

DOI: 10.32517/2221-1993-2024-23-4-15-22

Д. М. Блинов*Институт развития образования, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Россия;
средняя общеобразовательная школа № 50, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Россия*

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ «ИЗУЧЕНИЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО РАВНОУСКОРЕННОГО ДВИЖЕНИЯ БЕЗ НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОНСТРУКТОРА LEGO MINDSTORMS EDUCATION EV3*

Аннотация

В статье представлен пример использования робототехнического конструктора на уроках физики и информатики — лабораторная работа «Изучение прямолинейного равноускоренного движения без начальной скорости» с применением конструктора LEGO MINDSTORMS EDUCATION EV3. Данная работа предназначена для учащихся IX—X классов при изучении равноускоренного движения в курсе физики. В ходе лабораторной работы необходимо: собрать экспериментальную установку и составить программу для модуля управления EV3, которая должна регистрировать время движения шарика по наклонному желобу с выводом на экран модуля EV3; полученные результаты измерений ввести в расчетную таблицу, составленную в электронной таблице, в которую предварительно вводят формулы для автоматического расчета ускорения и мгновенной скорости шарика. Лабораторную работу можно провести как на уроке физики и информатики, так и на факультативном занятии, также можно провести интегрированный урок физики и информатики. Использование робототехнического моделирования знакомит учащихся с современным процессом проведения физического исследования (эксперимента), помогает повысить интерес обучающихся к экспериментальной работе, сформировать у них навыки использования роботов в исследованиях и мотивацию к инженерно-техническому творчеству.

Ключевые слова: информатика, физика, робототехника, LEGO MINDSTORMS EDUCATION EV3, лабораторная работа.

* Материалы к статье можно скачать на сайте ИНФО: http://infojournal.ru/journals/school/school_04-2024/

Контактная информация

Блинов Дмитрий Михайлович,

методист, Центр непрерывного повышения профессионального мастерства педагогических работников, Институт развития образования, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Россия; *адрес:* 426009, Россия, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Ухтомского, д. 25; зам. директора по информационной безопасности, учитель физики и информатики, средняя общеобразовательная школа № 50, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Россия; *адрес:* 426072, Россия, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. 40 лет Победы, д. 62; *e-mail:* dibli@yandex.ru

D. M. Blinov

Institute for Education Development, Izhevsk, The Udmurt Republic, Russia;
School 50, Izhevsk, The Udmurt Republic, Russia

LABORATORY WORK IN PHYSICS "THE STUDY OF UNIFORMLY ACCELERATED MOTION WITHOUT INITIAL VELOCITY" USING A ROBOTIC KIT LEGO MINDSTORMS EDUCATION EV3

Abstract

The article presents an example of using a robotic kit at physics and informatics lessons — a laboratory work "The study of uniformly accelerated motion without initial velocity" using the LEGO MINDSTORMS EDUCATION EV3 kit. This work is intended for students in 9–10th grades when studying uniformly accelerated motion in a physics course. During the laboratory work, it is necessary to: assemble an experimental setup and create a program for the EV3 control module, which should record the time of movement of a ball along an inclined chute with output to the EV3 module screen; enter the obtained measurement results into a calculation table compiled in an electronic spreadsheet, into which formulas for automatic calculation of acceleration and instantaneous velocity of the ball are preliminarily entered. The laboratory work can be carried out both in a physics and an informatics lessons, and in an optional lesson, you can also conduct an integrated physics and informatics lesson. The use of robotic modeling introduces students to the modern process of conducting physical research (experiments), helps to increase students' interest in experimental work, develop their skills in using robots in research and motivation for engineering and technical creativity.

Keywords: informatics, physics, robotics, LEGO MINDSTORMS EDUCATION EV3, laboratory work.

1. Введение

Использованием робототехнических конструкторов на уроках в общеобразовательных школах сейчас никого не удивить. Согласно ФГОС основного общего образования, «кабинеты естественно-научного цикла, в том числе кабинеты физики, химии, биологии, должны быть дополнительно оборудованы комплектами специального лабораторного оборудования, обеспечивающего проведение лабораторных работ и опытно-экспериментальной деятельности в соответствии с программой основного общего образования. Допускается создание специально оборудованных кабинетов, интегрирующих средства обучения и воспитания по нескольким учебным предметам» [23]. А это значит, что не запрещено, а наоборот, допустимо использование робототехнических конструкторов на уроках физики. Но единых требований по организации работы на уроках физики в общеобразовательной школе с использованием робототехнических конструкторов пока нет.

