

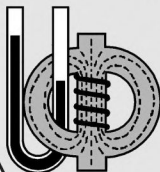
ISSN 2307-5457

*Primum
inter pares*

Материалы XXVI Всероссийской
научно-практической конференции

„Учебный физический эксперимент:
Актуальные проблемы. Современные
решения“

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ОБРАЗОВАНИЯ



УЧЕБНАЯ ФИЗИКА

Октябрь - декабрь 2021 №4

Издается с января 1997 года

СОДЕРЖАНИЕ

Основная школа

- В. В. Майер ПРОСТОЕ И НАДЕЖНОЕ КОЛЕСО ФРАНКЛИНА 3
Ю. А. Корнев

Старшая школа

- В. В. Майер УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ
Е. И. Вараксина ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА 8

- В. В. Майер ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УЧЕБНЫХ
Е. И. Вараксина ОПЫТОВ ПО КРИВОЛИНЕЙНОМУ
И. А. Васильев РАСПРОСТРАНЕНИЮ СВЕТА 20
К. М. Курбоналиев

Высшая школа

- В. В. Майер ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ
Е. И. Вараксина ПРИНЦИПА ГЮЙГЕНСА 24
К. М. Курбоналиев

- В. В. Майер ПРЕВРАЩЕНИЕ ЭЛЛИПСА В ПАРАБОЛУ 31
А. А. Попова

Компьютер в эксперименте

- С. В. Марков ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКА ХОЛЛА
 ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ
 В НАТУРНОМ КОМПЬЮТЕРНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ 36

- Е. И. Вараксина ПРОБЛЕМА ФОРМИРОВАНИЯ НАГЛЯДНОГО
О. Л. Соколова ОБРАЗА ИНТЕРФЕРЕНЦИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЛН ... 44

Науковедение

Ю. А. Сауров	О СОВРЕМЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ТВОРЧЕСКИХ СПОСОБНОСТЕЙ (к 50-летию защиты докторской диссертации В. Г. Разумовским)	49
--------------	---	----

Исследования

Е. И. Вараксина	ИЛЛЮСТРАТИВНЫЙ И ДОКАЗАТЕЛЬНЫЙ УЧЕБНЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ	58
-----------------	---	----

АВТОРЫ ЖУРНАЛА	68
ABSTRACTS	69
СТАТЬИ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ В ЖУРНАЛЕ В 2021 ГОДУ	71

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, Педагогический институт, 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 01.12.21. Подписано в печать 09.12.21. Дата выхода в свет: 17.12.21. Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,5.

Заказ 148. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Установка для фотографирования дисперсионной кривой (Майер В. В., Вараксина Е. И. Нормальная дисперсия света в демонстрационных и лабораторных экспериментах // Учебная физика. — 2021. — № 3. — С. 26–37).

УДК 372.853:537

В. В. Майер, Е. И. Вараксина

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА

Рассмотрены устройство и принцип действия пьезоэлектрического генератора. Описана серия простых экспериментов по учебному исследованию пьезоэлектрического источника высокого напряжения. Статья представляет собой дидактический ресурс проектной деятельности, предназначенный для учащихся и учителей старшей школы.

Ключевые слова: пьезогенератор, электрометр, простые эксперименты, учебное исследование, дидактический ресурс.

Насколько нам известно, отечественные пьезогенераторы типа пьезозажигалок были разработаны и внедрены в производство в 80-е годы прошлого века. История создания этих приборов подробно изложена в статье изобретателя Э. Кагана [1], которая в увлекательной форме написана простым и ясным языком. Мы с удовольствием еще раз перечитали эту статью и взяли из нее схематический рисунок типичного пьезогенератора зажигалки.

Достоверные сведения о пьезоэффекте лучше всего получить из хорошего вузовского учебника физики. Мы рекомендуем книгу С. Г. Калашникова, содержание которой вполне доступно учащимся старших классов, если на первых порах не обращать внимания на формулы [2, с. 104–114].

Допустим, в вашем распоряжении имеется самостоятельно изготовленный из пьезозажигалки высоковольтный источник и вы научились измерять его напряжение [3]. Будем считать, что вы работаете в школьном кабинете физики под руководством учителя, который доверяет вам не слишком сложные приборы и зорко следит за вашими действиями, оперативно предотвращая возможные нарушения техники безопасности.

Поставим перед собой задачу: разобраться в устройстве и принципе действия пьезогенератора, лежащего в основе бытовых пьезозажигалок.

1. Разбираем пьезозажигалку и рассматриваем пьезогенератор

Если пьезозажигалкой пользуются часто и не слишком аккуратно, то она довольно быстро выходит из строя. Такую пьезозажигалку не жалко разобрать и посмотреть, как она устроена. На рис. 1 приведены фотографии типичных пьезогенераторов, извлеченных из неработающих пьезозажигалок. На них вы видите прочные металлические каркасы, внутри которых расположены полиэтиленовые обоймы с пьезоэлементами. Один конец обоймы упирается в установленный на рычаге подшипник из трех соприкасающихся металлических цилиндров, противоположный конец — в поджимной винт.

