



СОДЕРЖАНИЕ

Основная школа

В. В. Майер Е. И. Вараксина	ИСКРОВОЙ ВОЛЬТМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ	3
--------------------------------	---	---

Старшая школа

В. В. Майер И. Н. Данилов	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ	11
------------------------------	---	----

Высшая школа

С. А. Герасимов	МЕТОД НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ И МЕТОД ПЛОЩАДЕЙ: ЧТО И КОГДА ЛУЧШЕ?	20
-----------------	--	----

В. В. Майер Е. И. Вараксина	НОРМАЛЬНАЯ ДИСПЕРСИЯ СВЕТА В ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ	26
--------------------------------	--	----

Компьютер в эксперименте

Б. А. Мукушев	ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ В ФИЗИЧЕСКОМ ИССЛЕДОВАНИИ	38
---------------	--	----

Науковедение

- Ю. А. Сауров В АПН СССР: О ДУХОВНОЙ ЖИЗНИ
СТАРШЕГО ПОКОЛЕНИЯ МЕТОДИСТОВ–ФИЗИКОВ...
(Факты ушедшей реальности) 45

Исследования

- Е. И. Вараксина УЧЕБНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В СОВРЕМЕННОМ
ШКОЛЬНОМ ФИЗИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ 52

АВТОРЫ ЖУРНАЛА 71

ABSTRACTS 72

Редакция журнала:

В. В. Майер (главный редактор), Р. В. Акатов, Е. И. Вараксина, Л. С. Кропачева

Редакционный совет:

В. Е. Антонов	д.ф.-м.н., с.н.с., ИФТТ РАН, МГУ, Москва
Л. Д. Григорьева	к.ф.-м.н., доцент, МГУ, Москва
С. С. Назин	к.ф.-м.н., доцент, МГУ, Москва
Г. Г. Никифоров	к.п.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
А. Ю. Пентин	к.ф.-м.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
Ю. А. Сауров	д.п.н., профессор, член-корр. РАО, Киров
Э. В. Суворов	д.ф.-м.н., профессор, ИФТТ РАН, МГУ, Москва
Я. А. Чиговская–Назарова	к.филол.н., доцент, ректор ГГПИ, Глазов

Оргкомитет конференции:

М. Д. Даммер	д.п.н., профессор, Челябинск
П. В. Зуев	д.п.н., профессор, Екатеринбург
Ю. В. Иванов	к.п.н., доцент, Глазов
Н. Я. Молотков	д.п.н., профессор, Тамбов
Ф. А. Сидоренко	д.ф.-м.н., профессор, Екатеринбург
Т. Н. Шамало	д.п.н., профессор, Екатеринбург

Адрес редакции, издателя и типографии: 427621, Удмуртия, Глазов,

Первомайская, 25, Пединститут, Телефон: (341 41) 5–32–29.

E-mail: kropa@bk.ru

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Глазовский государственный педагогический институт имени В. Г. Короленко»

Журнал «Учебная физика» зарегистрирован Комитетом Российской Федерации по печати 4 февраля 1997 года, регистрационный № 015686, перерегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 2 мая 2017 года, ПИ № ФС77–69506.

Использование и перепечатка материалов допускаются только по договоренности с редакцией журнала.

Сдано в набор 19.11.21. Подписано в печать 09.12.21. Дата выхода в свет: 17.12.21.

Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,5.

Заказ 147. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Дифракция Френеля на щели и на проволоке (Mayer V V and Varaksina E I Study of Babinet's principle and Rayleigh criterion through elementary theory and simple experiments *Eur. J. Phys.* 42 (2021) 065302 (15pp)).

УДК 372.853:537

В. В. Майер, И. Н. Данилов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ

Рассмотрен эксперимент для проверки решения известной задачи об электрической цепи, состоящей из трех последовательно включенных гальванических элементов, образующих замкнутую цепь.

Ключевые слова: гальванический элемент, электродвижущая сила, внутреннее сопротивление, короткое замыкание, физическая задача, экспериментальная проверка.

1. Введение

Почти каждая хорошая физическая задача из чисто теоретической может быть переформулирована в экспериментальную. Наивно думать, однако, что для этого достаточно в условие задачи добавить фразу: «Полученное теоретически решение проверьте экспериментально». На самом деле перевод теоретической задачи в экспериментальную не прост и обычно требует дидактического исследования проблемы. Цель этого исследования — получение *образовательного ресурса*, пригодного для использования во *внеурочной проектной деятельности* школьников.