Содержательные, методические и технические аспекты организации занятий по робототехнике обсуждаются в работах многих учителей, методистов, педагогов-исследователей. Однако в них в основном освещаются вопросы, связанные с робототехникой в дополнительном образовании. Что касается применения образовательной робототехники на уроках в школе и в частности на уроках физики, то здесь можно отметить работы Л. Г. Белиовской, Н. А. Белиовского [2, 3], А. А. Вяткина [6], М. Г. Ершова [7–9], Д. Г. Копосова [12–17], Т. Ф. Мирошиной с соавторами [19], Т. В. Никитиной [18], Е. В. Оспенниковой [1, 9, 20–22].

Авторами указанных работ рассматривается широкий круг вопросов, касающихся применения робототехники на уроках: обсуждается методика проведения физических экспериментов, анализируются возможности использования роботов при изучении различных разделов физики, разрабатываются физические установки с элементами робототехники. Робототехнические конструкторы на уроках физики могут использоваться для проведения демонстрационных и лабораторных учебных экспериментов.

В целом, изучение робототехники в школах может быть реализовано в следующих форматах:

- факультативный или элективный курс;
- включение элементов робототехники в курс школьных предметов: физики, информатики, математики, технологии;
- научно-исследовательские и научно-практические проекты.

Один из робототехнических конструкторов, успешно применяемый на школьных уроках, во внеурочной деятельности и в дополнительном образовании, — LEGO MINDSTORMS EDUCATION EV3 (см., например, [4, 5, 10, 11, 24, 25, 27]).

В данной статье мы рассмотрим пример использования LEGO MINDSTORMS EDUCATION EV3 в курсе физики при изучении прямолинейного равноускоренного движения без начальной скорости. Представленная ниже лабораторная работа предназначена для учащихся IX–X классов.

2. Лабораторная работа «Изучение прямолинейного равноускоренного движения без начальной скорости»

2.1. Краткое описание

Лабораторная работа «Изучение прямолинейного равноускоренного движения без начальной скорости» с использованием робототехнического конструктора LEGO MINDSTORMS EDUCATION EV3 — один из примеров использования робототехнических конструкторов на уроках физики и информатики. В федеральной рабочей программе основного общего образования по физике в IX классе предусмотрено выполнение подобной лабораторной работы «Определение ускорения тела при равноускоренном движении по наклонной плоскости» [26], но выполняется она со стандартным лабораторным оборудованием по физике. Выполнение лабораторной работы с использованием робототехнических конструкторов потребует от учащихся не только знаний и умений по физике, но и навыков по информатике — составление программы (алгоритма) работы модуля управления роботом и составление расчетной электронной таблицы.

Лабораторную работу «Изучение прямолинейного равноускоренного движения без начальной скорости» с использованием робототехнического конструктора можно провести как на уроке физики при изучении соответствующей темы в IX классе, так и на факультативном занятии по физике или информатике. Возможно проведение лабораторной работы на интегрированном уроке физики и информатики.

Выполнять лабораторную работу лучше всего в парах, где, например, один ученик занимается программированием модуля управления роботом, а другой — сборкой установки эксперимента и составлением расчетной таблицы на компьютере.

2.2. Цель работы

Цель лабораторной работы: определить ускорение движения шарика по желобу и его мгновенную скорость в конце заданного пути, пройденного за определенный промежуток времени.

2.3. Оборудование

Для выполнения лабораторной работы необходимо следующее оборудование:

- штатив;
- лапка;
- муфта;
- желоб;
- измерительная лента;
- металлический шарик;
- модуль управления LEGO MINDSTORMS EDUCATION EV3 с двумя датчиками касания;
- стационарный компьютер или ноутбук с предустановленной электронной таблицей и средой программирования LEGO MINDSTORMS EV3.

2.4. Схема экспериментальной установки

Для выполнения лабораторной работы необходимо собрать установку, как показано на рисунке 1.