Сразу скажем, что не дающая искру пьезозажигалка, скорее всего, вполне работоспособна. Чтобы убедиться в этом, достаточно осторожно закрутить поджимной винт.

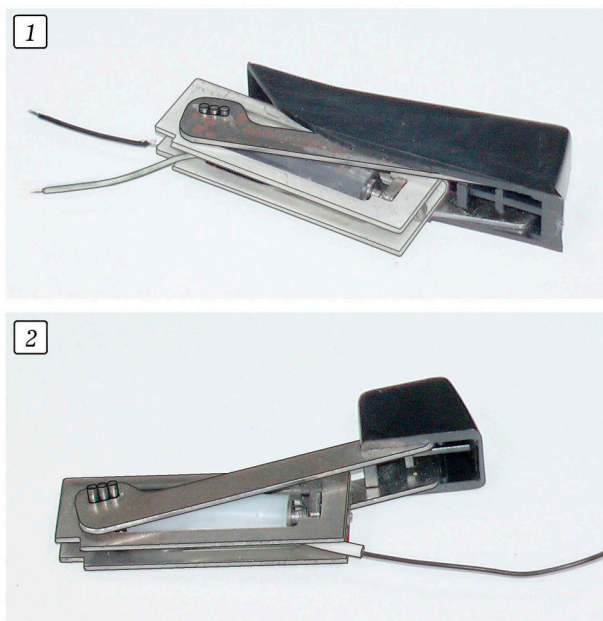


Рис. 1

На рис. 2.1 представлен эскиз пьезогенератора, взятый из статьи [1]: 1 — металлический каркас; 2 — подшипник из стальных цилиндров; 3 — нажимной рычаг; 4 — поджимной винт; 5 — металлические накладки на торцы батареи пьезоэлементов; 6 — батарея из двух пьезоэлементов, расположенных в цилиндрической обойме

из изолятора; 7 — металлические контактные шайбы; 8 — провод в высоковольтной изоляции. Рядом схематически изображены пьезоэлемент (рис. 2.2) и батарея, составленная из двух одинаковых, расположенных последовательно, но соединенных параллельно пьезоэлементов (рис. 2.3). Каждый пьезоэлемент батареи представляет собой цилиндр серого цвета, изготовленный, насколько можно судить, из пьезокерамики типа ЦТБС-3М. На боковой поверхности возле одного из торцов пьезоэлемента нанесен знак *минус*. Не хочется говорить банальности, но на всякий случай напомним, что при сжатии пьезоэлемента зажигалки вдоль его оси на металлических электродах элемента появляются равные по модулю заряды противоположных знаков.

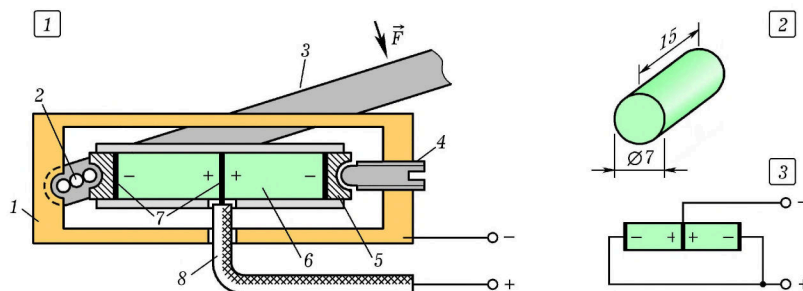


Рис. 2

зоэлемент (рис. 2.2) и батарея, составленная из двух одинаковых, расположенных последовательно, но соединенных параллельно пьезоэлементов (рис. 2.3). Каждый пьезоэлемент батареи представляет собой цилиндр серого цвета, изготовленный, насколько можно судить, из пьезокерамики типа ЦТБС-3М. На боковой поверхности возле одного из торцов пьезоэлемента нанесен знак *минус*. Не хочется говорить банальности, но на всякий случай напомним, что при сжатии пьезоэлемента зажигалки вдоль его оси на металлических электродах элемента появляются равные по модулю заряды противоположных знаков.

2. Разбираемся в работе механизма сжатия

Оценим силу сжатия пьезоэлементов, обеспечиваемую механизмом пьезогенератора. Для этого смоделируем реальный механизм сжатия упрощенной схемой, приведенной на рис. 3. На этой схеме нажимной рычаг обозначен стержнем AB , а батарея пьезоэлементов — стержнем OC , причем на концах этих стержней расположены шарниры. Введем правую систему декартовых координат xOy так, чтобы ее начало совпало с точкой O , а ось Ox была параллельна отрезку AC .

