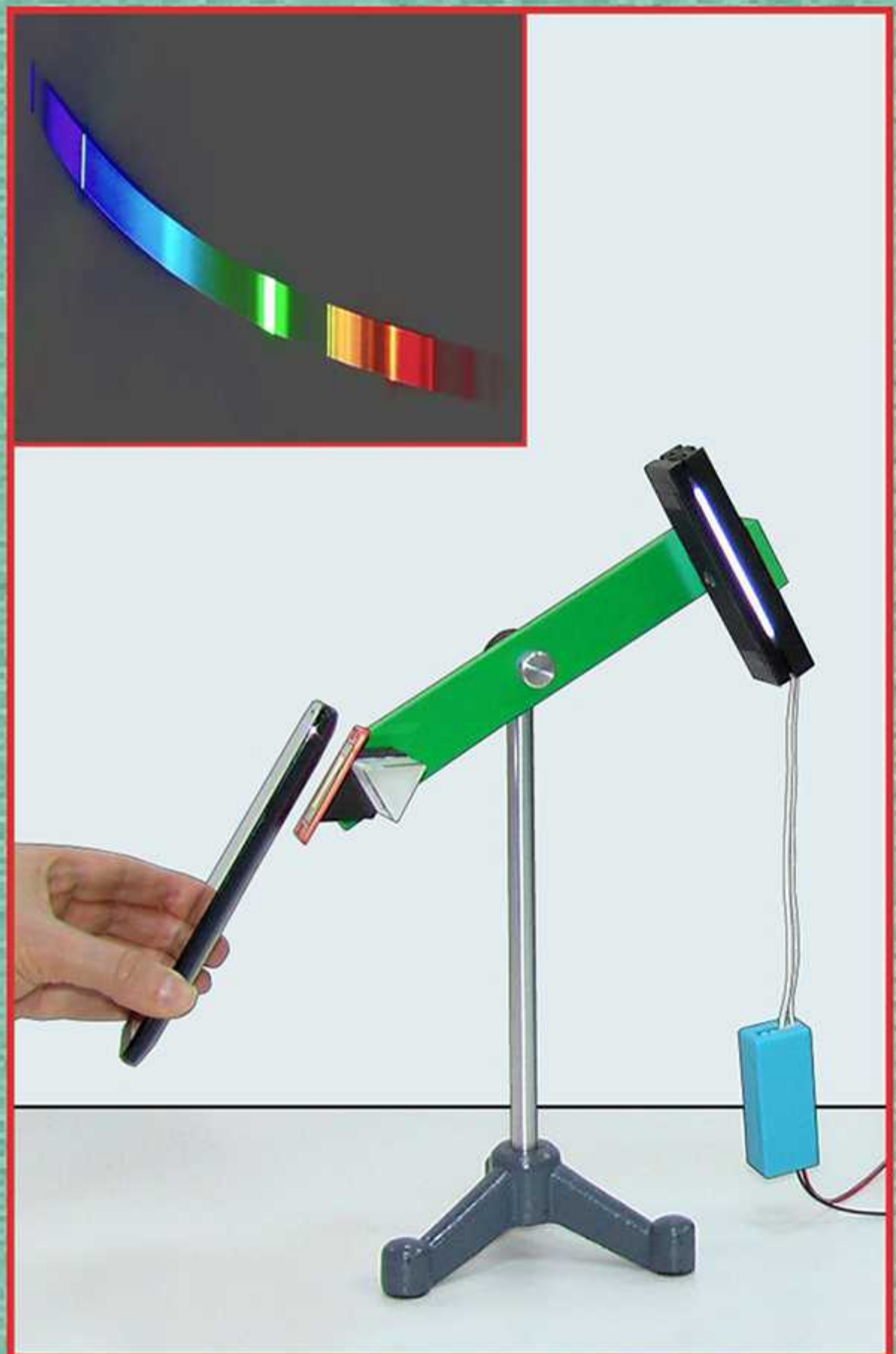


ISSN 2307-5457

УЧЕБНАЯ ФИЗИКА

4
2021



УДК 372.853

Е. И. Варакина

ИЛЛЮСТРАТИВНЫЙ И ДОКАЗАТЕЛЬНЫЙ УЧЕБНЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

В наших статьях, опубликованных в журналах «Учебная физика» № 1 и № 3, показана необходимость системной исследовательской деятельности субъектов физического образования в области учебного физического эксперимента. Чтобы сформулировать цель этой деятельности, мы предлагаем обратиться к понятиям *иллюстративного* и *доказательного* эксперимента.