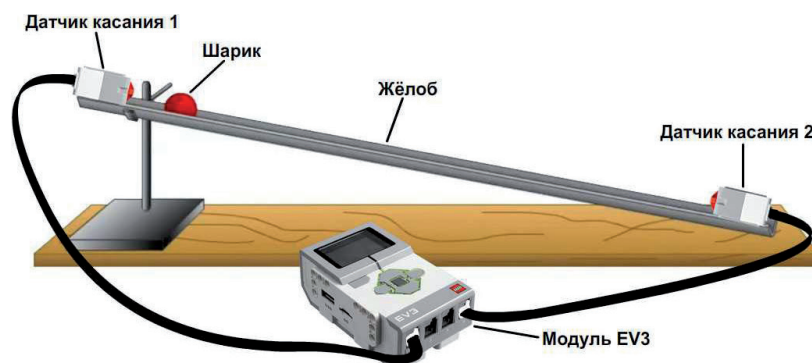


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

2.5. Ход работы

Задание 1. Сборка экспериментальной установки.

1. Соберите экспериментальную установку, как показано на рисунке 1. Желоб закрепите в лапке штатива под углом 20–30° к плоскости столешницы.
2. Подключите модуль управления EV3 к компьютеру через USB-кабель. Включите модуль управления EV3.
3. Подключите два датчика касания с помощью кабеля к EV3 в порты 1 и 4.
4. Датчики касания укрепите на желобе с помощью двухстороннего скотча, как показано на рисунке 1.

Задание 2. Создание программы, регистрирующей время движения шарика по желобу.

Пояснение. В опыте датчик касания 1, расположенный в верхней точке желоба и подключенный к порту 1 модуля EV3, регистрирует момент отпускания шарика. В момент начала движения шарика по желобу отжимается кнопка датчика касания 1, действие которого отслеживает написанная программа. Далее запускается секундомер, который фиксирует время движения шарика в секундах, отображая время на экране модуля управления. При достижении шариком нижней точки

желоба он нажимает кнопку на датчике касания 2, который подключен к порту 4 модуля EV3. Момент касания шариком датчика касания 2 должен отобразиться на экране модуля управления. Это время и будет временем движения шарика из верхней точки желоба к нижней.

На компьютере запустите среду программирования LEGO MINDSTORMS EV3 для создания новой программы.

Алгоритм создания программы в среде программирования LEGO MINDSTORMS EV3 с помощью блоков.

1. Блок Ожидание.

К блоку *Начало* добавьте блок *Ожидание*, который будет ожидать отжимание кнопки датчика касания 1. В верхней части блока выберите *Порт 1* (рис. 2) — именно к этому порту подключен датчик касания 1 на модуле управления EV3.

В настройках блока выберите: *Датчик касания*, *Сравнение*, *Состояние* (рис. 3).

Далее выберите состояние датчика — *Отпущено* (рис. 4), в этом состоянии блок *Ожидание* прекратит свою работу и передаст действие следующему блоку.

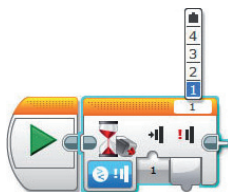


Рис. 2. Добавление в программу блока Ожидание и выбор в нем Порта 1

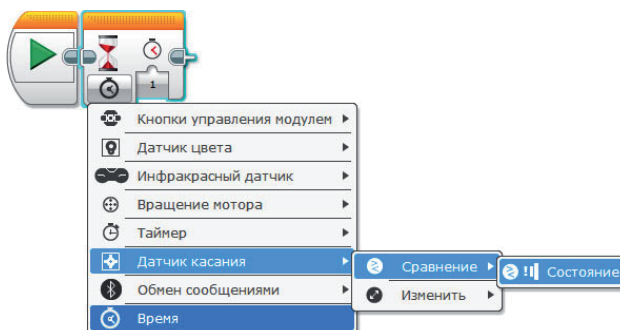


Рис. 3. Настройка блока Ожидание на Датчик касания

2. Блок *Таймер*.

После блока *Ожидание* добавьте блок *Таймер* для обнуления секундомера, который далее будет фиксировать время движения шарика, для этого в настройках блока *Таймер* надо выбрать режим *Сброс* (рис. 5).

3. Блоки *Цикл*.

