, скорости и ускорения от времени имеется возможность выбора для дальнейшего анализа наиболее удачных комплектов графиков $s(t)$, $v(t)$, $a(t)$.

Общий вид части статистической таблицы изображен на рис. 15.2. В первом столбце записываются моменты времени через каждые 0,02 с. Для каждого момента времени во втором столбце автоматически фиксируются соответствующие значения пройденного тележкой пути, в третьем – значения скорости, в четвертом – значения ускорения.

	List 1	List 2	List 3	List 4
1	0	0.2219	0.1863	-62.89
2	0.02	0.2256	-0.442	-62.89
3	0.04	0.2042	-0.642	42.862
4	0.06	0.1999	-0.107	10.715
5	0.08	0.1999	-9E-3	-0.931

GRAPH CALC TEST DATA DIST

Рис. 15.2

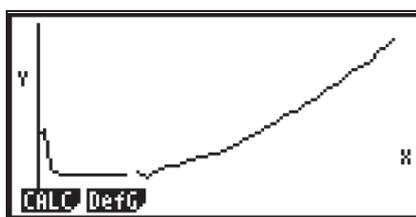


Рис. 15.3



Рис. 15.4

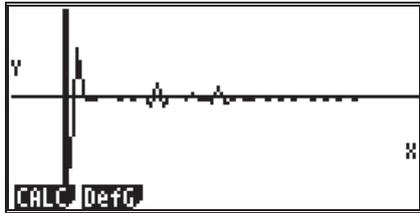


Рис. 15.5

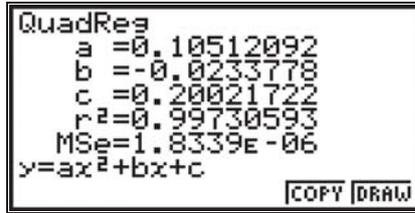


Рис. 15.6

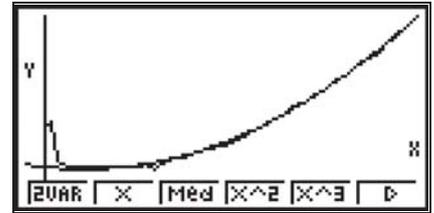


Рис. 15.7

Например, в опыте зафиксировано 50 измерений каждой величины. На их основе калькулятор строит графики зависимостей $s(t)$, $v(t)$ и $a(t)$. На рис. 15.3, 15.4 и 15.5 изображены не идеальные графики зависимости пути, скорости и ускорения от времени движения тележки, а такие, которые реально могут получить учащиеся при выполнении лабораторного практикума. Их и необходимо далее анализировать.

Убедиться в том, что полученный в первом случае график соответствует квадратичной зависимости s от t , поможет его сравнение с графиком квадратичной регрессии, построенным на основе скопированной формулы (рис. 15.6) в одном и том же окне (рис. 15.7).

Анализ графиков показывает, что через зафиксированные измерительным комплексом и отображенные на калькуляторе экспериментальные точки можно провести линию квадратичной зависимости $s(t)$. Исключение составляет участок со значениями скорости в интервале 0–0,02 с, полученный вследствие высокой чувствительности приборов, с которой не может сравниться реакция экспериментатора. Аналогичные «всплески-отклонения» именно в этот промежуток времени заметны на графиках скорости (рис. 15.4) и ускорения (рис. 15.5).

Аналогично на основе уравнения прямой (рис. 15.8) получается график линейной зависимости $v(t)$ (рис. 15.9). После его наложения на данные, полученные в опыте (рис. 15.4), видно, что линия графика, построенного на основе скопированной формулы линейной зависимости, проходит между экспериментальными точками (рис. 15.10). Исключение составляет лишь описанный выше участок, соответствующий начальному промежутку времени.

Анализ графика $a(t)$ показывает, что его отклонения от горизонтали, также обусловленные чувствительностью комплекса, незначительны лишь в начале графика. Далее линия графика, построенного на основе

