

Оценка экспериментальных умений в физике с использованием цифрового инструментария¹

**Гиголо
Антон Иосифович**

кандидат технических наук, доцент кафедры радио-физики, антенн и микроволновой техники ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный университет)», член комиссии по разработке КИМ для ГИА по физике, gigolo_ai@mail.ru

**Бражников
Михаил Александрович**

кандидат педагогических наук, старший научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук», член комиссии по разработке КИМ для ГИА по физике, birze@inbox.ru

Ключевые слова: экспериментальные умения, цифровой физический эксперимент, цифровая лаборатория, моделирование физических процессов, всероссийские проверочные работы.

Введение

Неотъемлемой частью школьного физического образования является проведение учителем наглядного классного эксперимента (качественного и количественного), а также выполнение самими учащимися лабораторных работ и практикумов. Последние проводятся, как правило, в конце учебного года и включают в себя работы в большей степени исследовательского характера.

Демонстрации физических явлений и законов позволяют не просто поверить учителю на слово, а наглядно убедиться в справедливости получаемых на уроках в школе физических знаний. Отметим, что физические знания, новые для учащегося, далеко не всегда бывают интуитивно понятными. Роль лабораторной работы в процессе обучения физике переоценить невозможно, поскольку ничто не может лучше убедить в справедливости нового физического закона, чем проведённый собственными руками опыт. Кроме этого, в ходе лабораторных работ и практикумов происходит формирование начальных инженерных навыков. При выполнении учебных исследований учащиеся собирают по схеме экспериментальную установку, осваивают работу с приборами и инструментами, проводят различные измерения, что позволяет не только лучше понять и усвоить теоретический материал, но и увидеть, как это применяется в окружающих нас технических устройствах, а также может быть использовано в повседневной жизни².

В настоящее время происходит постепенный переход от прежних аналоговых технологий проведения школьного физического эксперимента к новым цифровым способам как проведения, так и моделирования физических

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-14216 «Проектирование структуры и содержания цифрового инструментария для оценки учебных достижений по физике в системе общего образования».

² Гиголо А. И., Бражников М. А., Поваляев О. А. Проектирование цифровых компетенций в области физики // Материалы IV междунар. конф. «Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании» — Красноярск, 6–9 октября 2020 г.: в 2 ч. / Под общ. ред. М. В. Носкова. — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2020. — С. 78–83.

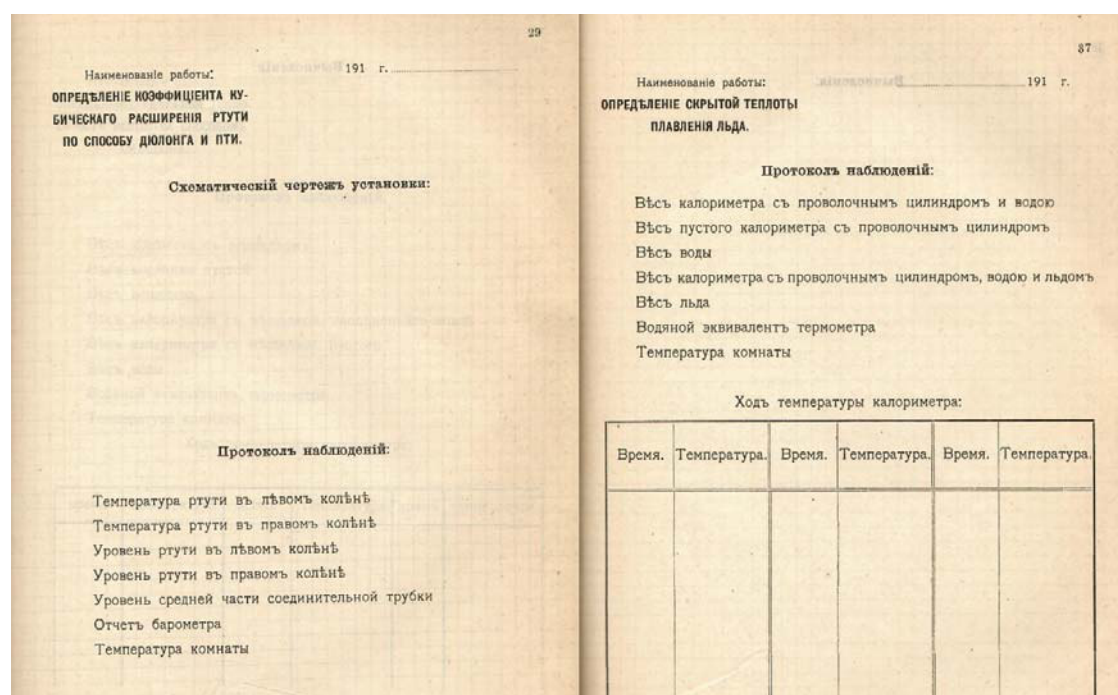


Рис. 1. Бумажный отчёт о проделанной работе в «доцифровую эру»