2. Физическая задача и ее теоретическое решение

В известном задачнике для поступающих в вузы предлагается задача: «Цепь из трех одинаковых последовательно соединенных элементов с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r замкнута накоротко (рис. 1). Какое напряжение покажет вольтметр, подключенный к зажимам одного из элементов?» [1].

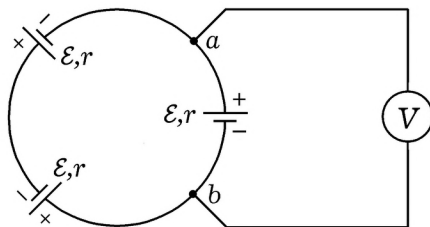


Рис. 1

В учебнике [2] та же задача приведена в следующей формулировке: «Три одинаковые батареи соединены последовательно, как показано на рис. 1. Определите показание вольтметра V . Считайте, что внутреннее сопротивление вольтметра очень велико. Укажите полярность клеммы вольтметра, соединенной с точкой a ».

Теоретическое решение этой задачи очевидно: из законов Ома для полной цепи $I = 3\varepsilon/3r = \varepsilon/r$ и для участка цепи $U = \varepsilon - Ir$ следует, что искомое напряжение $U = \varepsilon - \varepsilon = 0$.

Однако поставить учебный эксперимент по проверке этого результата может решиться далеко не каждый учитель. Чтобы понять это, мысленно представим одно за другим действия экспериментатора. Вначале он из трех одинаковых гальванических элементов с ЭДС ε , равной, скажем, 1,5 В, составляет последовательную цепь (рис. 2.1), затем эту цепь замыкает (рис. 2.2), и наконец осознает, что перед ним обычная батарея на 4,5 В, которая замкнута накоротко (рис. 2.3)! Если он в этот момент в страхе не разомкнет цепь, то очень скоро обнаружит, что короткое замыкание батареи вызывает настолько большой ток, что она сначала быстро «садится», затем сильно нагревается и, наконец, выходит из строя. Хорошо, если дело не заканчивается вскипанием электролита со всеми вытекающими отсюда неприятными последствиями.

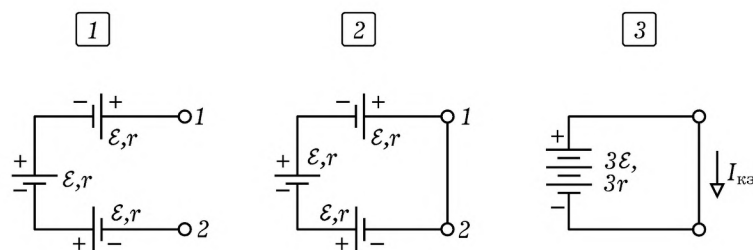


Рис. 2

Таким образом, первая формулировка задачи, в которой явно говорится о коротком замыкании батареи гальванических элементов, не вызывает у опытного учителя даже мысли о возможности воспроизведения условия этой задачи в натурном эксперименте. Вторая формулировка более приемлема, так как потенциальный экспериментатор может не сразу сообразить, что ему предстоит накоротко замыкать источник тока.

Короткое замыкание батареи имеет смысл только в одном случае, а именно, на занятии по технике безопасности, когда учитель хочет показать возможность поражения электрическим током от низковольтного и поэтому, казалось бы, совершенно безопасного источника тока. Но это замыкание обязательно должно быть кратковременным.

3. Попытка экспериментального подтверждения правильности теоретического решения задачи

Поэтому для ученического проекта рассматриваемую задачу лучше формулировать так: «Замкнутая цепь состоит из трех одинаковых последовательно соединенных элементов с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r (рис. 1); какое напряжение показывает вольтметр, подключенный к одному из элементов? Подтвердите правильность найденного решения задачи на опыте».