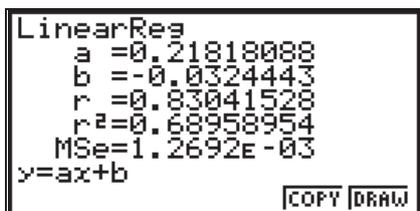


Рис. 15.8

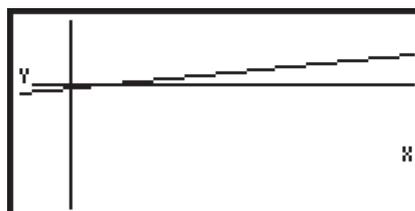


Рис. 15.9

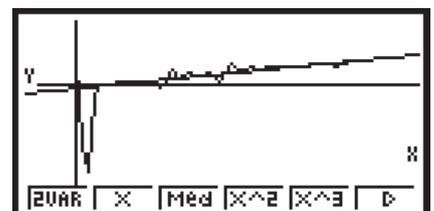


Рис. 15.10

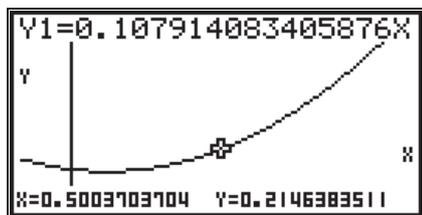


Рис. 15.11

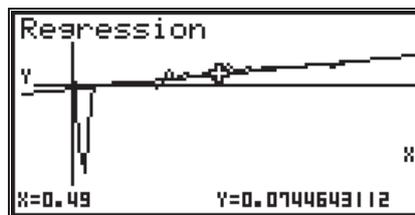


Рис. 15.12

скопированной формулы (горизонтальная линия), проходит между экспериментальными точками (рис. 15.5).

Квадратичный характер зависимости пути от времени, линейная зависимость скорости от времени и постоянство ускорения позволяют сделать вывод: исследуемое движение является равноускоренным.

Мгновенные значения координаты и скорости движущейся тележки в заданные моменты времени можно определить в режиме трассировки графиков Trace (рис. 15.11 и 15.12, соответственно) или через функцию Y-CAL подменю G-Solv. Момент времени по заданному значению пути или скорости можно определить функцией X-CAL подменю G-Solv. С помощью подменю Sketch через экспериментальные точки на графике зависимости скорости от времени можно провести прямую линию, а функция « $\int dx$ » подменю G-Solv позволяет получить на графике скорости значения пройденного пути за определенные промежутки времени.

В целом достоинствами цифрового измерительного комплекса являются возможность проведения большого количества измерений за короткий промежуток времени; высокая точность измерений; возможность цифрового алгоритмического сглаживания экспериментальных данных при обработке полученных результатов; широкий набор способов построения и исследования графиков в нескольких режимах; возможность проведения презентаций и обмена данными на уровне калькулятор – калькулятор, калькулятор – компьютер.

Дополнительные задания.

1. Определите ускорение тележки на одном из построенных вами графиков скорости в режиме трассировки Trace графического калькулятора. Рекомендуемый интервал времени 0,03–0,07 с.

2. Докажите, что движение тележки по наклонной плоскости является равноускоренным на примере одного из полученных вами экспериментальных графиков. Используйте функции подменю Sketch графического калькулятора. Опишите доказательство.

3. Повторите опыт, изменив дважды угол наклона плоскости к горизонту. Исследуйте влияние угла наклона плоскости к горизонту на характер зависимостей $s(t)$, $v(t)$ и $a(t)$. Опишите план и результаты самостоятельного мини-исследования.

4. Прodelайте опыт еще два раза при одном и том же угле наклона плоскости к горизонту, но изменив массу тележки. Исследуйте влияние массы тележки на характер зависимостей $s(t)$, $v(t)$ и $a(t)$. Опишите план и результаты самостоятельного мини-исследования.

5. Выясните влияние состояния поверхности наклонной плоскости на характер зависимостей $s(t)$, $v(t)$ и $a(t)$. Опишите план и результаты самостоятельного мини-исследования.

Работа 16

Измерение ускорения свободного падения

I. Оборудование и цель исследования

Оборудование: цифровой анализатор данных EA-200; графический калькулятор fx-9860G; кабель для обмена данными между EA-200 и fx - 9860G; датчик движения EA-2 (радар), штатив с муфтой и лапкой, шарик, нить, измерительная лента.

Цель исследования:

Определение ускорения свободного падения по графику зависимости от времени отклонения колеблющегося шарика от положения равновесия.

II. Явления, процессы, физические величины

Шарик, подвешенный на тонкой и нерастяжимой нити, совершает свободные колебания под действием силы тяжести и силы упругости нити.