процессов, а также регистрации и обработки информации. На основе опыта, накопленного в первое десятилетие XXI в., Л. В. Пигалицын выделил следующие направления применения виртуального компьютерного физического эксперимента: демонстрационный, моделирующий, графический и вычислительный, а также виртуальные: приборы, лабораторные работы и физические конструкторы³. Все эти направления развиваются в настоящее время, кроме этого, разрабатываются экспериментальные задания, которые возможно выполнять с помощью личных смартфонов учащихся, что становится особенно актуальным в условиях пандемии⁴.

Виды компьютерного эксперимента, приборов и лабораторных работ, по Пигалицыну; собственно цифровые приборы (демонстрационные и лабораторные), средства передачи данных школьного эксперимента, хранения и обработки ин-

формации, а также цифровые средства проверки умений учащихся, в частности цифровые задания, составляют цифровой инструментарий, которым должна располагать школа будущего. При этом цифровые задания должны быть неотъемлемой частью любых оценочных процедур, в частности всероссийских проверочных работ (ВПР). В настоящей публикации рассмотрены пути и этапы перехода экспериментальных заданий к цифровому виду.

Электронный отчёт

В России стандартизация «аналоговых» отчётов о проделанной лабораторной работе началась примерно 110 лет назад. В качестве примера на рис. 1 приведены страницы из печатного пособия «Тетрадь для практических работ по физике» Б. С. Швецова⁵. Бумажный отчёт включал название работы и дату её проведения, чертёж установки, протокол наблюдений, таблицу результатов.

Таким образом, первым шагом в цифровой трансформации является использование вместо бумажного или рукописного — «электронного отчёта» о выполнении

³ Пигалицын Л. В. Школьный компьютерный эксперимент. — Дзержинск: Восток — Запад, 2009. — 262 с.

⁴ Лозовенко С. В. Физическая лаборатория в смартфоне // Актуальные проблемы физики и технологии в образовании, науке и производстве: сб. мат. III Всерос. науч.-практ. конф., 25–26 марта 2021 года / Под ред. В. А. Степанова, О. В. Кузнецовой. — 2021. — С. 164–169.

⁵ Бражников М. А. Первые рабочие тетради по физике // Школа будущего. — 2021. — № 2. — С. 8–21.

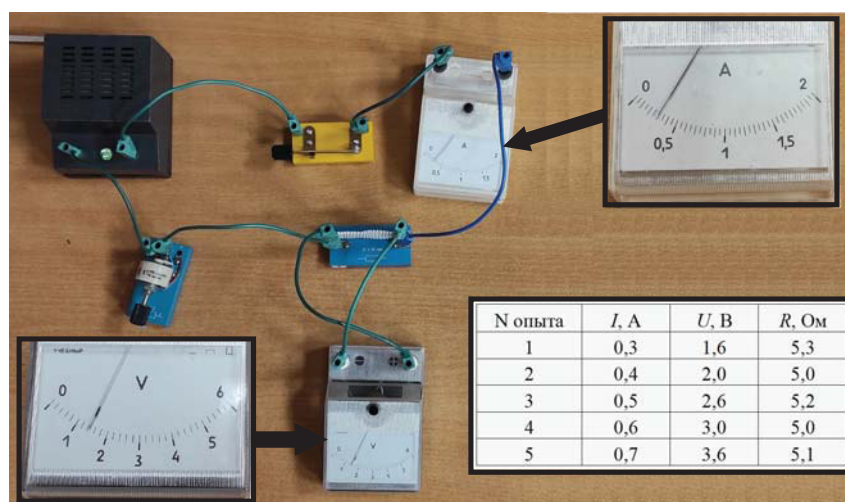


Рис. 2. Фрагмент электронного отчёта
(фотографии установки, показаний приборов, таблицы полученных значений)

