



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, Е. И. Вараксина

ИСКРОВОЙ ВОЛЬТМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Описан простой искровой вольтметр для измерения высокого напряжения. Прибор может быть изготовлен при выполнении учащимися учебно-исследовательского проекта и использован в демонстрационных опытах на школьных уроках.

Ключевые слова: искровой разряд, напряжение пробоя, искровой вольтметр, учебно-исследовательский проект.

В школьных опытах по электростатике часто забывают о необходимости измерения напряжения [1]. В результате обучающиеся не имеют даже приблизительного представления о значениях напряжений, с которыми работает учитель, демонстрирующий электростатические явления. Поэтому после введения понятий потенциала и разности потенциалов, мы рекомендуем продемонстрировать простой измеритель напряжения, который называется *искровым вольтметром*. Это позволяет, помимо прочего, еще в электростатике ввести понятие вольтметра как прибора, предназначенного для измерения электрических напряжений.

Материал этой статьи представляет собой дидактический ресурс внеурочного учебно-исследовательского проекта для группы учащихся восьмых и(или) десятых классов. Статья включает 5 пунктов, каждый из которых написан так, что его можно предложить непосредственно школьникам, выполняющим конкретное задание коллективного проекта. Полученные в проектной деятельности результаты предназначены для использования на школьных уроках. Одна из главных целей этого проекта — приучить обучающихся к жесткой самодисциплине и неукоснительному соблюдению правил техники безопасности в процессе экспериментальной деятельности.

1. Учебный пьезогенератор из бытовой пьезозажигалки

На рис. 1 приведена фотография, показывающая внешний вид и устройство частично разобранной пьезозажигалки: 1 — прибор, только что принесенный из магазина; 2 — внешний металлический электрод разрядника; 3 — внутренний электрод разрядника в форме короткой тупой иглы; 4 — крепежные винты; 5 — пластмассовая крышка; 6 — пластмассовый корпус пьезозажигалки с установленным в нем пьезогенератором, который проводами соединен с электродами разрядника.

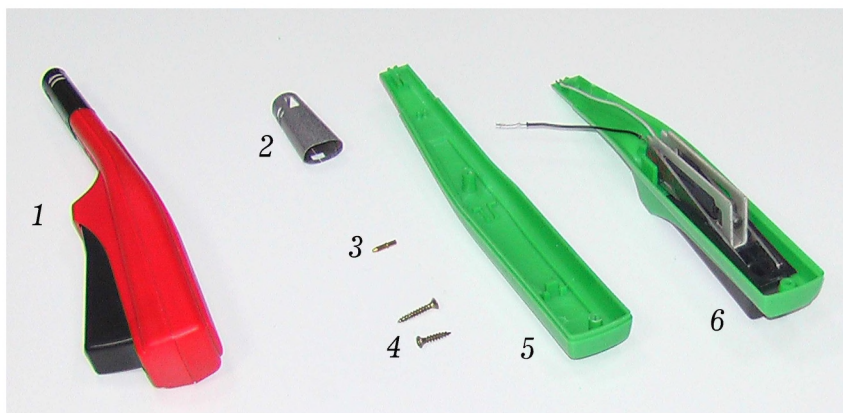


Рис. 1. Пьезозажигалка в сборе и со снятой крышкой корпуса

Внимательно рассмотрите рабочий конец действующей пьезозажигалки. Вы увидите, что на нем закреплен разрядник, состоящий из металлического наконечника с отогнутым внутрь острием и расположенной по оси наконечника короткой тупой металлической иглы. Несколько раз нажмите на клавишу пьезозажигалки. Вы услышите характерный треск от электрических разрядов, происходящих в воздухе, и заметите искры, проскакивающие между электродами разрядника.

Аккуратно разберите пьезозажигалку и к выводам пьезогенератора, соединяющим его с разрядником, припаяйте гибкие многожильные провода длиной не менее 30 см в хорошей полихлорвиниловой изоляции разного цвета. Места паяк надежно заизолируйте отрезками термоусадочных трубок. К концам проводов припаяйте крокодилы красного и черного цвета так, чтобы красный соответствовал центральному электроду, а черный — обозначал второй электрод пьезозажигалки.

Вот и все: из бытовой пьезозажигалки вы изготовили настоящий физический прибор — простой и безопасный пьезогенератор

для учебных экспериментов (рис. 2). Нажимая на клавишу этого прибора, убедитесь, что между его крокодилами проскакивают искры. Продумайте и поставьте простые опыты, в которых источником электричества служит учебный пьезогенератор.