Ключевые слова: учебный физический эксперимент, исследование, доказательность, иллюстративность.

«Ориентиры оптимизации» учебного физического эксперимента рассмотрены в диссертации Л. И. Анциферова [1]. Он выделил четыре ориентира: совершенствование кабинета физики путем использования ЭВМ, опора на принцип системности знаний, опора на принцип цикличности и формирование методологической культуры учащихся. С учетом исследований по дидактике физики, выполненных в последние десятилетия и связанных с проблемами реализации логики научного познания в обучении [2], основной целью исследования учебного физического эксперимента следует считать повышение его *доказательности*.

Для того, чтобы лучше понять, что такое доказательный эксперимент, рассмотрим вопрос о том, может ли эксперимент быть недоказательным. Такой эксперимент называется *иллюстративным*. Проблема и сам термин «иллюстративного» использования эксперимента рассматриваются в учебнике [3, с. 14]. Это понятие затронуто в исследовании К. А. Касаткина [4]. Теоретические идеи использования учебного физического эксперимента «как метода физического доказательства» разработаны В. В. Майером и Р. В. Майером [5] и раскрыты во многих опубликованных работах Глазовской научной школы. Однако идеи разделения учебных экспериментов на иллюстративные и доказательные встречают возражения: любой эксперимент в зависимости от методики его использования в учебном процессе может быть как иллюстративным, так и доказательным.

1. Учебный физический эксперимент с иллюстративной сущностью. Анализ известных экспериментов позволяет привести примеры опытов, которые имеют *иллюстративную сущность*.

Пример 1.1. Экспериментальное обоснование закона Ома. Во многих школьных учебниках экспериментальное обоснование закона Ома для участка цепи рекомендуется осуществлять методом амперметра и вольтметра. На рис. 1.1 показана демонстрационная установка для определения зависимости силы тока в резисторе от напряжения на его концах. На рис. 1.2 дан график получающейся зависимости. Оба эти рисунка взяты из учебника [6, с. 120], в котором отсутствуют указания на способ изменения силы тока. Зависимость силы тока от сопротивления предлагается изучить, используя установку, приведенную на рис. 1.3; в учебнике дана таблица экспериментальных данных и изображен получающийся график (рис. 1.4 [6, с. 124–125]).