практической работы, проводимой при помощи стандартного лабораторного оборудования и аналоговых приборов. Электронный отчёт подразумевает фиксацию, хранение и обработку экспериментальных данных, а также дистанционную проверку выполненной лабораторной работы. Сделанные и прикрепленные к электронному отчёту фотографии лабораторной установки не только заменят рисунок или схему эксперимента, но и проиллюстрируют учителю, насколько правильно была собрана установка (рис. 2). Фотографии шкал приборов, измеряющих физические величины, позволят при проверке верифицировать полученные учащимся значения. Таблица полученных значений может быть совмещена с фотографиями приборов и установки (рис. 2) или приложена к построенному графику, что позволяет быстро провести проверку полученных результатов (рис. 3).

Возможность внесения в электронные таблицы полученных в ходе эксперимента данных позволяет построить графики зависимостей физических величин на экране компьютера, и на основании этих графиков сделать выводы о характере зависимостей исследуемых величин (рис. 3), сразу увидеть явные промахи.

Эти возможности позволяют разумно автоматизировать рутинные процедуры заполнения таблиц, выполнение однотипных расчётов, построение графиков. Благодаря использованию при выполне-

нии эксперимента смартфона или планшета можно на совершенно ином уровне подойти к оформлению результатов, как при проведении обычных лабораторных работ при прохождении школьной программы по физике, так и при выполнении экспериментальных заданий ВПР. Все необходимые экспериментальные результаты можно собрать в электронных таблицах или формах и передать для дальнейшей проверки, полностью исключая

№ опыта	I , А	U , В	R , Ом
1	0,3	1,6	5,3
2	0,4	2,0	5,0
3	0,5	2,6	5,2
4	0,6	3,0	5,0
5	0,7	3,6	5,1

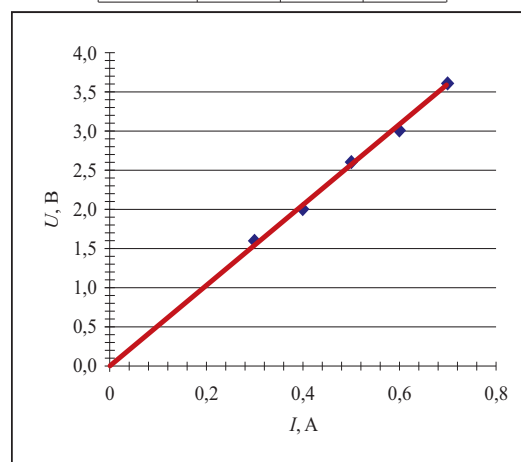


Рис. 3. Фрагмент электронного отчёта
(результаты экспериментов и вольт-амперная характеристика резистора)

использование бумажных бланков, необходимость их дальнейшего сканирования и распознавания, а значит, и появление неизбежных ошибок при этом.

Современный школьник хорошо умеет работать как с электронными таблицами, так и с различными графическими и текстовыми редакторами, поэтому сфотографировать лабораторную установку, откадрировать фотографии шкал приборов, занести результаты измерений в электронную таблицу, построить графики, выполнить расчёты, написать выводы и сгруппировать всё это в едином файле не представляет для него большой проблемы. А использование таких онлайн-сервисов, как HyperDox, позволяет интегрировать всё вышеперечисленное в один облачный документ, добавить при желании ещё и видео- или аудиофайл, и превратить обычный отчёт о лабораторной работе в мини-проект.

Появление электронного отчёта позволит перевести школьный физический эксперимент на новый качественный уровень. Такой отчёт — это первый цифровой ресурс нового цифрового инструментария оценки учебных достижений по физике.

Виртуальная физическая лаборатория

Вторым цифровым ресурсом может стать виртуальная физическая лаборатория, позволяющая организовать проведение опытов и лабораторных работ на виртуальном рабочем столе в облачном приложении⁶. Подобные виртуальные лаборатории дают возможность: дистанционно проверять гипотезы, экспериментировать, исследовать, подтверждать реальность физических законов; формировать у школьников исследовательские навыки; дистанционно контролировать качество и полноту полученных знаний и сформированность умений; свободно моделировать «реальный физический мир». Учащемуся предлагается в ходе выполнения работы: выбрать необходимое оборудование из предложенного, смонтировать установку, разместить приборы на лабораторном столе, произвести вир-

туальные манипуляции с оборудованием, сделать измерения и расчёты (рис. 4). Всё это он видит на экране; за выполнением работы учащимся может наблюдать и учитель в режиме реального времени. Допустив ошибку в выполнении работы, ученик может вернуться к предыдущему этапу.