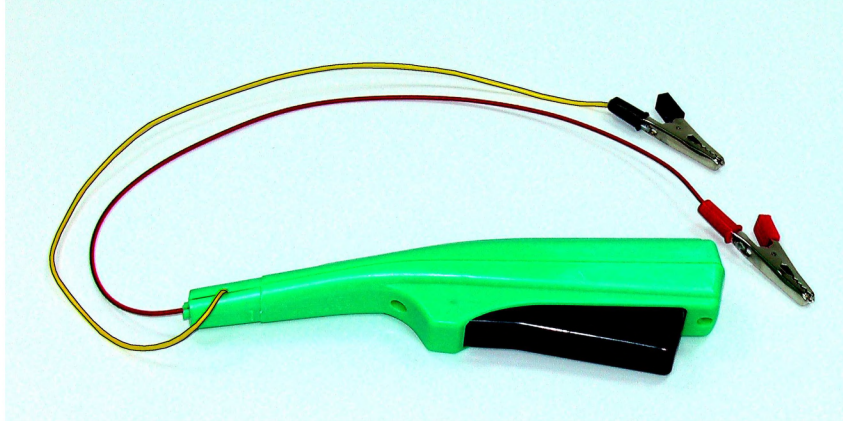


Рис. 2. Пьезогенератор для учебных опытов, изготовленный из пьезозажигалки

2. Принцип действия искрового вольтметра

Оценить напряжение, развиваемое пьезогенератором, можно по максимальной длине искры, которая возникает между электродами, находящимися в воздухе при нормальных условиях [2, с. 210]. Известно, что максимальная величина воздушного промежутка между поверхностями двух металлических шаров радиусом 5 см, который еще пробивается напряжением $U_m = 20$ кВ, составляет примерно $l_m = 6$ мм [3, с. 124]. К слову сказать, если шары заменить острями, то это значение возрастает до $l'_m = 16$ мм, то есть становится почти в три раза больше ($l'_m/l_m = 2,7$). В учебных экспериментах со сравнительно невысокими напряжениями допустимо приближенно считать, что разрядный промежуток между шаровыми электродами и его пробойное напряжение прямо пропорциональны: $l_m \sim U_m$.

В Интернете и других источниках информации найдите сведения о различных измерителях разности потенциалов или электрического напряжения. Сравните различные способы измерения напряжения и оцените их с точки зрения доступности и возможности использования на уроках физики. Систематизируйте полученные при этом знания в компьютерной презентации.

3. Искровой вольтметр для демонстрационных опытов

В школьном кабинете физики есть все приборы, которые необходимы для сборки искрового вольтметра.

На подъемном столике расположите два одинаковых металлических шара диаметром 100 мм от электрометров. На одном из шаров крокодилем закрепите горизонтально линейку с миллиметровыми делениями. Если вы хотите повысить точность измерения, то в подходящем графическом редакторе компьютера нарисуйте шкалу с ценой деления 0,5 мм, распечатайте ее на плотной белой бумаге на лазерном принтере и наклейте на пластмассовую полоску. На втором шаре крокодилем закрепите указатель (рис. 3).