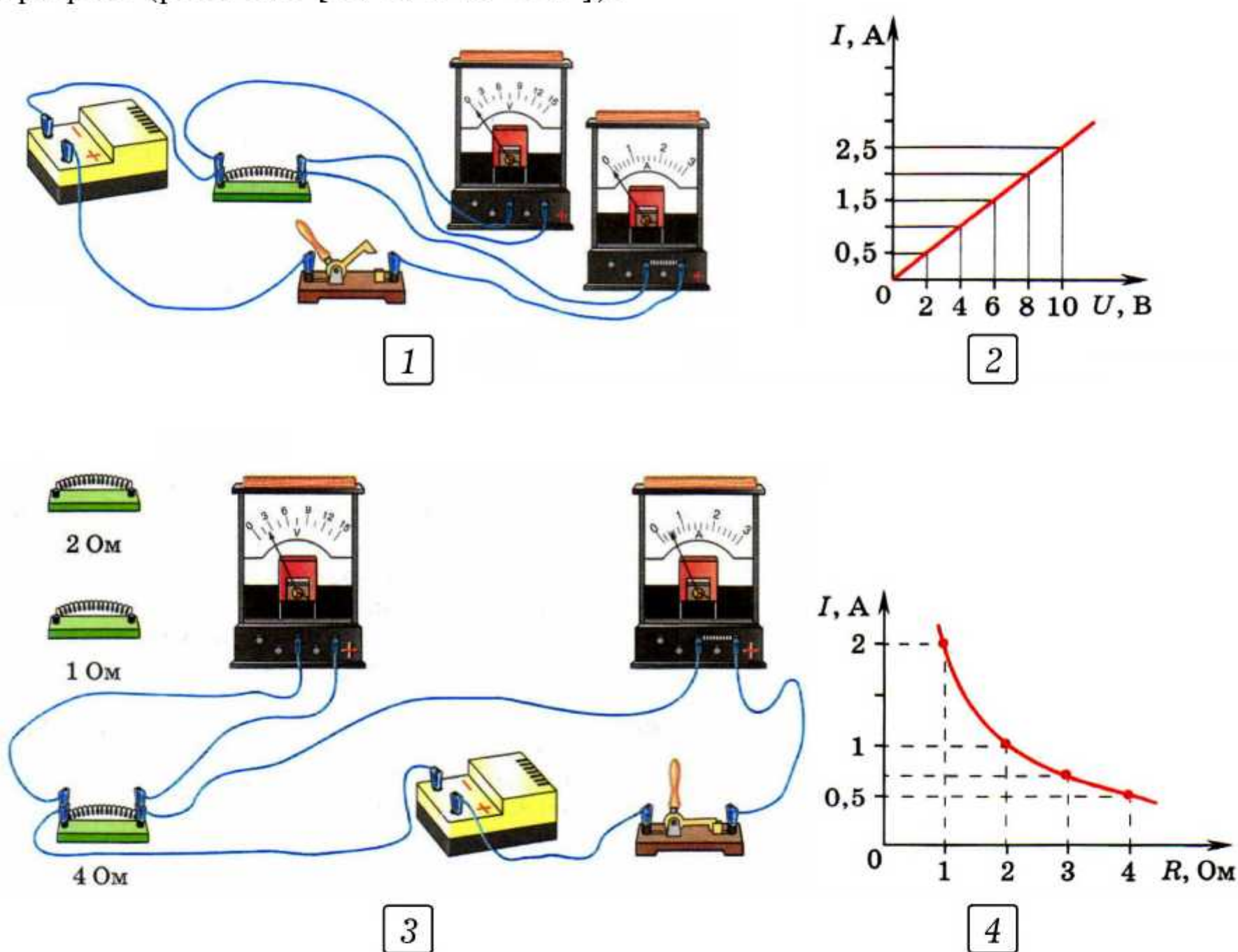


Рис. 1. Рисунки из школьного учебника физики для 8 класса [6, с. 120–125], показывающие экспериментальную установку и результаты эксперимента, традиционно используемого при изучении закона Ома

Применение рассмотренного демонстрационного эксперимента с точки зрения создания наглядного образа процесса нахождения изучаемых функциональных зависимостей вполне оправдано. Действительно, опыт наглядно показывает собираемую электрическую цепь, в нем можно произвести регулировку силы тока, учащиеся наблюдают изменения показаний приборов в соответствии с законом Ома. Но этот опыт является иллюстративным, так как амперметр и вольтметр измеряют одну и ту же величину — силу тока —

в разных участках цепи. Поэтому делать из него вывод о справедливости закона Ома для участка цепи нет оснований.

В учебнике физики Г. Я. Мякишева, Б. Б. Буховцева и Н. Н. Сотского [7, с. 294] для 10 класса представлен более корректный подход к проблеме экспериментального обоснования закона Ома для участка цепи. Там говорится, что поскольку сопротивление металлического проводника мало, то даже при большой силе тока разность потенциалов на его концах мала. Для ее измерения нужен очень чувствительный электромметр. Действие обычных приборов основано на применении закона Ома, поэтому их использование не имеет смысла. Между тем в электронном приложении к учебнику имеется видео соответствующего опыта, подобного рассмотренному в учебниках для 8 класса. В более новом издании учебника [8, с. 335–336] текст о проблеме экспериментального обоснования закона Ома отсутствует.

Таким образом, в школьном курсе физики при изучении закона Ома традиционно используется демонстрационный эксперимент, в котором применяются амперметр и вольтметр на основе магнитоэлектрических гальванометров. Такой эксперимент, как только что показано, является *иллюстративным по своей сущности*.

Пример 1.2. Демонстрация акустического эффекта Доплера. Для доказательства существования акустического эффекта Доплера в пособии [9, с. 188–190] предлагается небольшой динамик соединить с генератором звуковой частоты длинными гибкими проводами. Удерживая динамик за провода, заставляют его совершать круговые движения, чтобы он периодически приближался к классу и удалялся от него в разных участках траектории. Учащиеся замечают изменение частоты звука при приближении и удалении динамика. Однако воспроизведение данного опыта показывает, что основное наблюдаемое явление — это изменение громкости звука при движении динамика. Таким образом, эксперимент иллюстрирует условия, при которых должен наблюдаться эффект Доплера, но не доказывает его существование.

2. Иллюстративность модельных опытов. Другую группу иллюстративных по своей сути опытов образуют модельные эксперименты.