В виртуальной лаборатории, в отличие от реальной, возможно анализировать работу учащихся с объектами с помощью набора трёхмерного лабораторного оборудования и измерительных приборов при отсутствии ограничений на количество одновременно используемых объектов; корректно рассчитывать взаимодействие исследуемых объектов с приборами в зависимости от вариантов использования последних с помощью встроенной математической модели, в которую заложены реальные ошибки и погрешности, возникающие в ходе наблюдений и измерений. Их можно успешно использовать для домашней работы учеников, для предварительной подготовки лабораторных экспериментов, чтобы в классе действия учащихся были более осознанны, заранее продуманы и подготовлены.

Массовый переход на дистанционное обучение, с которым столкнулось образование в связи с ограничениями, вызванными пандемией, показал, что больше всего страдает именно практическая деятельность учащихся, поскольку организовать полноценный эксперимент в домашних условиях не представляется возможным. Использование подобных виртуальных лабораторий позволяет педагогу организовать лабораторные работы в рамках дистанционного обучения. Конечно, заменить живой эксперимент и работу с реальным лабораторным оборудованием не сможет никакая программа виртуальной реальности, но в дистанционном образовании подобные цифровые ресурсы могут стать хорошей альтернативой реальным лабораторным работам. В домашних условиях можно дополнить выполнение виртуальной лабораторной работы обязательными заданиями расчётного характера, а также рекомендуемыми заданиями с реальными приборами, в данном случае с бытовыми термометрами, весами, мерительными стаканами, которые есть у учеников дома.

⁶ Виртуальная лаборатория по физике, 2021 г. — URL: <http://www.vr-labs.ru>.



Рис. 4. Измерение удельной теплоёмкости вещества в виртуальной лаборатории

Последнее позволяет сблизить реальную и виртуальную лабораторные работы.

Виртуальные лаборатории могут использоваться в качестве оценочного инструментария в тех случаях, когда проведение реального эксперимента невозможно: например, стандартное оборудование для учебного эксперимента не даёт возможности исследовать зависимость теплопередачи посредством излучения от различных параметров. При помощи виртуальной лаборатории в этом случае успешно оцениваются умения планировать ход исследования, определять изменяемые и неизменные параметры, по предложенной установке определять проверяемую в исследовании гипотезу и т. д.

Цифровые измерительные приборы в практической работе учащихся

Третьим ресурсом является переход к цифровым измерительным приборам. Традиционными средствами измерения, которыми пользуется школьник при выполнении «классических» лабораторных, уже много десятилетий являются линейка или измерительная лента, секундомер, рычажные весы и разновесы, мензурка, динамометр, термометр, стрелочные амперметр и вольтметр. Использование цифровых датчиков позволяет на совершенно другом качественном уровне производить измерения времени, расстояния, иметь возможность регистрировать и наблюдать изменение во времени таких

физических величин, как температура, электрическое напряжение, сила тока. Эти возможности позволяют с высокой точностью измерить мгновенную скорость тела, движущегося неравномерно, исследовать изменение температуры с течением времени в процессе установления теплового равновесия, наблюдать в динамике явление электромагнитной индукции, возникновение и изменение индукционного тока, исследовать электромагнитные колебания. С использованием традиционных «аналоговых» средств подобные измерения выполнить невозможно. В качестве примера можно привести действующую цифровую лабораторию по физике от компании «Научные развлечения»⁷. При конструировании экспериментальных заданий по механике используются цифровые датчики положения, силы абсолютного давления, угловой скорости и ускорения. Датчики температуры и влажности позволяют провести измерения при выполнении экспериментов по тепловым явлениям, а в исследованиях электромагнитных явлений помогут цифровые амперметр, вольтметр и многоканальный

⁷ Поваляев О. А., Ханнанов Н. К., Хоменко С. В. Цифровая лаборатория по физике. Базовый уровень: методическое пособие. — 4-е изд. — М.: Де'Либри, 2020. — 108 с.

Гиголо А. И., Поваляев О. А. Возможности оценки экспериментальных умений по физике с использованием цифровых технологий // Педагогические измерения. — 2020. — № 2. — С. 102–108.