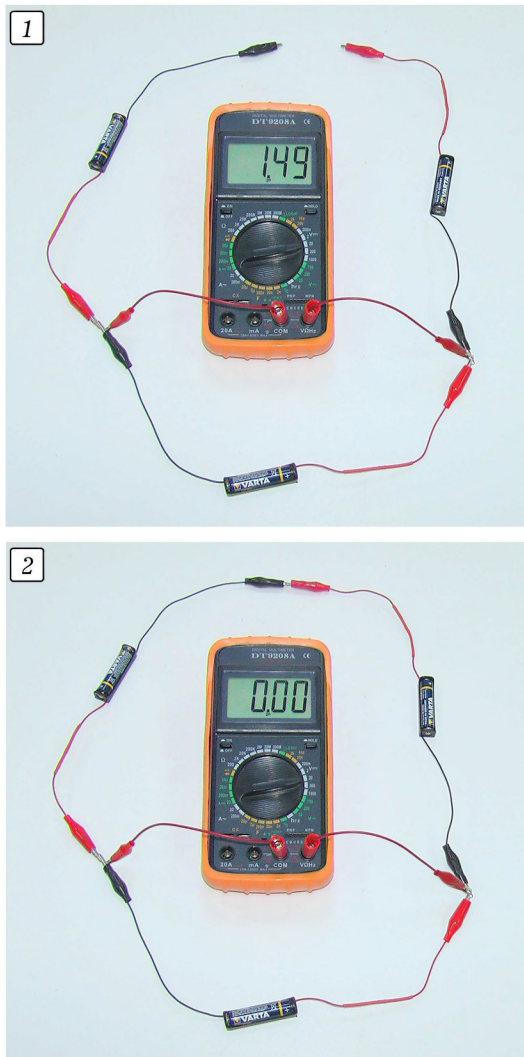


Рис. 3

Экспериментальное обоснование правильности теоретического решения задачи возможно, если организована совместная деятельность учителя и обучающихся при строгом соблюдении правил техники безопасности.

Для эксперимента нужно приобрести три одинаковых *мизинчиковых* гальванических элемента, контейнеры под эти элементы, три пары красных и черных крокодилов и подготовить мультиметр. Для определенности будем считать, что куплены алкалиновые (щелочные) элементы фирмы *VARTA ENERGY*, на корпусе которых написано *AAALR03|1,5 V*. Понятно, что *1,5 V* означает величину ЭДС элемента, загадочные символы *LR03*, скорее всего, говорят о внутреннем сопротивлении батареи, буквы *AAA* определяют размер элемента.

К выводам контейнеров припаивают крокодилы так, чтобы красный обозначал плюс, а черный — минус источника. В контейнеры вставляют гальванические элементы и собирают разомкнутую цепь из трех последовательно соединенных элементов. Мультиметром измеряют ЭДС каждого элемента и убеждаются, что на выводах всех элементов разность потенциалов одинакова (рис. 3.1).

Оставляют вольтметр соединенным с одним из элементов и замыкают цепь (рис. 3.2). При этом наблюдают, что напряжение на его выводах уменьшается до нуля. Быстро подключают вольтметр к двум остальным элементам и, убедившись, что его показания равны нулю, сразу размыкают короткозамкнутую цепь. Прикасаясь к гальваническим элементам, обнаруживают, что они нагрелись.

Отсюда следует вывод: по короткозамкнутой цепи идет большой ток, вызывающий нагрев элементов; поэтому, несмотря на нулевое напряжение на каждом элементе, их ЭДС не равны нулю.

4. Анализ экспериментальных результатов

Однако такой результат в эксперименте получается далеко не всегда: нередко вольтметр показывает, что на гальванических элементах замкнутой цепи (рис. 1) имеются небольшие напряжения.

Это объясняется тем, что элементы с одинаковыми ЭДС могут иметь разные внутренние сопротивления. Кроме того, различные значения сопротивлений имеют контакты соединений элементов в замкнутую цепь. На каждом из таких контактов происходит падение напряжения, в результате напряжения на выводах элементов в виде крокодилов отличаются друг от друга.

Далее школьники решают проблему: как нужно изменить условия эксперимента, чтобы они соответствовали условию задачи, а сам эксперимент стал безопасным? В итоге возникает понимание, что нужно увеличить внутренние сопротивления элементов так, чтобы при их коротком замыкании сила тока не превысила предельно допустимую. Для этого необходимо последовательно с каждым гальваническим элементом включить постоянный резистор, сопротивление

которого по крайней мере на порядок превышает внутреннее сопротивление элемента.

5. Сопротивление соединительных проводов

Но внутреннее сопротивление r гальванического элемента заранее достоверно неизвестно. Конечно, можно действовать из предположения, что указанное в п. 3 обозначение на корпусе элемента $LR03$ дает значение $r = 0,3$ Ом. Но надежнее на опыте определить требуемую величину.

Начать нужно с подбора электроизмерительного прибора. Для измерений напряжения пригоден мультиметр, например, типа $DT9208A$, переведенный в режим вольтметра. Внутреннее сопротивление мультиметра в этом режиме 10 МОм, что значительно превышает сопротивления участков цепей, на которых будет измеряться напряжение.