Пример 2.1. Волновая машина. Учебный эксперимент с использованием волновой машины применяется для создания наглядного зрительного образа процессов образования и распространения волны. Но он не обосновывает существование реальных бегущих, стоячих, продольных и поперечных волн разной физической природы и не доказывает применимость к ним понятий длины волны, скорости распространения, фазы волны, вводимых с помощью волновой машины.

Пример 2.2. Волны на воде. Эти опыты при использовании в школьном курсе физики чаще всего являются иллюстративными. Образы, сформированные опытами с волнами на поверхности воды, переносятся на волновые явления, относящиеся к звуковым и световым волнам, и применяются при формировании понятий интерференции и дифракции звука и света. Но явления интерференции и дифракции сами по себе служат основным признаком волнового характера физического процесса. Поэтому волны на воде иллюстрируют то, что может происходить со звуком и светом, но не доказывают существование соответствующих акустических и световых явлений. Поэтому при изучении интерференции и дифракции, а также других волновых акустических и оптических явлений необходимо создание и внедрение доказательного учебного эксперимента.

3. Иллюстративное и доказательное использование эксперимента. В большинстве случаев можно говорить не о сущностной, а о *методической иллюстративности* использования эксперимента. Она имеет место, когда эксперимент иллюстрирует готовое знание, но не доказывает следствия теории. В этом случае опыт корректно демонстрирует именно то явление, для изучения которого он используется, но методика демонстрации и объяснения такова, что доказательный потенциал опыта не раскрывается. Усовершенствовав методику демонстрации, такие опыты можно сделать доказательными.

Укажем две основные причины недоказательного применения учебного эксперимента. Первая определяется *незнанием или недостаточным использованием дидактических возможностей конкретного эксперимента*. Вторая причина состоит в применении сложной экспериментальной установки, принцип действия которой недоступен учащимся.

Вначале рассмотрим первую из указанных причин. Преодоление ее обсуждается в научно-методической литературе. Например, И. В. Гребенев и С. В. Полушкина в ряде работ подчеркивают необходимость доказательства существования физических явлений и «организации максимально возможной познавательной деятельности учащихся» средствами эксперимента [10, 11].

Пример 3.1. Акустический резонанс. В работе [11] приведен пример иллюстративного опыта и деятельность учителя по повышению его доказательности. Автор рассматривает действия учителя, который на уроке *доказывает* факт существования акустического резонанса. В опыте учитель использует два одинаковых камертона. При возбуждении колебаний одного камертона возбуждаются колебания второго. Это *иллюстративный* эксперимент, так как в нем демонстрируется частная ситуация при использовании

двух одинаковых камертонов. Далее учитель приклеивает к ветви одного камертона кусочек пластилина, и акустический резонанс не наступает (в пособии [9, с. 196] рекомендуется резиновое колечко). На этом учитель не завершает экспериментальную деятельность: наклеивается пластилин на второй камертон, и резонанс снова обнаруживается.

Пример 3.2. Электризация влиянием. В электронном приложении к учебнику физики [7] имеются видеофрагменты с демонстрационными опытами. Методика показа некоторых из них иллюстративна. Например, в стандартном опыте при демонстрации электростатической индукции выполняется электризация влиянием двух электрометров, кондукторы которых соединены проводником. Приближают к кондуктору одного электрометра наэлектризованную эбонитовую палочку, удаляют проводник и затем палочку. Делают вывод: поскольку стрелки обоих электрометров отклонились, электрометры заряжены. Однако дальнейшие действия по исследованию знаков заряда электрометров, нейтрализации их зарядов при соединении проводником, опущены. Отметим, что многие эксперименты электронного приложения к учебнику могут рассматриваться как примеры доказательных опытов, а в некоторых из них виден нестандартный подход и элементы новизны по сравнению с описанными в методической литературе.

В первом примере [11] показано, как учитель, чувствуя необоснованность теоретических утверждений и выводов, выполняет критический анализ условий и результатов эксперимента и совершенствует методику его использования на уроке. Во втором примере доказательный вариант эксперимента описан в книге [12, с. 28], его выполнение также определяется потребностью учителя в экспериментальном доказательстве получаемых теоретических выводов.

Таким образом, использование иллюстративной методики демонстрационного опыта может объясняться тем, что учитель *не чувствует* необходимости (не ощущает потребности) доказать с помощью опыта теоретические выводы и предположения или подтвердить полученные объяснения наблюдаемого явления.