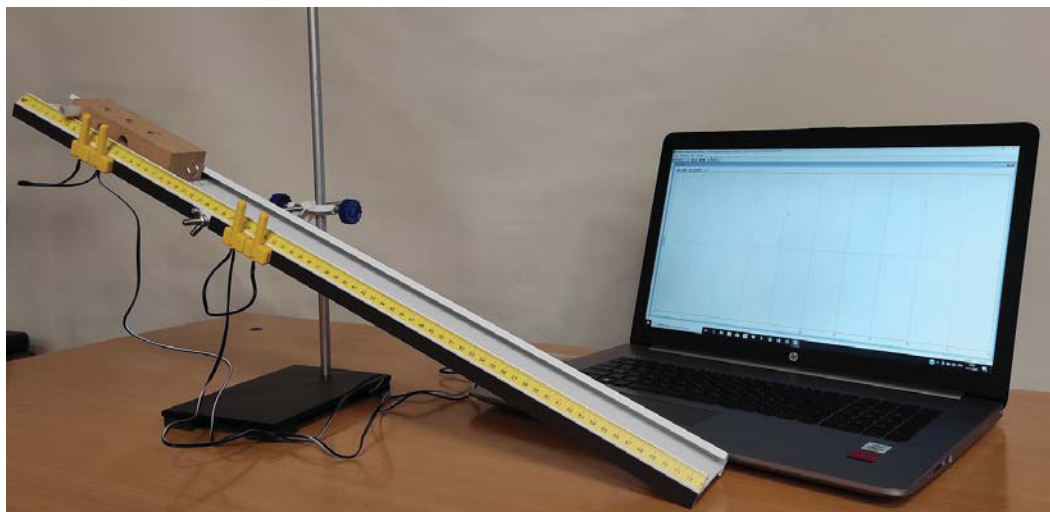


Рис. 5. Экспериментальная установка для исследования равноускоренного движения

осциллограф. Все датчики выполнены компактно и однотипно. С точки зрения обучения физике, к недостаткам цифровых датчиков следует отнести то, что они являются для учеников «чёрными ящиками», корпус датчика скрывает их устройство. Поэтому мы рекомендуем, предвзяв использование цифровых датчиков для измерений, познакомить учащихся с аналоговыми приборами, имеющими те же функции, а также, по возможности, с принципами действия и источниками погрешностей цифровых измерителей. Для коммуникации цифровых датчиков, записи и хранения информации, полученной с их помощью, применяется специальное программное обеспечение, установленное на смартфон, планшет или компьютер. Экспериментальная установ-

ка для исследования равноускоренного движения, использующая цифровые датчики, и информация, которая отображается у ученика на планшете, показаны на рис. 5. Информация о результатах измерения может выводиться в виде записанных импульсов и таблично (при этом по ширине импульса можно оценить погрешность измерения) (рис. 6) или графически (рис. 7). Аппроксимация проведена по пяти точкам, включая нулевую, и для ученика очевидно, что полученная зависимость при равноускоренном движении носит параболический характер.

Цифровой осциллографический датчик позволяет перевести эксперименты по электромагнитным явлениям на совершенно иной качественный и количественный уровень, особенно в том случае, когда