После блока *Ожидание* добавьте блок *Цикл* (рис. 6). Этот блок — секундомер. В теле цикла будет фиксироваться время движения шарика и отображаться на экране модуля EV3 до тех пор, пока не будет нажата кнопка датчика касания 2.

В тело блока *Цикл* добавьте блок *Таймер*. В настройках этого блока выберите: *Измерение*, *Время* (рис. 7).

Для того чтобы фиксируемое время отображалось на экране модуля EV3, к блоку *Таймер* добавьте блок *Экран*. В настройках этого блока выберите: *Текст*, *Пиксели* (рис. 8).

В текстовом поле блока *Экран* выберите режим *Проводной* (рис. 9).

Соедините функцию *Истекшее время* блока *Таймер* с функцией *Текст* блока *Экран* — измеряемое время будет отображаться на экране модуля EV3 (рис. 10).

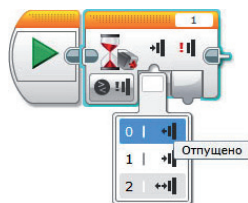


Рис. 4. Настройка Датчика касания в блоке *Ожидание*

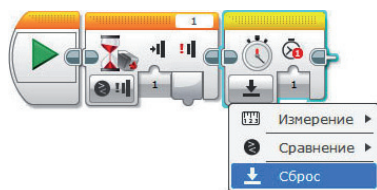


Рис. 5. Добавление в программу блока *Таймер* и его настройка на режим *Сброс*

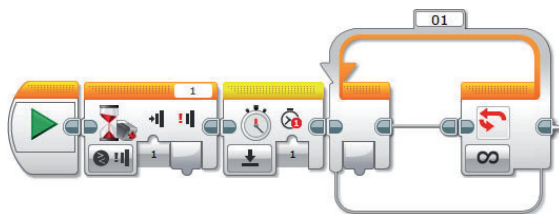


Рис. 6. Добавление в программу блока *Цикл*

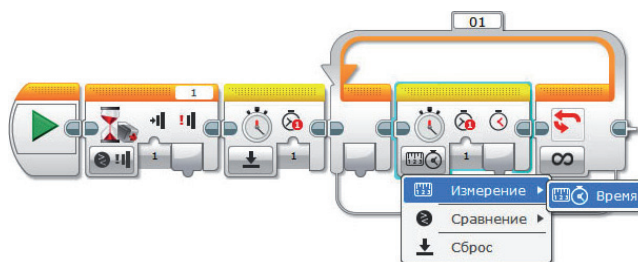


Рис. 7. Добавление в блок *Цикл* блока *Таймер* и настройка этого блока

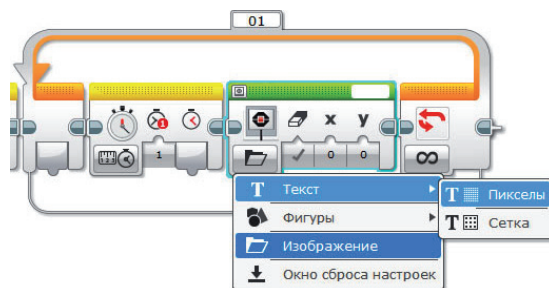
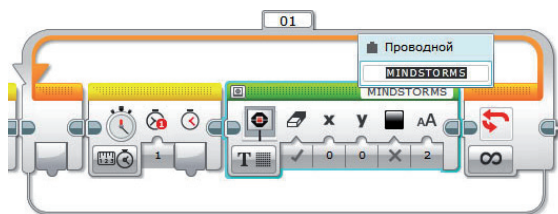
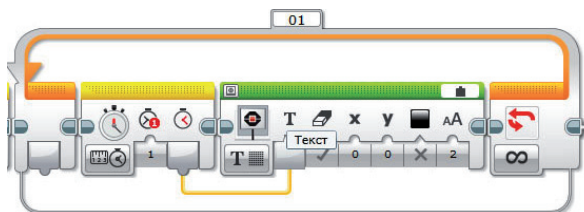


Рис. 8. Настройка блока *Экран*

Рис. 9. Выбор режима *Проводной* в блоке *Экран*Рис. 10. Соединение функции *Истекшее время* блока *Таймер* с функцией *Текст* блока *Экран*

Для прекращения работы цикла в настройках блока выберите: *Датчик касания*, *Состояние* (рис. 11).