4. Иллюстративность при использовании сложной экспериментальной установки. Теперь перейдем к обсуждению второй причины недоказательного применения учебного эксперимента. Как уже говорилось, иллюстративная методика использования эксперимента нередко определяется *использованием сложной экспериментальной установки без экспериментального обеспечения понимания ее работы*. Указанная ситуация наиболее характерна для экспериментов с использованием электрических цепей, оптических приборов, натуральных компьютерных опытов и т. д. Доказательность снижается также в случаях, когда устройство прибора

скрыто от глаз учащихся. В этом состоит существенный недостаток оборудования по электродинамике, выпускаемого современной промышленностью: многие элементы демонстрационных установок представлены учащимся не в их натуральном виде, а в виде блоков с условными обозначениями.

Пример 4.1. Газовые законы. Особенно часто проявляется иллюстративный характер физических опытов при использовании компьютеризированных экспериментальных установок. На рис. 2 приведены кадры из видеофрагмента «Газовые законы», имеющегося в электронном приложении к учебнику [7].

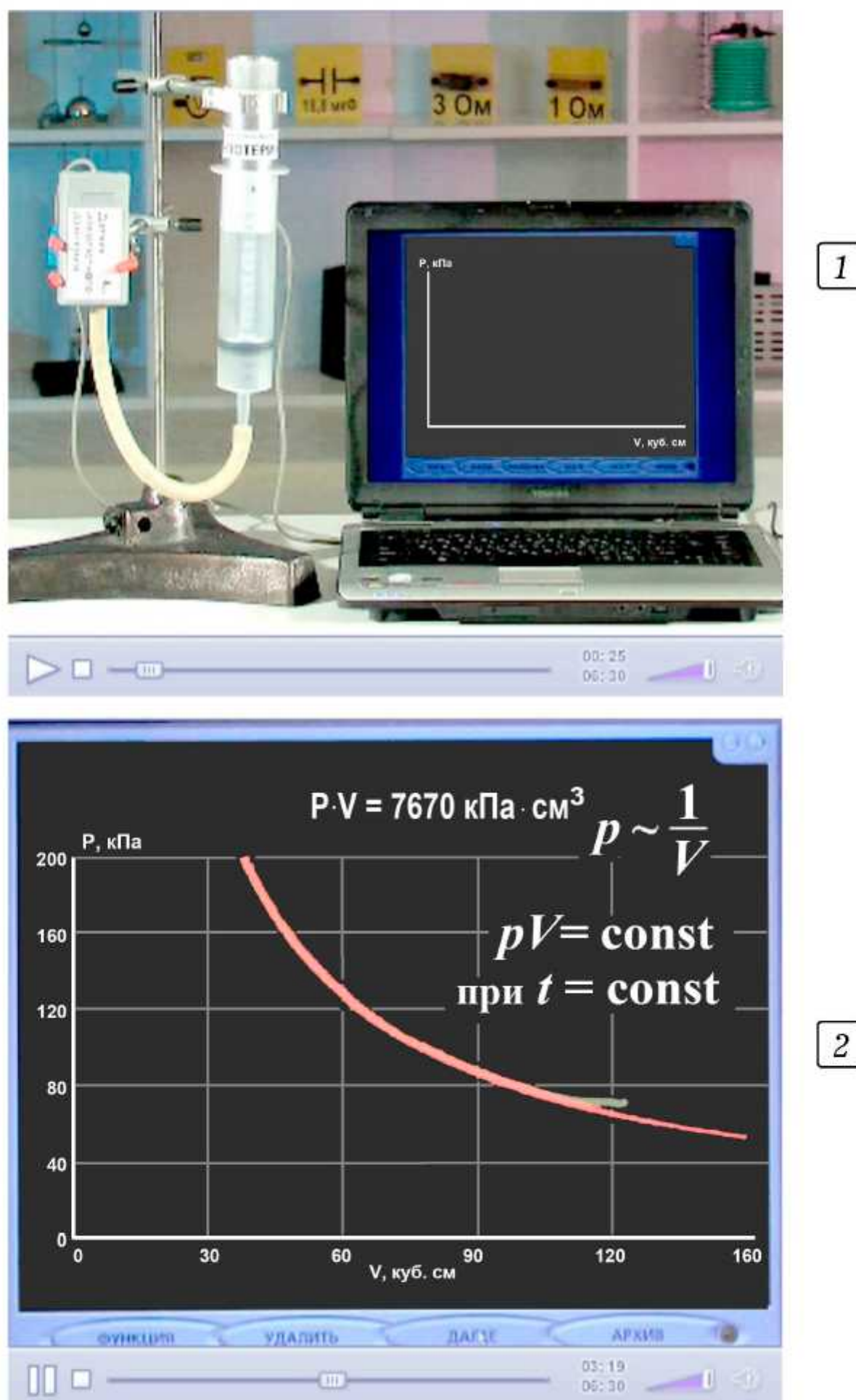


Рис. 2. Кадры из видеофрагмента «Газовые законы» электронного приложения к учебнику [7]

В начале опыта перед глазами учащихся возникает собранная экспериментальная установка (рис. 2.1) и сообщается, что в ней имеются датчик объема и датчик давления. Учащиеся также видят провода, идущие к компьютеру. Далее учитель поворачивает винт, смещающий поршень шприца, и на экране монитора появляется график зависимости давления от объема (рис. 2.2). Затем появляется построенный компьютером теоретический график гиперболы зависимости давления от объема.

Такой методически иллюстративный опыт может быть переведен в разряд доказательных. Для этого необходимо кратко ознакомить учащихся с принципом действия используемых датчиков, простыми и убедительными действиями показав, что они действительно позволяют измерить заявленные параметры газа. Сделать это можно следующим образом.

1. На монитор вывести значения измеряемого объема и показать, что при изменении объема под поршнем в два раза, показания на мониторе тоже изменяются примерно в два раза.

2. Аналогично продемонстрировать работу датчика давления, на качественном уровне показав, что когда давление увеличивается, то отображаемая на мониторе компьютера величина возрастает.

3. Критически проанализировать программу: как убедиться, что получаемый график — действительно график зависимости давления от объема? Возможно ли показать изменение этих параметров с течением времени независимо друг от друга?

Все указанные действия, их осмысление, подбор условий эксперимента, совершенствование компьютерной программы и т. д. составляют процесс дидактического исследования, приводящий к получению экспериментального обоснования положений изучаемой физической теории.