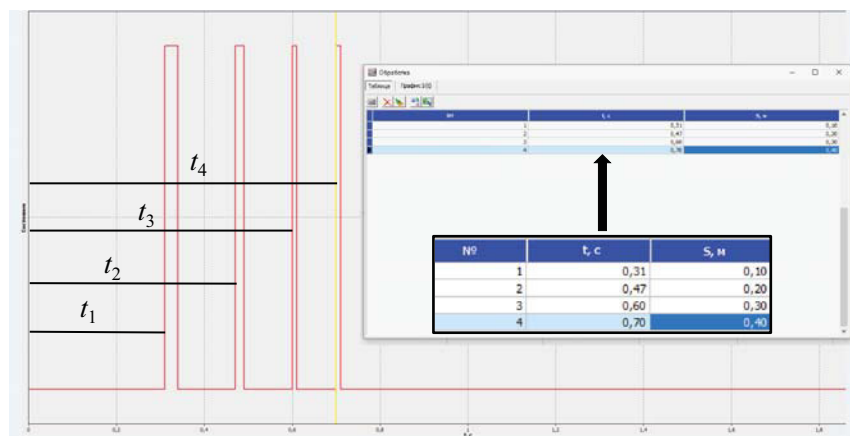


Рис. 6. Представление результатов измерения на экране планшета в виде таблицы

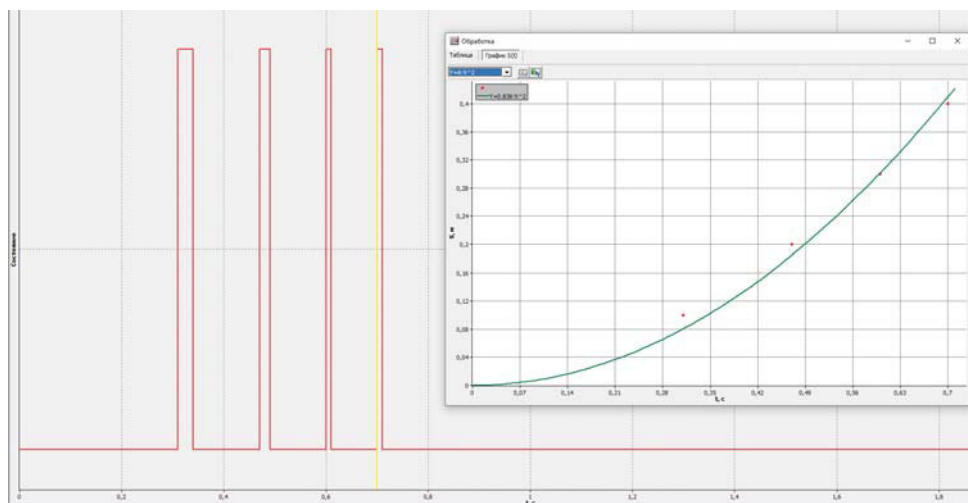


Рис. 7. Представление результатов измерений на экране планшета в виде графика

дело доходит до исследований нестационарных процессов, таких как явления электромагнитной индукции, электромагнитных колебаний и цепей переменного тока. Обычно такое явление, как электромагнитная индукция, демонстрируется на качественном уровне: показываются зависимость силы и направления индукционного тока, возникающего в катушке, при изменении скорости внесения магнита или его полярности. Но при использовании стрелочного амперметра невозможно получить временную зависимость силы тока. Можно лишь говорить о факте появления тока, но никак не охарактеризовать

его количественно. При пролёте магнита сквозь катушку изменяется магнитный поток, возникает явление электромагнитной индукции, и в катушке протекает импульс тока. Использование цифрового осциллографического датчика позволяет зарегистрировать временную зависимость возникающего индукционного тока, которая записывается в память компьютера (рис. 8). Можно не только наблюдать само явление, но и получить количественные временные характеристики ЭДС индукции и индукционного тока, строить графики изменения индукционного тока в зависимости от различных условий проведения эксперимента.