Если диаметр шарика по сравнению с длиной нити очень мал, а угол отклонения нити от вертикали такой, что $\sin\alpha = \text{tg}\alpha = \alpha$, то период колебаний маятника можно определить по формуле

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Отсюда ускорение свободного падения равно

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}. \quad (16.1)$$

Анализ полученного выражения показывает, что для определения ускорения свободного падения опытным путем следует измерить длину маятника и из графика зависимости отклонения шарика от положения равновесия определить период его свободных колебаний.

III. Возможный вариант выполнения исследования

Перед проведением опыта следует подготовить цифровой комплекс к измерениям в режиме программирования PRGM (рис. 16.1). В целях экономии времени в калькулятор предварительно вводят специальную программу, которая прилагается к датчику движения EA-2 и состоит из шестнадцати шагов (таблица 16.1; рис. 16.2–4). Она сохраняется в памяти калькулятора до тех пор, пока у пользователя не возникнет желание ее удалить.

В данном случае длина маятника равна 86 см, и в программе задано 150 измерений в минуту (см. шаг 6). Если длина маятника 100 см и более, то при вводе программы вместо 150 можно задать 200 или 250 измерений в минуту.

После ввода программы в графический калькулятор необходимо подключить его специальным кабелем для обмена данными к порту MASTER (главный) анализатора EA-200 (при этом все приборы должны быть отключены от питания), затем подключить датчик движения EA-2

Таблица 16.1

Пошаговое содержание программы

№	Содержание шага	№	Содержание шага
1.	Cls←	9.	Reseive (List2)←
2.	{0}→List6←	10.	Max (List2) – List2→ List2←
3.	Send (List6)←	11.	S–Gph1 DrawOn←
4.	{1,4,2}→List6←	12.	S–Gph2 DrawOff←
5.	Send (List6)←	13.	S–Gph3 DrawOff←
6.	{3,.02,150,1}→List6←	14.	DrawStat←
7.	Send (List6)▲	15.	Text 2,10, "HEIGHT"←
8.	Reseive (List1)←	16.	Text 55,100, "TIME"←

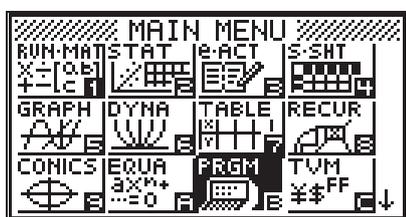


Рис. 16.1



Рис. 16.2



Рис. 16.3



Рис. 16.4

(радар) к каналу SONIC анализатора EA-200, вставить штекер сетевого адаптера АД-А60024 (прилагается к EA-2) в порт, расположенный слева в нижней части анализатора EA-200, а штепсельную вилку – в розетку электросети.

Анализатор EA-200 включается переключателем ON/OFF (индикатор POWER должен непрерывно светиться зеленым цветом). Для подготовки комплекса к приему данных необходимо нажать кнопку 1 калькулятора. После короткого звукового сигнала в правом верхнем углу его дисплея появится надпись Done -Disp-. В результате на лицевой панели анализатора EA-200 начнет непрерывно светиться зеленым цветом индикатор Ready, что означает его готовность к работе.

Маятник необходимо установить на краю стола таким образом, чтобы плоскость его качания всегда была перпендикулярна окну радара. В противном случае радар не будет «видеть» шарик.

Экспериментатор отводит шарик от положения равновесия на небольшой угол. Затем одновременно отпускает шарик, находящийся в одной руке, а второй рукой нажимает кнопку [START/STOP] на EA-200. После этого начинают мигать зеленым цветом индикаторы: на радаре EA-2 и на EA-200 – Sampling, что означает: выполняется операция измерения и преобразования данных в цифровую форму. После прекращения приема данных индикаторы гаснут. Для получения достоверного результата опыт рекомендуется провести не менее трех раз.

Для вывода на дисплей калькулятора графика зависимости $H(t)$ необходимо перейти в режим STAT и убедиться в том, что калькулятор записал все 150 измерений. Пример возможных трех последовательных измерений показан на рис. 16.5–8 (в первом измерении высота обозначена H_1 , во втором – H_2 , в третьем – H_3).

На основе данных опыта в режиме STAT предстоит построить график $H(t)$, примерный вид которого показан на рис. 16.9.