Далее выясняют возможности мультиметра при измерении небольших сопротивлений. Для этого переводят мультиметр в режим омметра и, замкнув крокодилы, расположенные на концах подводящих к прибору проводов, измеряют их сопротивление с погрешностью $0,1$ Ом. Затем подбирают постоянный резистор сопротивлением несколько ом и определяют его сопротивление с учетом сопротивления подводящих проводов.

Например, мы взяли двухваттный резистор марки $МЛТ-2$, на котором указано сопротивление $6,8$ Ом. Измеренные мультиметром значения сопротивлений резистора и многожильных соединительных проводов длиной около 15 см оказались равными $6,9$ и $0,1$ Ом. Поэтому можно считать, что сопротивление выбранного резистора действительно составляет $R = 6,8 \pm 0,1$ Ом.

Таким образом, в экспериментальном исследовании гальванического элемента нужно учитывать сопротивление образующих замкнутую цепь проводов и контактов.

6. Внутреннее сопротивление гальванического элемента

Для определения внутреннего сопротивления гальванического элемента можно собрать установку по схеме, изображенной на рис. 4. Вольтметр V подсоединяют непосредственно к элементу и

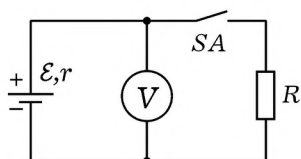


Рис. 4

измеряют им ЭДС источника тока, например, $\mathcal{E} = 1,480$ В. Далее замыкают ключ SA и измеряют напряжение на нагрузке R : например, $U = 1,420$ В. По законам Ома для полной цепи и для участка цепи имеем:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r} \quad \text{и} \quad I = \frac{U}{R}. \quad (1)$$

Приравняв правые части этих формул и выражая из получившегося равенства r , получаем, что внутреннее сопротивление источника тока равно:

$$r = \left(\frac{\mathcal{E}}{U} - 1 \right) R. \quad (2)$$

Подстановка в эту формулу приведенных в качестве примера данных нашего эксперимента дает $r = 0,29$ Ом.

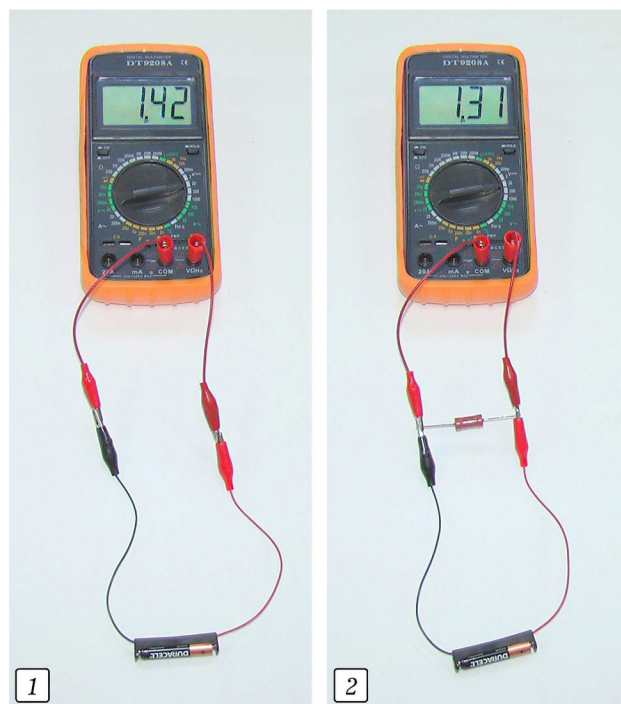


Рис. 5

Понятно, что для выполнения эксперимента мы не собирали цепь в точном соответствии с рис. 4, так как провода и контакты ключа сами имеют сопротивления, которые нужно определять и учитывать.

Мы просто подключили мультиметр, переведенный в режим вольтметра, к гальваническому элементу (рис. 5.1) и записали значение ЭДС $\mathcal{E} = 1,42$ В источника. Затем замкнули выводы источника резистором $R = 6,8$ Ом (рис. 5.2) и записали значение напряжения на этом резисторе $U = 1,31$ В. Подстановка этих значений в формулу (2) показывает, что внутреннее сопротивление использованного источника $r = 0,57$ Ом, что примерно в два раза больше, чем в приведенном выше примере. Объясняется это, конечно, тем обстоятельством, что во втором рассмотренном примере использовался поработорвавший и *посаженный* гальванический элемент.