В настройках блока *Цикл* для *Датчика касания* выберите: *Состояние*, *Нажатие* (рис. 12) и в правом верхнем окне блока *Цикл* выберите *Порт 4* — это порт, к которому подключен датчик касания 2.

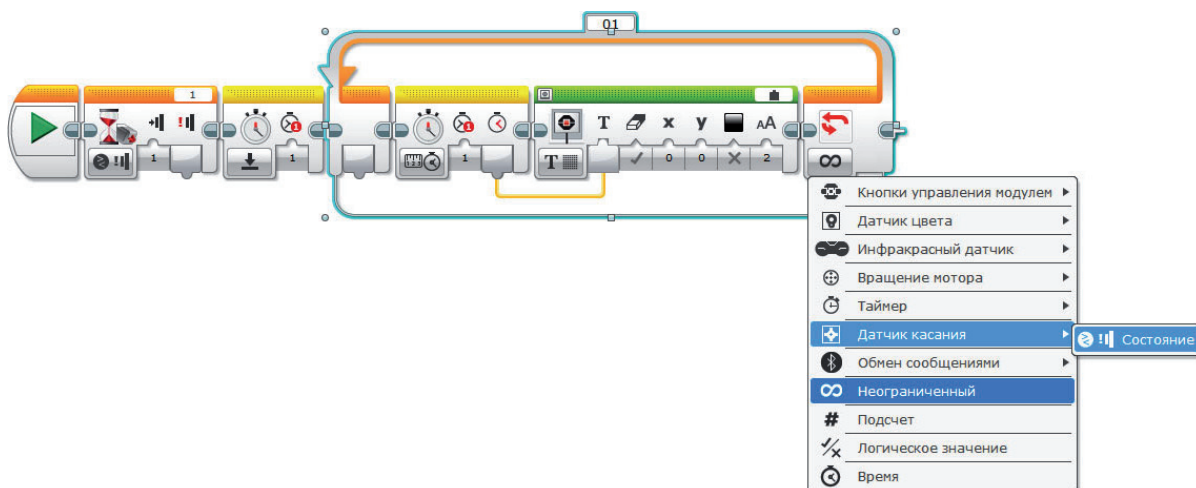
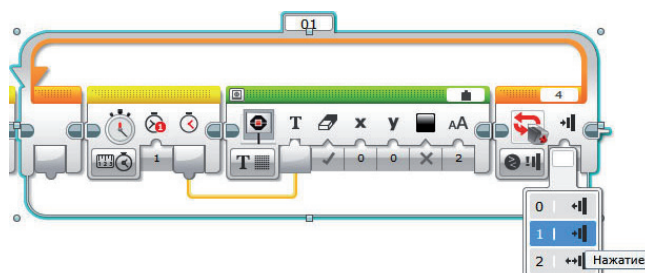
В итоге при касании кнопки датчика касания 2 цикл прекратит работу и наш секундомер остановится.

Для того чтобы после прерывания цикла измеренное время движения шарика оставалось на экране, добавьте

еще один блок *Цикл*, но уже без прерывания — бесконечный (рис. 13).

В тело второго блока *Цикл* вставьте блок *Экран* (рис. 14) и задайте настройки этого блока так же, как описано для блока *Экран* в предыдущем блоке *Цикл*: *Текст*, *Пиксели*, режим *Проводной*.

Чтобы измеренное время зафиксировалось на экране, соедините функцию *Истекшее время* блока *Таймер* первого блока *Цикл* с функцией *Текст* блока *Экран* второго блока *Цикл* (рис. 15).

Рис. 11. Настройка прерывания выполнения цикла на *Датчик касания*Рис. 12. Настройка *Датчика касания* в блоке *Цикл*