SUB	List11	List12	List13	List14
T	H1	H2	H3	
1	0	0.1986	2.9E-3	0.0156
2	0.02	0.1984	3.1E-3	0.0227
3	0.04	0.1986	6.7E-3	0.0262
4	0.06	0.1984	7.8E-3	0.0305
				0.06

Рис. 16.5

SUB	List11	List12	List13	List14
T	H1	H2	H3	
29	0.56	0.0622	0.1446	0.1011
30	0.58	0.046	0.1543	0.1023
31	0.6	0.0383	0.1613	0.1019
32	0.62	0.027	0.1671	0.1028
				0.62

Рис. 16.6

SUB	List11	List12	List13	List14
T	H1	H2	H3	
85	1.68	0.0842	0.0283	0.0136
86	1.7	0.0724	0.0264	0.0164
87	1.72	0.0582	0.0223	0.0197
88	1.74	0.0482	0.0156	0.0225
				1.74

Рис. 16.7

SUB	List11	List12	List13	List14
T	H1	H2	H3	
131	2.6	0.1973	0.183	0.1038
132	2.62	0.1973	0.1848	0.1036
133	2.64	0.1958	0.1891	0.1032
134	2.66	0.191	0.1899	0.1011
				2.66

Рис. 16.8

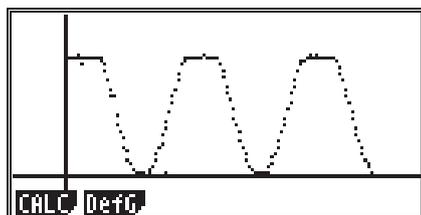


Рис. 16.9

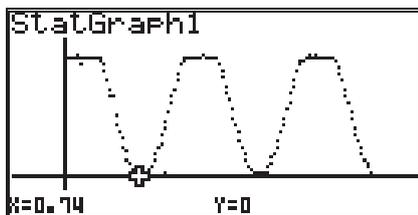


Рис. 16.10

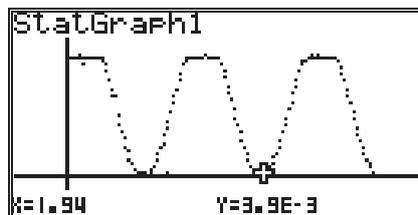


Рис. 16.11

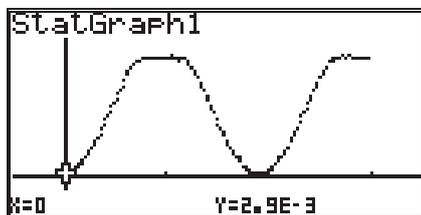


Рис. 16.12

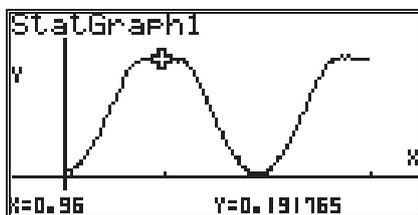


Рис. 16.13

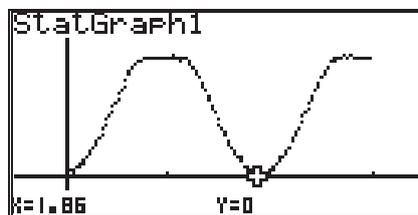


Рис. 16.14

Период колебаний маятника определяется в режиме Trace поиском промежутка времени, через который отклонение маятника от положения равновесия повторяется. Например, анализируя график, изображенный на рис. 16.10 и 16.11, можно выявить, что на нити длиной 0,35 м период колебаний шарика $T = 1,94 - 0,74 = 1,2$ (с). Ускорение свободного падения, полученное по формуле (16.1), равно примерно $9,6 \text{ м/с}^2$.

С увеличением длины маятника период колебаний увеличивается. Так, из анализа графика, изображенного на рис. 16.12–14 следует, что период колебаний шарика на нити длиной 0,86 м равен 1,86 с.

Вставка данных второго опыта в формулу (16.1) дает $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Сравнение результатов опытов показывает, что более достоверно значение ускорения свободного падения можно измерить при выполнении опыта с маятником большей длины.

Дополнительное задание.

Используя датчик движения EA-2 и цифровой измерительный комплекс EA-200 – fx-9860G, экспериментально подтвердите независимость периода свободных колебаний маятника (и ускорения свободного падения) от его массы.

Работа 17

Исследование изменения механической энергии при ударе

I. Оборудование и цель исследования

Оборудование: цифровой анализатор данных EA-200; графический калькулятор fx-9860G; кабель для обмена данными между EA-200 и fx-9860G; датчик движения EA-2 (радар), штатив с муфтой и лапкой, пластмассовый шар.