Рассмотренный пример показывает неприемлемость следования первому ориентиру оптимизации школьного физического эксперимента [1, с. 81], связанному с применением технических средств, в отрыве от других ориентиров.

Пример 4.2. Электрические цепи. Часто эксперименты с использованием электрических цепей демонстрируют на экспериментальной установке, собранной заранее. В этом случае доказательность эксперимента значительно снижается.

Встречается и противоположная крайность: учитель отказывается от использования современных приборов, например, мультиметров, считая их черными ящиками для учащихся. Мы не согласны с этой позицией и убеждены, что доступные и безопасные бытовые электронные приборы обязательно должны применяться там, где это целесообразно.

Пример 4.3. Исследование плоского конденсатора с помощью мультиметра. Современные мультиметры имеют функцию измере-

ния емкости конденсатора. Это позволяет предложить простую и убедительную лабораторную работу, в которой школьники исследуют зависимость емкости плоского конденсатора от площади обкладок, расстояния между ними, измеряют диэлектрическую проницаемость [13]. Однако ни учитель, ни школьники не знают, каков принцип измерения емкости мультиметром, а даже если знают, то эта информация нуждается в отдельной проверке, которая выходит за рамки школьного курса физики. Поэтому, чтобы повысить доказательность эксперимента, нужно начать исследование плоского конденсатора с измерения емкости тех конденсаторов, для которых она заранее известна, выписать в тетради емкости конденсаторов по их номиналам и рядом — измеренные мультиметром. Это простое задание убеждает обучающихся в том, что мультиметр действительно измеряет величину электрической емкости, и возможности этого бытового прибора можно использовать для целей учебного физического эксперимента.

Пример 4.4. Компьютерное осциллографирование колебаний маятника. Для получения осциллограммы колебаний маятника используют датчик смещения маятника из положения равновесия, устройство сопряжения датчика с компьютером и компьютерную программу, которая строит график. Доказательный эксперимент будет создан, если его условия позволят учащимся быстро понять принцип действия этих элементов и убедиться в том, что на мониторе компьютера действительно получается график реальной зависимости. Для решения этой цели в статье [14] предложены жидкостные потенциометрические датчики, работа которых наглядна и понятна учителю и школьникам. Чтобы повысить убедительность использования устройства сопряжения и программы, необходимо перед осциллографированием произвести градуировку осей компьютерного осциллографа: с помощью линейки определяют цену делений вертикальной оси осциллографа в единицах длины, а посредством секундомера градуируют горизонтальную ось в единицах времени.