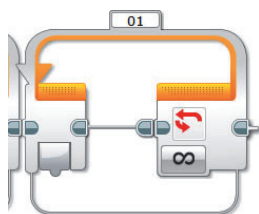


Рис. 13. Второй блок Цикл

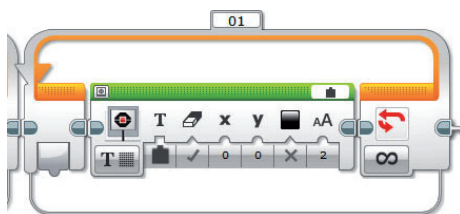


Рис. 14. Блок Экран во втором блоке Цикл

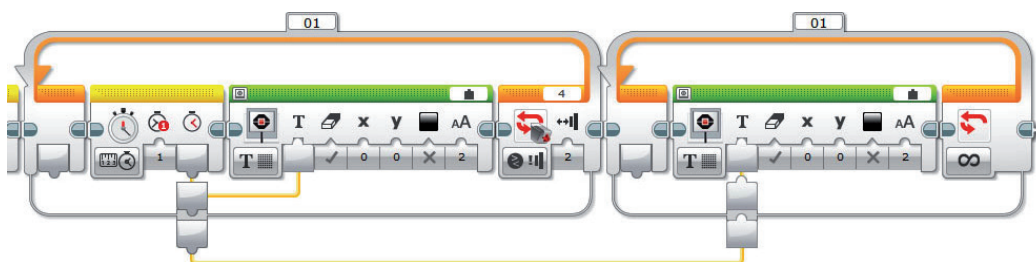
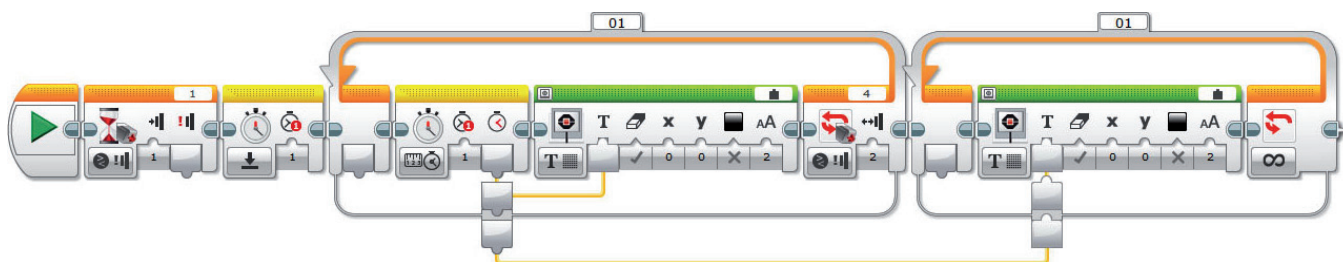
Рис. 15. Соединение функции **Истекшее время** блока **Таймер** первого блока Цикл с функцией **Текст** блока **Экран** второго блока Цикл

Рис. 16. Готовая программа

Итоговая программа для проведения экспериментов готова (рис. 16).

Задание 3. Создание таблицы для расчета результатов измерений в электронной таблице.

1. Создайте таблицу для расчета результатов измерений — образец представлен в таблице 1.
2. В ячейку C2 вставьте формулу для расчета среднего времени движения шарика:

$$t_{\text{ср}} = (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5) / 5.$$

3. Измерьте расстояние S , которое шарик проходит между датчиками, с учетом размеров самого шарика, и запишите результат в ячейку D2.

4. В ячейку E2 вставьте формулу для расчета ускорения шарика:

$$a = 2 \cdot S / t_{\text{ср}}^2.$$

5. В ячейку F2 вставьте формулу для расчета мгновенной скорости:

$$v = a \cdot t_{\text{ср}}.$$

6. В режиме отображения формул таблица должна выглядеть так, как представлено в таблице 2.

Задание 4. Проведение эксперимента.

1. Установите шарик в верхнем положении наклонного желоба так, чтобы кнопка датчика касания 1 была нажата. Придерживайте шарик рукой.
2. Запустите программу.
3. Отпустите шарик. После завершения движения шарика программа остановится автоматически. На экране модуля управления зафиксируется время.

Таблица 1

Таблица для расчета результатов измерений

	A	B	C	D	E	F
	№ п.п.	Время t прохождения шариком расстояния S между датчиками, с	Среднее время движения $t_{\text{ср.}}$, с	Расстояние S , м	Ускорение шарика, м/с^2	Мгновенная скорость v , м/с
1						
2	1					
3	2					
4	3					
5	4					
6	5					

Таблица 2

Таблица в режиме отображения формул

	A	B	C	D	E	F
	№ п.п.	Время t прохождения шариком расстояния S между датчиками, с	Среднее время движения $t_{\text{ср.}}$, с	Расстояние S , м	Ускорение шарика, м/с^2	Мгновенная скорость v , м/с
1						
2	1					
3	2					
4	3					
5	4					
6	5		=СРЗНАЧ(B2:B6)		=2*D4/C2^2	=E2*C2

4. Запишите результат измерений времени движения шарика в таблицу.