Цель исследования:

Графическое исследование изменения механической энергии тела при ударе.

II. Явления, процессы, физические величины

Тело, поднятое на определенную высоту, обладает потенциальной энергией. При свободном падении величина потенциальной энергии уменьшается, а кинетической энергии увеличивается. Если при свободном падении силой сопротивления воздуха можно пренебречь, то в соответствии с законом сохранения энергии в момент удара шара о стол кинетическая энергия шара равна его первоначальной потенциальной энергии.

Во время удара шар и стол деформируются. При этом кинетическая энергия относительного движения тел преобразуется в энергию деформации. Во время удара энергия перераспределяется между шаром и столом, поэтому скорость шара после удара не будет достигать своего прежнего значения. По этой причине шар после удара о стол не поднимется на ту высоту, с которой начинал свое движение. При повторном ударе о стол высота подскока шара будет еще меньше, чем в предыдущем случае и т.д.

III. Возможный вариант выполнения исследования

Для исследования графика зависимости высоты подъема шара от времени используется датчик движения *EA-2* (радар) и цифровой измерительный комплекс *EA-200 – fx-9860G*. Датчик движения *EA-2* необходимо установить над шаром так, чтобы он фиксировал расстояние до шара в любой момент времени (рис. 17.1).

Графический калькулятор *fx-9860G* управляет анализатором *EA-200* в режиме *E-CON2* посредством возможности программирования. Программа для работы с *EA-2* содержится в инструкции к этому датчику.



Рис. 17.1

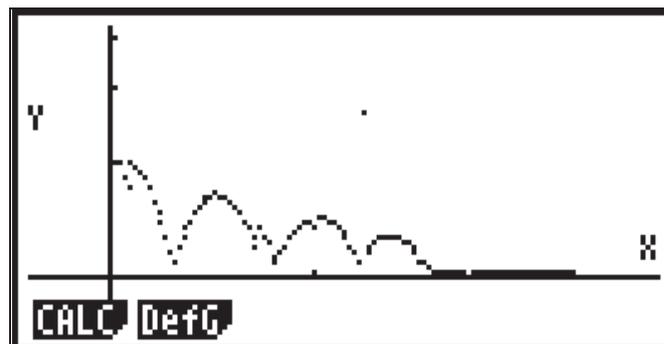


Рис. 17.2

График зависимости высоты подскока шара от времени изображен на рис. 17.2.

В режиме Trace графического калькулятора необходимо определить максимальное значение высоты подскока шара в каждом из случаев и вычислить значения потенциальных энергий E_1, E_2, E_3, E_4 .

По вычисленным отношениям энергий $\frac{E_1}{E_2}, \frac{E_2}{E_3}, \frac{E_3}{E_4}$ определяется коэффициент потери энергии при каждом ударе.

Дополнительное задание.

Определите коэффициент восстановления высоты подскока шара в каждом из опытов как отношение $\frac{H_2}{H_1}, \frac{H_3}{H_2}, \frac{H_4}{H_3}$. Сделайте вывод.

Работа 18

Изучение механических колебаний упругой пластины

I. Оборудование и цель исследования

Оборудование (рис. 18.1): цифровой анализатор данных или *EA-200*; графический калькулятор *fx-9860G* кабель для обмена данным и между *EA-200* и *fx-9860G*; датчик движения *EA-2* (радар), 2 штатива с муфтой и лапкой, набор упругих пластин (стальные или гибкие пластиковые линейки).

Цель исследования:

Проверка гипотезы: свободные колебания упругой пластины происходят по синусоидальному закону и являются затухающими.



Рис. 18.1

II. Возможный вариант выполнения исследования

Собирая установку, следует обязательно проследить, чтобы колеблющийся край пластины располагался напротив окна радара. Закрепив на край пластины небольшой кусочек пластилина, можно уменьшить период ее колебания.

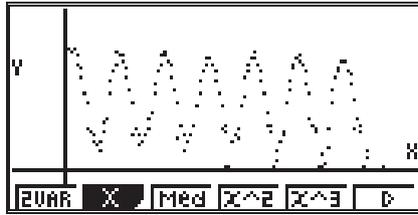


Рис. 18.2

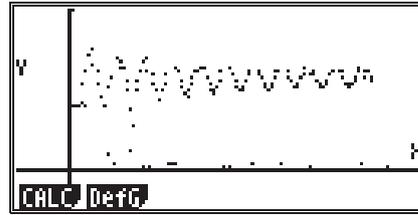


Рис. 18.3

Для выполнения данной работы необходимо воспользоваться программой из инструкции к *EA-2*.