Таким образом, экспериментальное исследование показало, что внутренние сопротивления рекомендованных выше гальванических элементов порядка 0,3 Ом. Это исследование вполне доступно школьникам. Но будет ли оно им интересно и, следовательно, полезно? Ответ на этот вопрос целиком зависит от желания и мастерства школьного учителя физики.

7. Создание нового учебного эксперимента

Вернемся к первоначальной проблеме: как в эксперименте подтвердить правильность решения задачи о напряжениях на последовательно соединенных гальванических элементах, образующих замкнутую цепь? Представленное в статье дидактическое исследование этой проблемы показало, что есть два пути: 1) подобрать максимально близкие по параметрам гальванические элементы и максимально уменьшить сопротивления проводов и контактов; 2) искусственно увеличить внутренние сопротивления элементов. Нетрудно сообразить, что второй путь быстрее приведет к цели.

Если внутренние сопротивления элементов увеличить, скажем, в 400 раз, то есть до 120 Ом, то сила тока короткого замыкания составленной из них последовательной батареи уменьшится до $I_{кз} = \mathcal{E}/r = 1,5/120 = 0,0125$ А. При этом на резисторах будет выделяться мощность $P_{кз} = I^2 r = 0,0188 \approx 0,02$ Вт. Три одинаковых резистора сопротивлением $r = 120$ Ом и мощностью 0,02 Вт нетрудно найти среди электронных компонентов. Диаметр таких резисторов не более 1,5 мм. Поэтому их легко скрыть, если впаять в разрез выводов контейнеров и заизолировать термоусадочной трубкой под цвет изоляции вывода.

В таком случае школьники не будут знать, что внутренние сопротивления элементов искусственно увеличены, а опыты станут более доступными, совершенно безопасными и многократно воспроизводимыми.

Для экспериментального обоснования решения приведенной в начале статьи задачи собирают такую же, как прежде, установку (рис. 3). В ней теперь можно использовать более качественные элементы, например типа *VARTA*, не опасаясь слишком больших токов

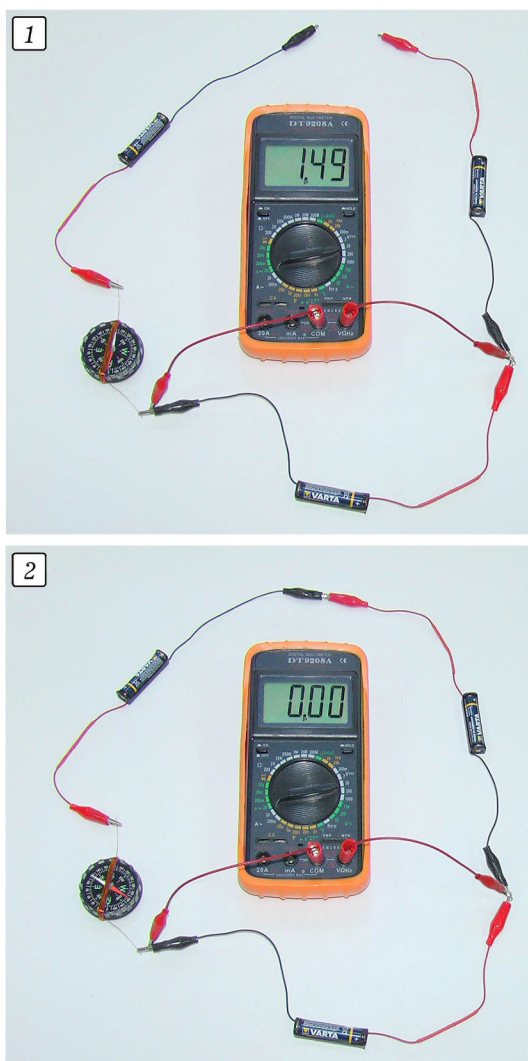


Рис. 6

короткого замыкания. В разрыв цепи из последовательно включенных гальванических элементов включают чувствительный гальванометр с небольшим внутренним сопротивлением. Такой гальванометр школьники без особого труда могут изготовить, намотав на компас обмотку из 20 витков медного провода в лаковой изоляции диаметром 0,35 мм. Сопротивление такой обмотки примерно равно

0,4 Ом, что значительно меньше внутреннего сопротивления цепи гальванических элементов, которое равно $120 \cdot 3 = 360$ Ом. Поэтому гальванометр практически не нарушает режима работы цепи.