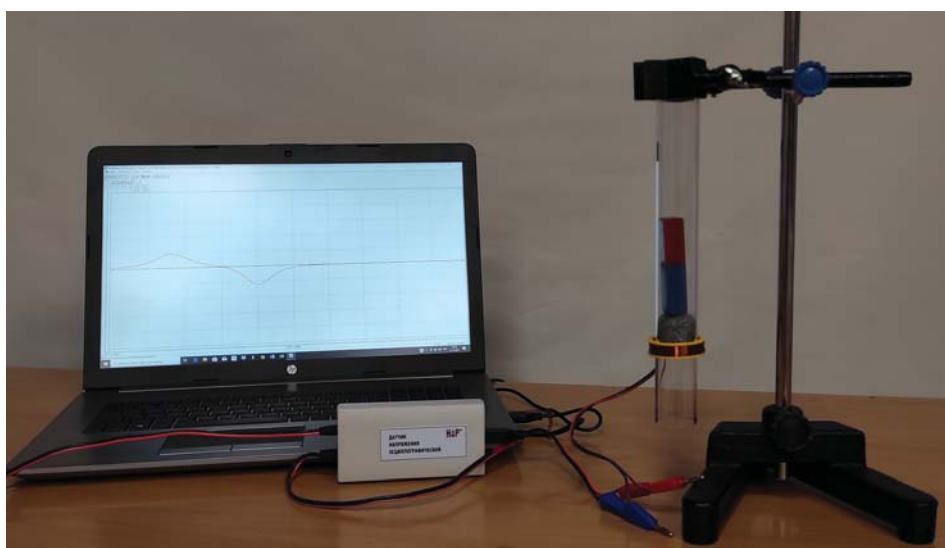


Рис. 8. Исследование явления электромагнитной индукции

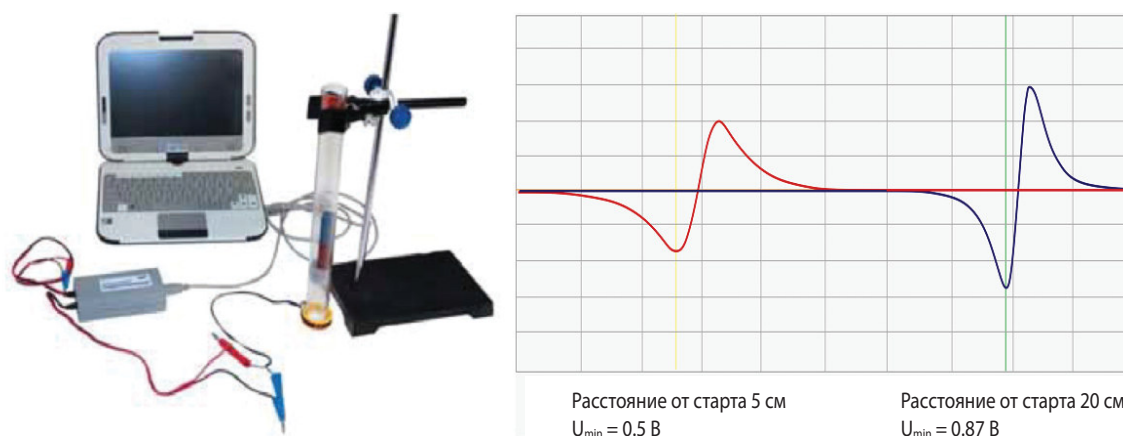


Рис. 9. Исследование явления электромагнитной индукции

Например, отпускать магнит с разной высоты, меняя тем самым скорость изменения магнитного потока во времени, изменять полярность магнита, запуская магнит северным или южным полюсом вниз, получать разное направление индукционного тока, запуская магниты разной длины или различной величины индукции магнитного поля. Фрагмент возможного варианта электронного отчёта представлен на рис. 9.

Получаемые осциллограммы ЭДС индукции позволяют поставить перед учениками ряд новых вопросов, имеющих наглядную интерпретацию: почему изменяется знак наводимой ЭДС; почему при большей высоте сбрасывания магнита максимальные значения ЭДС, регистрируемые датчиком, больше, а время записи меньше; почему модуль минимальной

ЭДС, возбуждаемый в кольце, меньше максимального положительного значения; чему соответствует время между пиками ЭДС и т. п. Все эти исследования позволят наглядно увидеть закономерности и понять факторы, от которых зависит явление электромагнитной индукции, проверить закон Фарадея для электромагнитной индукции и убедиться в справедливости правила Ленца.

Ещё один цифровой прибор, который входит в состав ноутбука, планшета или смартфона — это цифровая видеокамера. Использование программы видеозахвата и дальнейшей обработки фотографий и видеофайлов позволяет устанавливать систему координат, производить измерения координат точек в кадре, расстояния между ними, покadresные измерения, а также переносить данные