На рис. 3 систематизированы рассмотренные выше виды иллюстративного учебного физического эксперимента.

5. Доказательность учебного физического эксперимента.

Таким образом, иллюстративность методики применения опыта может объясняться двумя взаимосвязанными факторами: 1) отсутствием потребности в развернутом использовании дидактических возможностей конкретного эксперимента; 2) использованием сложной экспериментальной установки без обеспечения понимания ее работы обучающимися. Иллюстративный характер нередко проявляется в экспериментах с использованием компьютерных датчиков, сложных электрических цепей, которые учитель собирает заранее,

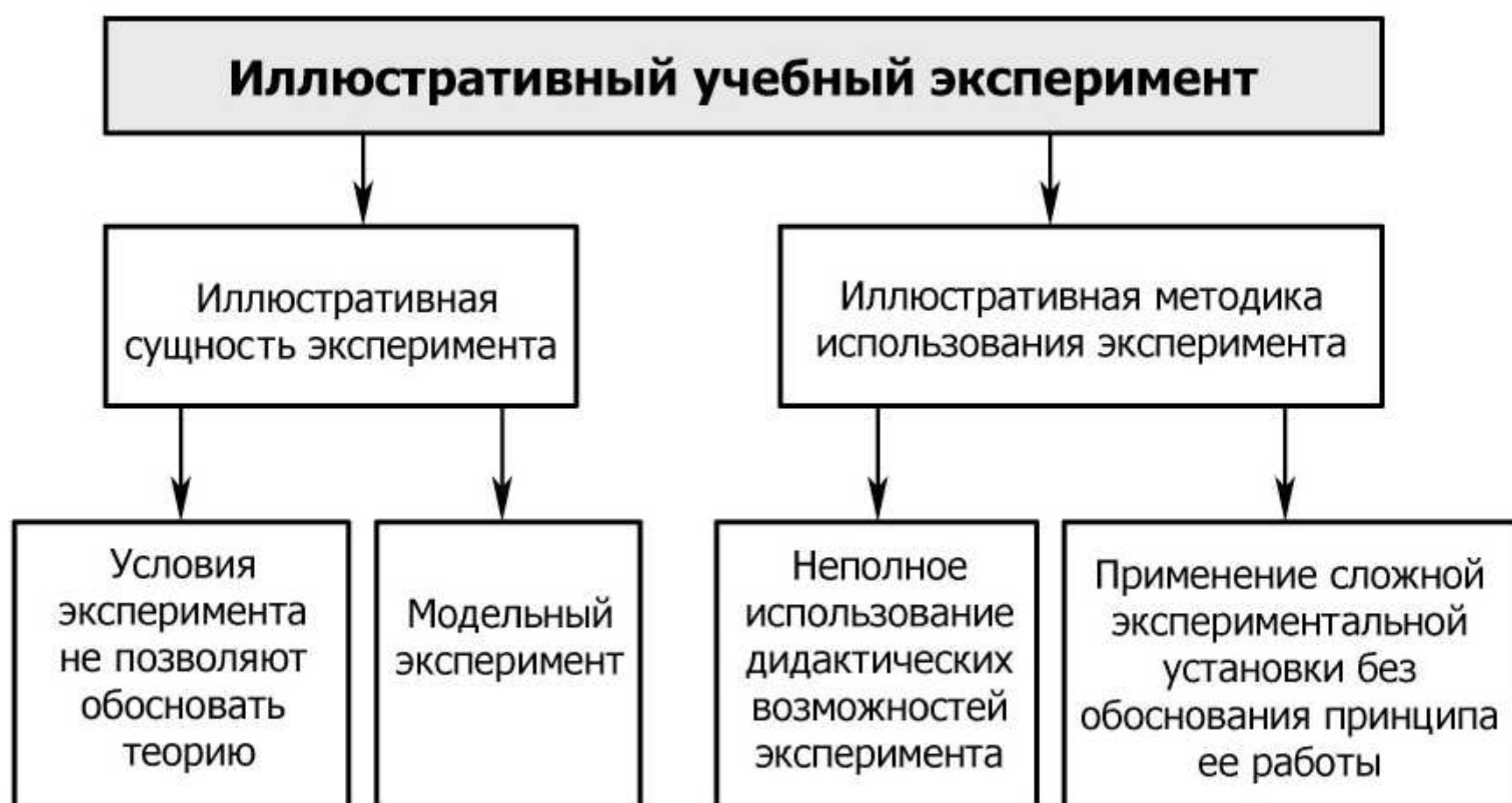


Рис. 3. Виды иллюстративного учебного физического эксперимента

а учащиеся видят только результат этой работы. Известные опыты в большинстве своем могут быть использованы и как иллюстративные, и как доказательные. В этом случае *целью* исследования учебного физического эксперимента является создание доказательной методики их применения. Однако далеко не все теоретические положения, осваиваемые учащимися в курсе физики, обеспечены доказательным учебным физическим экспериментом, так как известный эксперимент нередко небезопасен, недоступен или вообще отсутствует. Тогда *целью* исследования является *создание* нового доказательного эксперимента или *совершенствование* существующего с целью повышения его доказательности.

Таким образом, *доказательный учебный физический эксперимент* — это такой эксперимент, который в процессе обучения физике обеспечивает корректное и убедительное доказательство факта существования явления, построение его физической и математической моделей, обоснование справедливости этих моделей в границах их применимости. Это определение обозначает направление решения поставленной В. Г. Разумовским задачи «превращения школьного физического эксперимента из средства наглядности в экспериментальный метод познания».

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-013-00157. *Acknowledgments:* The reported study was funded by RFBR, project number 20-013-00157.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анциферов Л. И. Оптимизация школьного физического эксперимента: дис. ... докт. пед. наук. — Курск, 1985. — 427 с.

2. Разумовский В. Г. Проблемы теории и практики школьного физического образования: Избранные научные статьи / составитель Ю. А. Сауров. — М.: Изд-во РАО, 2016. — 196 с.