Компас поворачивают так, чтобы его стрелка была параллельна обмотке (рис. 6.1), и мультиметр, переведенный в режим вольтметра с пределом измерения 20 В, подключают к одному из гальванических элементов разомкнутой цепи. Обучающиеся наблюдают, что вольтметр показывает наличие напряжения на элементе, а гальванометр свидетельствует, что ток не идет по разомкнутой цепи. Убеждаются, что напряжения на выводах всех элементов одинаковы.

При замыкании цепи вольтметр, подключенный к одному из элементов, показывает отсутствие напряжения, а стрелка поворачивается, стремясь занять положение, перпендикулярное проводнику с током (рис. 6.2). Убеждаются, что напряжения на всех трех элементах цепи равны нулю.

Из опыта делают вывод, что несмотря на отсутствие напряжения на гальванических элементах, образующих замкнутую цепь, по цепи идет значительный ток короткого замыкания, обусловленный ЭДС коротко замкнутой батареи последовательно включенных элементов.

8. Заключение

В статье показано, что превращение теоретической задачи в экспериментальную требует специального дидактического исследования, которое, безусловно, включает технический компонент, но преследует, главным образом, педагогические цели развития физического мышления и экспериментальных умений обучающихся.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бендриков Г. А., Буховцев Б. Б., Керженцев В. В., Мякишев Г. Я. Задачи по физике для поступающих в вузы: Учеб. пособие для подготовит. отделений вузов. — М.: Физматлит, 2005. — 344 с.
2. Грачев А. В., Погожев В. А., Салецкий А. М., Боков П. Ю. Физика: 11 класс : базовый уровень : профильный уровень : учебник для учащихся общеобразовательных учреждений. — М.: Вентана-Граф, 2012. — 404 с.

Глазовский государственный
педагогический институт

Поступила в редакцию 31.08.21.

ABSTRACTS

Mayer V. V., Varaksina E. I. Spark voltmeter for measuring high voltage. A simple spark voltmeter for measuring high voltage is described. The device can be made when students are performing an educational and research project and used in demonstration experiments in school lessons. *Keywords:* spark discharge, breakdown voltage, spark voltmeter, educational and research project.

Mayer V. V., Danilov I. N. Experimental verification of the solution of a physical problem. An experiment is considered to test the solution of a well-known problem relative to an electrical circuit consisting of three series-connected galvanic cells forming a closed circuit. *Keywords:* galvanic cell, electromotive force, internal resistance, short circuit, physical problem, experimental verification.

Gerasimov S. A. Least-square method and area-method: what's better? The least-square method is not at all a panacea at approximation of experimental data. There exists another way of describing experimental dependences, which sometimes gives incomparable better results. *Keywords:* approximation, least-square method, root-mean-square error, modeling.

Mayer V. V., Varaksina E. I. Normal light dispersion in demonstration and laboratory experiments. Demonstration and laboratory experiments on qualitative and quantitative educational research of normal light dispersion are proposed. The objects of the study are the Amichi direct vision prism and the triangular equilateral prism made of flint glass of the TF3 brand. Simple and affordable devices for demonstration, observation and photographing dispersion curves on a smartphone are described. Manual and computer methods of processing experimental results are considered. *Keywords:* normal dispersion of light, lecture demonstration, laboratory work, educational research, dispersion curve, photographing on a smartphone.

Mukushev B. A. Computational experiments in physical research. The article deals with the implementation of computational (computer) experiments in the study of physical phenomena. The main stages of conducting computational experiments are highlighted. The issues of creating physical, mathematical and computer models of the objects under study are considered. These models form the basis of each stage of the computational experiment. The article describes the method of using the MathCAD during the experiment. *Keywords:* computational experiment, physical, mathematical and computer model, computational algorithm, numerical analysis, MathCAD application software package.

Saurov Yu. A. At the Academy of Pedagogical Sciences of the USSR: about the spiritual life of the older generation of methodologists-physicists ... (Facts of a bygone reality). The article reveals some features of the professional life of methodologists-physicists of the older generation: discipline, accuracy, attentiveness, content, etc. *Keywords:* physics education, methods of communication and activity, letters.

Varaksina E. I. Educational experiment in modern school physics education. The results of an ascertaining pedagogical experiment aimed at identifying the problems of using educational experiments in teaching physics at school are presented. *Keywords:* physics teacher, school graduate, school physics room, educational equipment, knowledge of experiment.