5. Повторите эксперимент еще четыре раза, не изменяя положение датчиков.

В ячейках E2 и F2 отобразятся результаты вычислений ускорения и мгновенной скорости шарика.

2.6. Дополнительные задания

1. Доработайте программу так, чтобы рассчитывались ускорение и мгновенная скорость с выводом результатов на экран модуля управления.

2. Доработайте расчетную таблицу для вычисления среднего значения ускорения и мгновенной скорости по результатам пяти измерений ускорения и мгновенной скорости с помощью доработанной программы.

3. Проведите эксперимент (см. задание 4 в разделе 2.5), не изменяя положения датчиков, с помощью доработанных программы и расчетной таблицы.

4. Сравните полученные результаты ускорения и мгновенной скорости и вычислите погрешность ускорения и мгновенной скорости шарика.

3. Заключение

Подобные лабораторные работы, выполнение которых требует знаний и умений не только в области физики, но и других предметных областей, при возможности необходимо включать в учебный процесс — целенаправленная и системная работа по внедрению робототехники в курс физики способствует развитию функциональной грамотности у обучающихся и навыков использования

робототехники в деятельности человека. Как показывает практика, применение робототехники и компьютерного моделирования способствует формированию положительной мотивации и повышает познавательный интерес обучающихся к естественным наукам, развивая творческое и профессионально-ориентированное мышление.

Благодаря внедрению в курс физики общеобразовательной школы моделирования с использованием робототехнических конструкторов вместе с традиционно используемым математическим аппаратом появляется возможность получения автоматизированных исследований с визуализацией результатов. Автоматизация эксперимента необходима для повышения точности измерений, проводимых на занятиях по физике. Получение мгновенных результатов измерений и вычислений позволяет на уроке провести не три—пять экспериментов, как это происходит при работе с аналоговыми приборами, а несколько десятков, что повышает точность искомого результата. Конструирование экспериментальной установки с использованием робототехнических конструкторов, программирование и автоматизация обработки полученных данных и поведения самого робота — это те составляющие, которые позволяют проводить прямые исследования физических величин. Использование робототехнического моделирования знакомит учащихся с современным процессом проведения физического исследования (эксперимента), помогает повысить интерес к экспериментальной работе, сформировать навыки использования роботов в исследованиях и сформировать мотивацию к инженерно-техническому творчеству.