3. Элементарный учебник физики. Т. 1. Механика. Теплота. Молекулярная физика / под ред. академика Г. С. Ландсберга. — М.: Наука, 1971. — 656 с.
4. Касаткин К. А. Соответствие экспериментальных доказательств требованиям стандарта образования по физике // Учебный физический эксперимент: Актуальные проблемы. Современные решения: Программа и материалы одиннадцатой Всероссийской научно-практической конференции. — Глазов: ГГПИ, 2006. — С. 7.
5. Майер В. В., Майер Р. В. Учебный эксперимент как метод физического доказательства // Учебная физика. — 1997. — № 2. — С. 60–72.
6. Перышкин А. В. Физика. 8 кл.: учеб. для общеобразоват. учреждений. — М.: Дрофа, 2013. — 237 с.
7. Мякишев Г. Я. Физика. 10 класс: учеб. для общеобразоват. организаций с прил. на электрон. носителе: базовый и профил. уровни / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский; под ред. Н. А. Парфентьевой. — М.: Просвещение, 2013. — 366 с.
8. Мякишев Г. Я. Физика. 10 класс: учеб. для общеобразоват. организаций: базовый уровень / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский; под ред. Н. А. Парфентьевой. — М.: Просвещение, 2016. — 416 с.
9. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы: Т. 1. Механика, теплота. Пособие для учителей / В. А. Буров, Б. С. Зворыкин, А. П. Кузьмин, А. А. Покровский, И. М. Румянцев; под ред. А. А. Покровского. — М.: Просвещение, 1971. — 368 с.
10. Гребенев И. В., Полушкина С. В. Модель учебного процесса по усвоению способа получения знаний учащимися на основе школьного физического эксперимента // Модели и моделирование в методике обучения физике. Материалы докладов VII всероссийской научно-теоретической конференции. Ответственный редактор Ю. А. Сауров. — 2016. — С. 4–8.
11. Полушкина С. В. Роль принципа научности в организации школьного физического эксперимента // Учебная физика. — 2010. — № 5. — С. 61–66.
12. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы: Т. 2. Электричество. Оптика. Физика атома / В. А. Буров, Б. С. Зворыкин, А. П. Кузьмин и др.; под ред. А. А. Покровского. — М.: Просвещение, 1972. — 448 с.
13. Вараксина Е. И., Майер В. В. Исследование плоского конденсатора в лабораторном практикуме бакалавриата // Учебная физика. — 2020. — № 3. — С. 33–43.
14. Майер В. В. Жидкостные потенциометрические датчики смещения // Учебная физика. — 2013. — № 1. — С. 26–33.