Графики № 1 (рис. 18.2) и № 2 (рис. 18.3) получены в ходе нескольких экспериментов с двумя разными пластинами и построены на основании 150 измерений (рис. 18.2, 18.3). Тип графика – Scatter (точки).

Данные измерений можно посмотреть в режиме STAT (в столбце List1 указано время, в столбце List 2 – значение координаты). Выборочные результаты измерений для графика № 1 приведены на рис. 18.4–6.

Для выявления характера колебания упругой пластины (на примере графика № 1, рис. 18.2) следует нажать клавишу CALC (рис. 18.7) и произвести выбор синусоидальной (рис. 18.8) или экспоненциальной (рис. 18.9) регрессии.

Уравнение колебаний имеет вид (с округлением до тысячных):

$$Y = 0,035\sin(14,251X + 0,205) + 0,048,$$

где Y – смещение, X – время.

Учащиеся по своему желанию могут изменять количество замеров. Например, графики № 3 и № 4 (рис. 18.10 и 18.11) построены по данным 50-ти измерений, тип графика XY – линия.

Из графика № 3 видно, что пластина перед началом измерения была оттянута слишком резко, даже пришел в движение штатив, но затем, когда колебания установились, отчетливо виден их «синусоидальный» характер и то, что они являются затухающими.

	List 1	List 2	List 3	List 4
SUB	T	X		
1	0	0.1947		
2	0.02	0.202		
3	0.04	0.1982		
4	0.06	0.1962		
		0.000000000		

Рис. 18.4

	List 1	List 2	List 3	List 4
SUB	T	X		
5	0.08	0.1999		
6	0.1	0.1999		
7	0.12	0.2063		
8	0.14	0.2642		
		0.140000000		

Рис. 18.5

	List 1	List 2	List 3	List 4
SUB				
101	2	0.2681		
102	2.02	0.2871		
103	2.04	0.3076		
104	2.06	0.3088		
				2.06

Рис. 18.6

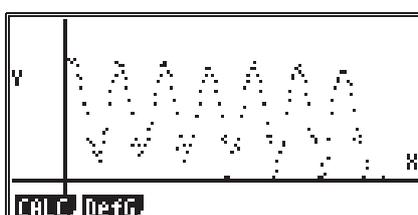


Рис. 18.7

SinReg	
a	=0.03496817
b	=14.2511106
c	=0.20514546
d	=0.04810276
MSe	=3.5782e-05
y=a·sin(bx+c)+d	

Рис. 18.8

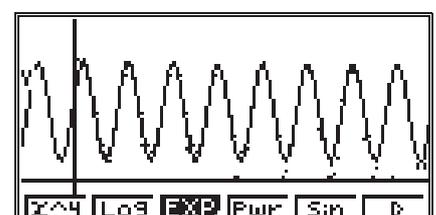


Рис. 18.9

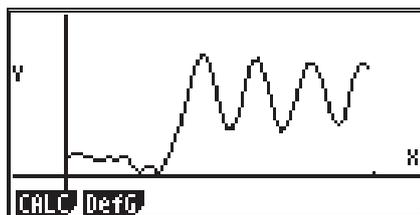


Рис. 18.10

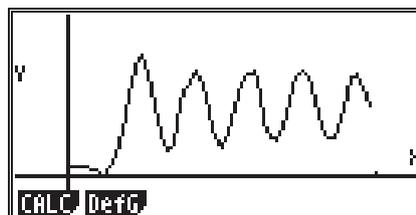


Рис. 18.11

Если вместо пластины использовать камертон, то можно определить частоту его колебаний. Для удобства лучше взять камертон с большим периодом колебаний (нота До).

Работа 19

Изучение колебаний пружинного маятника

I. Оборудование и цель исследования

Оборудование (рис. 19.1): цифровой анализатор данных EA-200; графический калькулятор fx-9860G; кабель для обмена данными между EA-200 и fx-9860G; датчик движения EA-2 (радар), штатив с муфтой и лапкой, набор пружин разной жесткости, набор грузов 100–300 г.

Цель исследования:

Выявление зависимости периода колебаний пружинного маятника от массы грузов и от жесткости пружины для грузов разной массы и для пружин разной жесткости на основе полученных в опыте графиков зависимости координат движения грузов, повешенных на пружинах, от времени.