Список источников

1. Антонова Д. А., Оспенникова Е. В. Учебные компьютерные симуляции физического эксперимента // Современные проблемы науки и образования. 2021. № 6. С. 1–9. EDN: XWMCWV. DOI: 10.17513/spno.31217.
2. Белиовская Л. Г., Белиовский Н. А. Использование LEGO-роботов в инженерных проектах школьников. Отраслевой подход: учебное пособие. М.: ДМК Пресс, 2016. 88 с.
3. Белиовская Л. Г., Белиовский Н. А. Роботизированные лабораторные работы по физике: пропедевтический курс физики. М.: ДМК Пресс, 2016. 164 с.
4. Векслер В. А. Реализация концепции STEAM-образования при решении задач о движении роботов // Информатика в школе. 2022. № 5. С. 88–94. EDN: LNITMZ. DOI: 10.32517/2221-1993-2022-21-5-88-94.
5. Вязовов С. Я., Калягина О. Ю., Слезин К. А. Современная робототехника: приемы программирования в среде EV3: учебно-практическое пособие. М.: Перо, 2014. 36 с. EDN: TNCRXP.
6. Вяткин А. А. Демонстрационные и лабораторные работы по физике с использованием робототехнических наборов и современного цифрового оборудования в рамках раздела курса «Механика». Пермь: Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет; изд-во «Пермский университет», 2016. 106 с.
7. Ершов М. Г. Возможности использования образовательной робототехники в преподавании физики // Проблемы и перспективы развития образования. Материалы IV международной научной конференции (Пермь, 20–23 июля 2013 года). Пермь: Меркурий, 2013. С. 81–87. EDN: VMRECX.
8. Ершов М. Г. Робототехника как объект изучения в курсе физики средней школы // Педагогическое образование в России. 2015. № 3. С. 117–125. EDN: TWFINH.
9. Ершов М. Г., Оспенникова Е. В. Образовательная робототехника как инструмент познания в учебном процессе по физике // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. 2015. № 3. С. 109–124. EDN: TSAONZ.
10. Ионова И. Р. Использование роботов LEGO MINDSTORMS EV3 для изучения механического движения на уроках физики // Информационно-коммуникационные технологии в педагогическом образовании. 2021. № 3 (72). С. 6–9. EDN: WGRQIR.
11. Кокин В. А., Поврозюк А. С. О межпредметных связях технических наук в процессе реализации образовательной робототехники // Осовские педагогические чтения «Образование в современном мире: новое время — новые решения». 2022. № 1-2. С. 259–264. EDN: CBGFXD.
12. Копосов Д. Г. Технология. Робототехника. 5 класс: учебное пособие. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2020. 96 с.
13. Копосов Д. Г. Технология. Робототехника. 5–6 классы: учебник. М.: Просвещение, 2021. 128 с.
14. Копосов Д. Г. Технология. Робототехника. 6 класс: учебное пособие. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2020. 224 с.
15. Копосов Д. Г. Технология. Робототехника. 7 класс: учебное пособие. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2017. 224 с.
16. Копосов Д. Г. Технология. Робототехника. 7–8 классы: учебник. М.: Просвещение, 2021. 175 с.
17. Копосов Д. Г. Технология. Робототехника. 8 класс: учебное пособие. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2017. 128 с.
18. Никитина Т. В. Образовательная робототехника как направление инженерно-технического творчества учащихся: учебное пособие. Челябинск: Челябинский государственный педагогический университет, 2014. 171 с. EDN: UGOXXD.
19. Образовательная робототехника на уроках информатики и физики в средней школе: учебно-методическое пособие / Т. Ф. Мирошина и др. М-во образования и науки Челябинской обл., ОГУ «Обл. центр информ. и материально-технического обеспечения образовательных учреждений, находящихся на территории Челябинской обл.» (РКЦ). Челябинск: Взгляд, 2011. 157 с.
20. Оспенникова Е. В. Развитие самостоятельности учащихся при изучении школьного курса физики в условиях обновления информационной культуры общества: автореф. дис. доктора пед. наук: 13.00.02. Челябинск: Челябинский государственный педагогический университет, 2003. 46 с. EDN: NMIIJT.
21. Оспенникова Е. В. Развитие самостоятельности школьников в учении в условиях обновления информационной культуры общества: монография. В 2 ч. Пермь: Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, 2003. 300 с. EDN: QSZMCV.
22. Оспенникова Е. В., Ильин И. В., Ершов М. Г., Оспенников А. А. Принцип политехнизма в обучении физике: современная интерпретация и технологии реализации в средней школе: монография / под общ. ред. Е. В. Оспенниковой. Пермь: Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, 2014. 502 с. EDN: TRXITX.
23. Приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 31 мая 2021 г. № 287 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования». https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2023/08/Приказ-№-287-от-31.05.2021-ФГОС_ООО.pdf
24. Сафонова О. Ю. Урок на тему «Виртуальное исследование Марса» (VI класс) // Информатика в школе. 2020. № 2. С. 28–34. EDN: BFEOSW. DOI: 10.32517/2221-1993-2020-19-2-28-34.
25. Тарапата В. В., Самылкина Н. Н. Робототехника в школе: методика, программы, проекты. М.: Лаборатория знаний, 2017. 109 с.
26. Федеральная рабочая программа основного общего образования. Физика (базовый уровень) (для 7–9 классов образовательных организаций). М.: Институт стратегии развития образования, 2023. 61 с. https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2023/08/20_ФРП-Физика_7-9-классы_база.pdf
27. Хапаева С. С., Ганин Р. А., Пышкина О. А., Сунцов К. А. Организация квеста для знакомства учащихся с инновационным оборудованием // Информатика в школе. 2019. № 2. С. 13–17. EDN: UXFCDZ. DOI: 10.32517/2221-1993-2019-18-2-13-17.