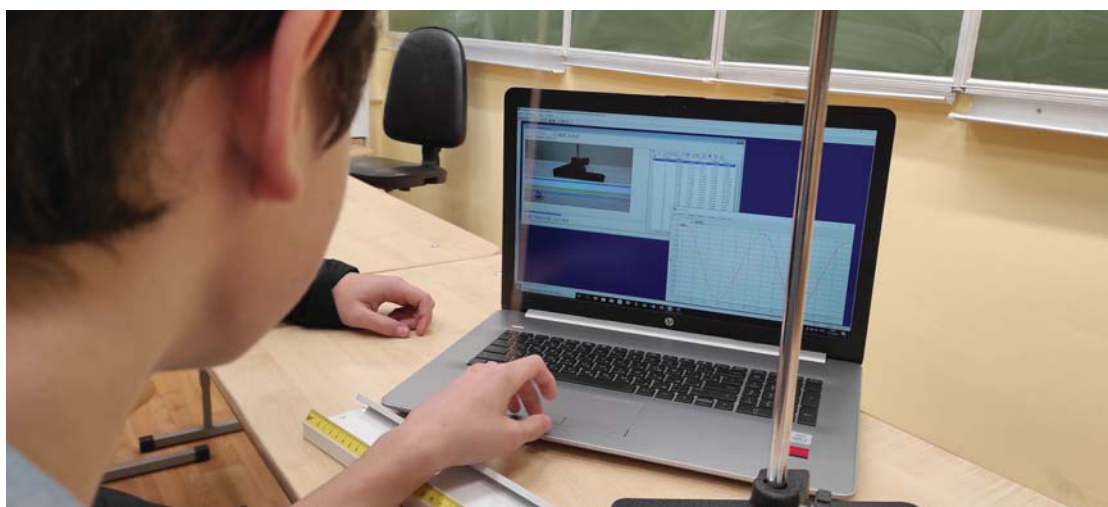


Рис. 10. Изучение колебания маятника с использованием цифровой видеокамеры

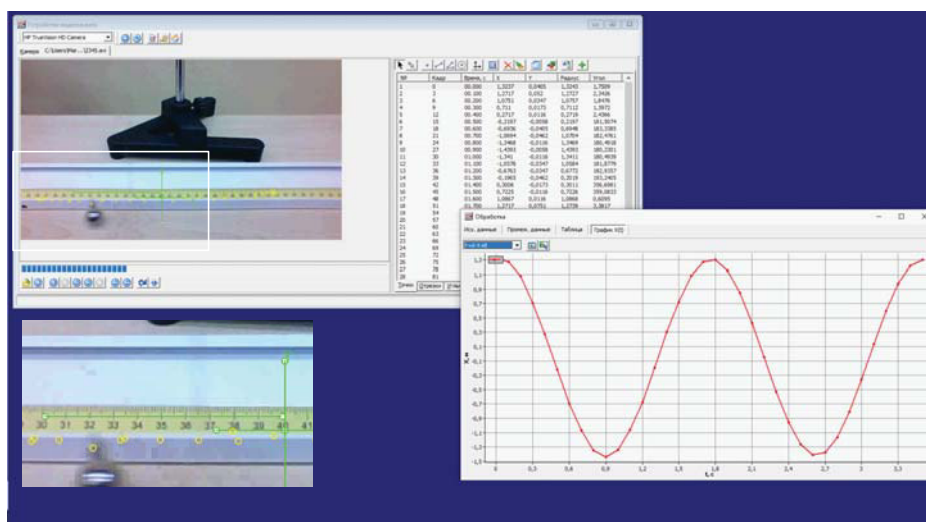


Рис. 11. Представление результатов измерений на экране планшета в виде графика и таблицы

в электронные таблицы. Цифровая видеокамера — это новый измерительный прибор, открывающий принципиально новые возможности при проведении эксперимента (рис. 10). Например, использование программы покадровой обработки видеотайла позволяет определить зависимость координаты движущегося шарика математического маятника от времени. Движение шарика представлено в виде последовательности кадров, обработка которых позволяет представить данные о движении шарика в виде таблицы, а также провести покадровую аппроксимацию движения.

Подобные возможности цифровой видеосъёмки позволяют предлагать экспериментальные задания по исследованию механических колебаний на совершенно новом качественном и количественном уровне. Появляется возможность построить временные зависимости координаты, скорости, достоверно определить амплитуду колебаний. Такие измерения традиционным визуальным способом, используя только секундомер и линейку, выполнить невозможно.

Заключение

В настоящей работе рассмотрены три ресурса для разработки экспериментальных заданий в рамках цифрового инструментария по физике: замена бумажного

отчёта электронной формой с фотографиями экспериментальной установки и проведённых измерений, конструирование заданий на базе виртуальных лабораторий и выполнение экспериментальных заданий с использованием цифровых датчиков для регистрации физических величин. Внедрение цифровых технологий в экспериментальные задания повысит их актуальность и привлекательность в сознании современного школьника. Средства цифрового инструментария открывают новые пути для обучения, дают возможность наглядного и более глубокого изучения вопросов физики, в частности, динамических процессов. Они также предлагают новые возможности для контроля и проверки знаний и умений, выстраивания индивидуальных траекторий обучения. Вместе с тем использование цифрового инструментария требует от ученика и учителя определённой подготовки. Для ученика во многих случаях принципы работы цифровых приборов, виртуальных программ, используемых методов аппроксимации остаются не раскрытыми до конца. Возможно, что цифровизация потребует разработки новых методов обучения физике. При этом один из вопросов «методики переходного периода» состоит в том, в какой последовательности и на каких этапах обучения физике потребуются задействовать указанные выше ресурсы цифровизации.