II. Явления, процессы, физические величины

Груз, подвешенный на пружине, совершает свободные гармонические колебания с периодом

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Для экспериментального исследования зависимости периода колебаний пружинного маятника от массы грузов следует использовать во всех опытах пружину одной жесткости.



Рис. 19.1

Для экспериментального исследования зависимости периода колебаний пружинного маятника от жесткости пружины необходимо использовать во всех опытах груз одной массы.

Предварительно следует определить жесткость каждой пружины, используя закон Гука

$$F = k |x|.$$

III. Возможный вариант выполнения исследования

Задание 1. Исследование зависимости периода колебаний пружинного маятника от массы груза.

При сборке установки для проведения опыта радар располагается строго под грузом так, чтобы в процессе колебаний расстояние между радаром и грузом превышало 10 см. Комплекс *EA-200 – fx-9860G* настраивается на проведение опыта в течение 5 с. Комплекс следует запускать в тот момент, когда груз выведен из положения равновесия.

Используя любую из пружин и груз массой 100 г, получают график зависимости координаты его движения от времени. Далее опыт повторяют, увеличивая каждый раз массу груза на 50 г.

По полученным графикам зависимости координаты движения груза от времени определяют период колебаний пружинного маятника в каждом опыте. Сравнивая полученные значения, убеждаются в том, что период колебаний грузов на пружине одной и той же жесткости больше в том случае, где масса груза больше.

В режиме STAT графического калькулятора строят график зависимости периода колебаний груза на пружине от его массы (рис. 19.2).

Анализ графика позволяет сделать вывод о том, что период колебаний пружинного маятника $T \sim \sqrt{m}$.

Задание 2. Исследование зависимости периода колебаний пружинного маятника от жесткости пружины.

Перед проведением эксперимента каждую из пружин необходимо пронумеровать в порядке возрастания жесткости. При настройке комплекса *EA-200 – fx-9860G* на работу рекомендуется задать время измерения 6 с и использовать груз массой 200 г.

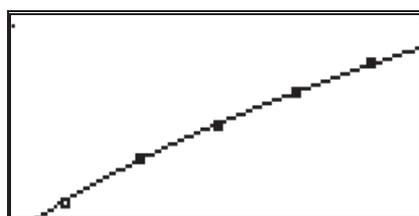


Рис. 19.2

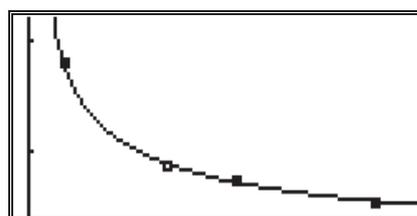


Рис. 19.3

При неизменной массе груза опыт проделывают для каждой пружины. По полученным на дисплее графикам зависимости координаты движения груза от времени определяют период колебаний. Сравнивая полученные значения, убеждаются в том, что при увеличении жесткости пружины период колебаний пружинного маятника для одного и того же груза уменьшается.

В режиме STAT калькулятора строится график зависимости периода колебаний груза от жесткости пружины (рис. 19.3).

Анализ графика позволяет сделать вывод о том, что период колебаний пружинного маятника $T \sim \sqrt{\frac{1}{k}}$.

Дополнительные задания.

1. Используя данные, выявленные из графика зависимости координаты от времени, полученного для пружины жесткостью k_1 , вычислите:

- амплитуду колебаний груза;
- максимальную потенциальную энергию пружины;
- максимальную скорость груза;
- максимальную кинетическую энергию груза;
- полную энергию колебательной системы;
- максимальное ускорение груза.

2. Сравните вычисленные вами значения максимальной потенциальной, максимальной кинетической и полной энергии колебательной системы. Сделайте вывод.

3. Вычислите значения суммы потенциальной и кинетической энергии колебательной системы для любых трех точек графика. Сравните вычисленные вами значения. Сделайте вывод.

Работа 20

Исследование зависимости периода и частоты свободных колебаний нитяного маятника от его длины

I. Оборудование и цель исследования

Оборудование (рис. 20.1): цифровой анализатор данных EA-200; графический калькулятор fx-9860G; кабель для обмена данными между EA-200 и fx-9860G; датчик движения EA-2 (радар), штатив с муфтой и лапкой, нитяной маятник.



Рис. 20.1

Цели исследования:

а) Выявление зависимости периода и частоты колебаний маятника от длины нити на основе полученных в опыте графиков зависимости координаты свободных колебаний маятника от времени.