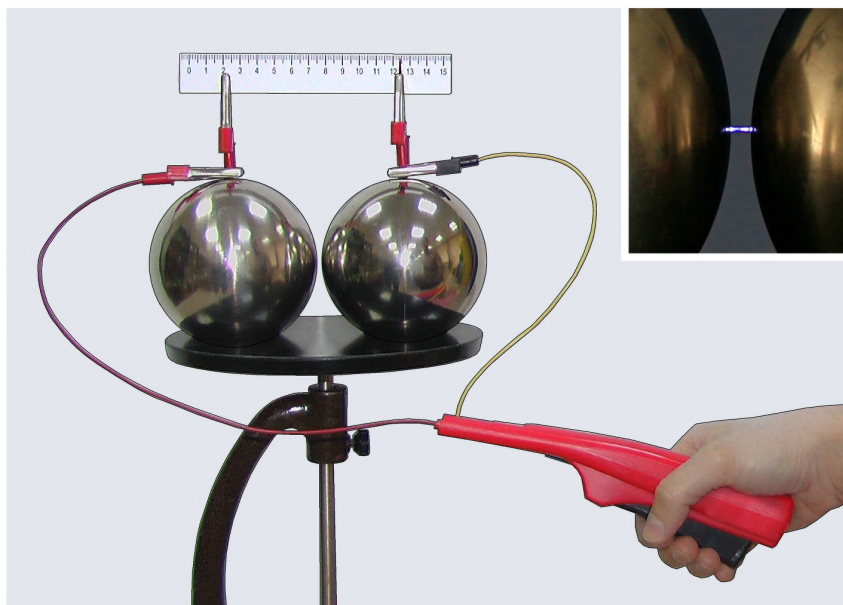


Рис. 3. Определение напряжения пьезогенератора по длине искры

С шарами соедините выводы изготовленного вами пьезогенератора, приведите шары в соприкосновение и запомните значение, которое показывает указатель. Отодвиньте шар с указателем на 1–2 мм и нажмите на клавишу пьезогенератора. Вы увидите, что между шарами проскакивает несколько искр, и услышите характерный треск. Это хорошо знакомый вам искровой разряд в воздухе, который создан пьезогенератором.

Замкните шары проводом и, немного отодвинув один шар от другого, вновь получите искру. Разрядите пьезогенератор и повто-

рятьте опыт до тех пор, пока вы не убедитесь, что получили максимально длинную в условиях эксперимента искру (рис. 3, справа вверху). Из значения, которое в этом случае показывает указатель, вычитите первоначальное. Так вы с приемлемой точностью измерите максимальную длину l искры между шаровыми электродами. Тогда напряжение между ними равно:

$$U = \frac{U_m}{l_m} l. \quad (1)$$

В одном из наших опытов максимальная длина искрового промежутка между шарами разрядника оказалась равной $l = 3,5$ мм. Согласно формуле (1) это значит, что максимальное напряжение, даваемое пьезогенератором, $U \approx 12$ кВ. Разумеется, мы повторили опыт с разрядником, состоящим из двух острых электродов. Получилось, что $l = 10$ мм, тогда напряжение пьезогенератора $U \approx 12,5$ кВ. Проверьте! Последнее дело, когда экспериментатор что-то берет на веру.

4. Измерение высоких напряжений

Описанный в предыдущем пункте прибор называется *искровым вольтметром*. До сих пор кажущиеся примитивными искровые вольтметры применяются в установках, которые работают с напряжениями в сотни тысяч и миллионы вольт. Попробуйте своим искровым вольтметром измерить напряжения высоковольтных источников, имеющихся в школьном кабинете физики: преобразователя «Разряд-1», высоковольтного индуктора ИВ-100, электрофорной машины и современных высоковольтников.

Например, мы нашли старенькую электрофорную машину и подсоединили к ее кондукторам искровой вольтметр, расположенный на подставке из хорошего изолятора (рис. 4). Работали с искровым вольтметром в последовательности, описанной в предыдущем пункте, не забывая после каждого измерения разряжать конденсаторы электрофорной машины.

Получилось, что максимальная длина пробоя между шаровыми электродами $l = 13,0 \pm 0,3$ мм. Тогда напряжение, развиваемое электрофорной машиной, равно:

$$U = \frac{U_m}{l_m} l = \frac{20}{6} 13 = 43 \text{ (кВ)}.$$

Мы оцениваем относительную погрешность измеренного напряжения $\Delta U/U = 0,15$, а какова ваша оценка этой погрешности?

Демонстрируя измерение напряжения электрофорной машины на школьном уроке, обязательно покажите, чем электрическое на-

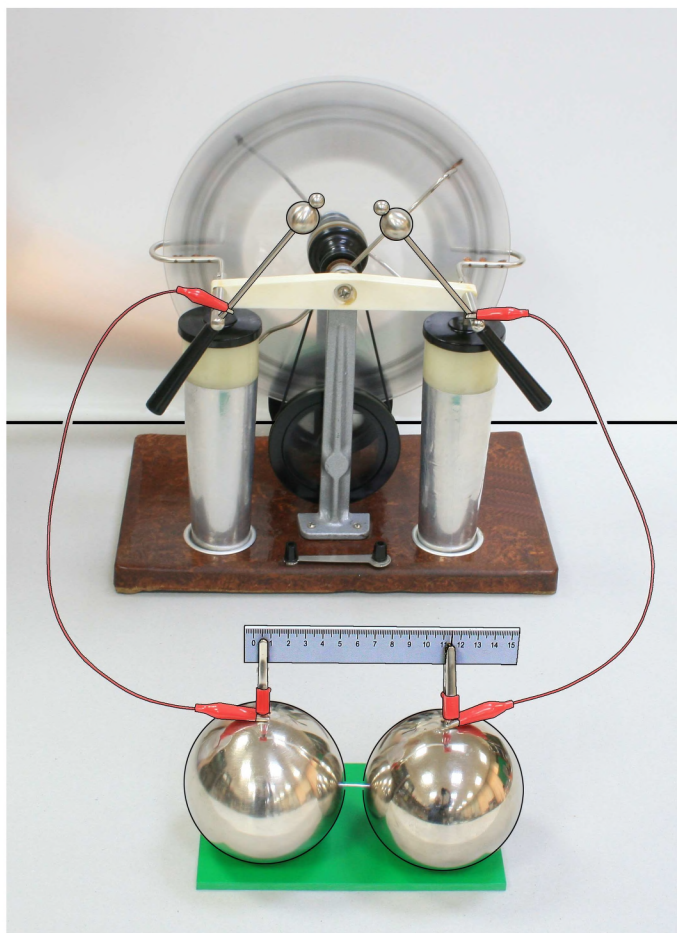


Рис. 4. Определение напряжения на выходе электрофорной машины

пряжение отличается от электрического тока. Для этого достаточно разомкнуть переключку между лейденскими банками, находящуюся на основании электрофорной машины. Вы обнаружите, что искра между шаровыми электродами вольтметра становится значительно более слабой, однако ее максимальная длина не изменяется. Это означает, что отключение лейденских банок приводит к уменьшению зарядов на кондукторах электрофорной машины. При этом уменьшается сила тока электрических разрядов, а разность потенциалов между электродами остается прежней.

5. Сравнение искровых вольтметров с различными разрядниками

Если два разрядника, электроды одного из которых заканчиваются шарами, а другого — острьями, соединить параллельно, то можно подобрать такие максимальные расстояние между их электродами, при которых искры еще проскакивают в каждом разряднике. Это позволяет сравнить длины искровых промежутков между острыми и тупыми электродами. Одна из возможных экспериментальных установок для проведения такого сравнения показана на фотографии, приведенной на рис. 5.

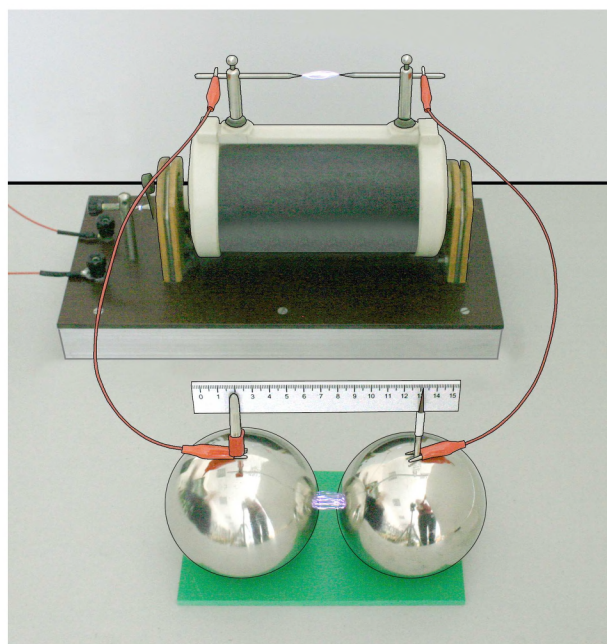


Рис. 5. Сравнение искровых разрядов между металлическими шарами и острьями

На рис. 5 вы видите катушку Румкорфа, выпускавшуюся для школ в советский период как *высоковольтный индуктор ИВ-100*. Кондукторы этого источника снабжены острьями, параллельно которым подключен искровой вольтметр с шаровым разрядником. В опыте подобрано такое максимальное расстояние между шарами вольтметра, при котором искры проскакивают в обоих разрядниках. Измерения показывают, что $l_m = 9$ мм и $l'_m = 30$ мм. Отношение этих величин близко к указанному в п. 2.

Изготовьте простой и безопасный разрядник с остриями и в экспериментах с пьезогенератором сравните искровые вольтметры с различными разрядниками. Перечислите достоинства и недостатки искровых вольтметров и попробуйте предложить более совершенный измеритель напряжения для учебных опытов по электростатике. Желаем успеха!

ЛИТЕРАТУРА

1. Майер В. В., Вараксина Е. И., Корнев Ю. А. Абсолютный метод измерения напряжения в физическом практикуме бакалавриата // Учебная физика. — 2021. — № 1. — С. 13–25.
2. Элементарный учебник физики: Учеб. пособие. В 3 т. / Под ред. Г. С. Ландсберга: Т. 2. Электричество и магнетизм. — М.: Физматлит, 2001. — 480 с.
3. Кошкин Н. И., Ширкевич М. Г. Справочник по элементарной физике. — М.: Наука, 1982. — 208 с.

Глазовский государственный
педагогический институт

Поступила в редакцию 01.09.21.

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.