б) Планирование исследования по заданной цели и закрепление умений по исследованию движения.

II. Явления, процессы, физические величины

Шар, подвешенный на нити, совершает свободные гармонические колебания после его отклонения от положения равновесия. Если считать нить нерастяжимой и невесомой, массу шара и угол его отклонения от положения равновесия достаточно малыми, то период свободных колебаний характеризуется формулой

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Для определения периода колебаний необходимо использовать графики зависимости координаты шарика от времени, полученные для маятников с разной длиной нити. Длину нити маятника следует измерять от точки подвеса до середины шарика.

III. Возможный вариант выполнения исследования

Экспериментальная установка для проведения работы показана на рис. 19.1. Радар необходимо располагать таким образом, чтобы центр шарика и центр экрана радара лежали на одной прямой, а в процессе колебаний расстояние между радаром и шариком превышало 10 см.

При настройке комплекса *EA-200 – fx-9860G* на проведение данного опыта время эксперимента задавалось 5 с.

Первоначально при проведении лабораторного опыта длина нити была 20 см, а затем каждый раз она увеличивалась на 15 см. Графики зависимости координаты маятника от времени движения рекомендуется получить для длин 20 см; 35 см; 50 см и 65 см.

Выявленные из графика значения периода колебаний позволяют сделать вывод о том, что с увеличением длины нити период колебаний увеличивается в соответствии с зависимостью $T \sim \sqrt{l}$, а частота колебаний уменьшается.

Сравнение графиков позволяет сделать вывод: чем больше длина нити, тем меньше коэффициент затухания колебаний.

Дополнительные задания.

1. Используя данные, выявленные из графика зависимости координаты от времени, постройте график зависимости периода колебаний нитяного маятника от длины нити.

2. Определите по построенному вами графику период колебаний маятника, если длина нити равна 80 см; 1 м. Вычислите, используя выявленные из графика данные, ускорение свободного падения.

Оглавление

Введение.....	3
Раздел 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА <i>CLab – FX-9860GII</i> В ПРАКТИКУМЕ ПО МЕХАНИКЕ.....	4
Раздел 2. РУКОВОДСТВА ПО ПРОВЕДЕНИЮ РАБОТ.....	25
§ 1. Исследование равноускоренного движения.....	25
Работа 1 Исследование зависимости пути от времени.....	25
Работа 2 Измерение мгновенной скорости на основе соотношения $v_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$	30
Работа 3 Зависимость мгновенной скорости от времени и пути при равноускоренном движении.....	35
Работа 4 Измерение ускорения при равноускоренном движении на основе определительной формулы.....	41
Работа 5 Расчет ускорения на основе измерения промежутка времени t_0 , за которое тело переместилось на расстояние l	43
Работа 6 Измерение ускорения свободного падения.....	46
§ 2. Применение законов динамики к движению тел под действием нескольких сил.....	48
Работа 7 Скольжение тела по наклонной плоскости: сравнение произведения (ma) с равнодействующей F_0	48
Работа 8 Исследование движения тел разных масс по наклонной плоскости.....	52
Работа 9 Исследование движения системы тел, привязанных к нити, перекинутой через блок.....	53

Работа 10	
Исследование движения системы двух одинаковых связанных тел, одно из которых движется по наклонной плоскости, а другое – вертикально.....	61
Работа 11	
Исследование движения системы двух связанных тел, одно из которых движется горизонтально, а другое – вертикально.....	69
§ 3. Применение законов сохранения к движению тел под действием нескольких сил.....	71
Работа 12	
Сравнение импульса силы с изменением импульса тела.....	71
Работа 13	
Сравнение работы равнодействующей силы с изменением кинетической энергии тела.....	75
Работа 14	
Исследование преобразования энергии при свободном падении.....	79
Раздел 3. РАЗРАБОТКИ УЧАСТНИКОВ МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ПРОЕКТА «ШКОЛЬНЫЙ КАЛЬКУЛЯТОР».....	80
Работа 15	
Изучение равноускоренного движения тела по наклонной плоскости.....	80
Работа 16	
Измерение ускорения свободного падения.....	84
Работа 17	
Исследование изменения механической энергии при ударе.....	87
Работа 18	
Изучение механических колебаний упругой пластины.....	89
Работа 19	
Изучение колебаний пружинного маятника.....	91
Работа 20	
Исследование зависимости периода и частоты свободных колебаний нитяного маятника от его длины.....	93