Допустим, что под действием силы \vec{f}_0 , направленной параллельно оси Oy , рычаг поворачивается так, что составляет угол α с отрезком AC . При этом на шарнир O действует сила \vec{f} :

$$\vec{f} = \frac{L}{l} \vec{f}_0, \quad (1)$$

где $L = AB$ — длина большого плеча и $l = AO$ — длина малого плеча рычага. Плечо AO и батарея пьезоэлементов OC испытывают

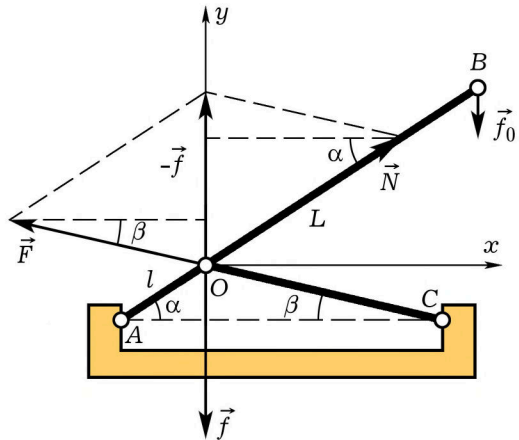


Рис. 3

деформации сжатия, в результате которых возникают силы реакции \vec{N} и \vec{F} , приложенные к шарниру O . Так как система находится в равновесии, то

$$\vec{F} + \vec{f} + \vec{N} = 0. \quad (2)$$

Проецируя это векторное уравнение на оси координат, имеем:

$$F \sin \beta + N \sin \alpha = f, \quad F \cos \beta = N \cos \alpha.$$

Решая эту систему уравнений, получаем:

$$F = \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha \cos \beta + \sin \beta}.$$

Так как при малом угле β можно считать, что $\cos \beta \approx 1$ и $\sin \beta \approx 0$, то учитывая (1), приходим к выводу, что сила сжатия батареи пьезоэлементов приближенно равна:

$$F = \frac{L f_0}{l \operatorname{tg} \alpha}. \quad (3)$$

Таким образом, коэффициент увеличения силы рычажным механизмом пьезозажигалки составляет:

$$n = \frac{F}{f_0} = \frac{L}{l \operatorname{tg} \alpha}. \quad (4)$$

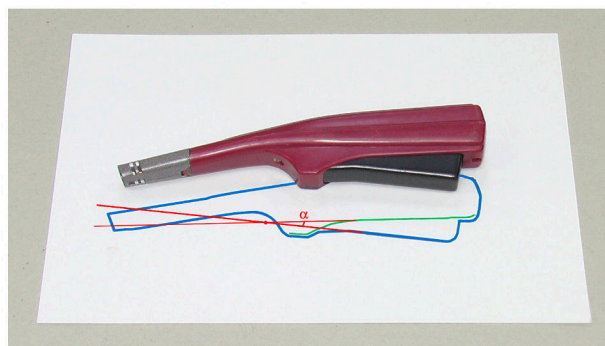


Рис. 4

Оценим реальную величину этой силы. На лист бумаги положите пьезозажигалку и медленно нажимайте на ее клавишу до тех пор, пока не проскочит первая искра. Карандашом проведите на бумаге линию, обозначающую это положение клавиши (рис. 4, синяя линия). Теперь, не перемещая пьезозажигалку, нажмите на клавишу так, чтобы она дошла до упора, и на бумаге обозначьте новое положение клавиши (зеленая линия). Транспортиром измерьте угол α (рис. 4, красные прямые), на который повернулся рычаг пьезозажигалки при полной деформации пьезоэлемента. Используя извлеченный из зажигалки пьезогенератор (рис. 1), линейкой измерьте длины рычага L и его короткого плеча l . Получившиеся значения подставьте в формулу (4) и вычислите коэффициент увеличения силы сжатия пьезоэлементов до начала искрового разряда.

В одном из наших опытов получилось: угол $\alpha = 10^\circ$, длины плеч рычага $L = 80$ мм и $l = 8$ мм. Согласно этим данным коэффициент увеличения силы $n \approx 57$. Учитывая оригинальность метода получения этой оценки и ряд сопутствующих обстоятельств, в дальнейшем будем считать, что рычажный механизм пьезозажигалки увеличивает силу давления на клавишу примерно в 50 раз.

3. Исследуем полярность напряжения пьезогенератора

Для экспериментального исследования потребуется следующее оборудование: 1) пьезогенератор; 2) электромметр; 3) эбонитовая палочка или пластинка изолона; 4) мех или шерсть; 5) чистая и сухая стеклянная палочка или пластинка; 6) сухая тонкая писчая (газетная) бумага.

Натрите эбонитовую палочку мехом и боковой поверхностью палочки несколько раз проведите по стержню электромметра, перенося на него электроны и вместе с ними отрицательный заряд. Вы

увидите, как стрелка электрометра отклонится на некоторый угол (рис. 5.1).

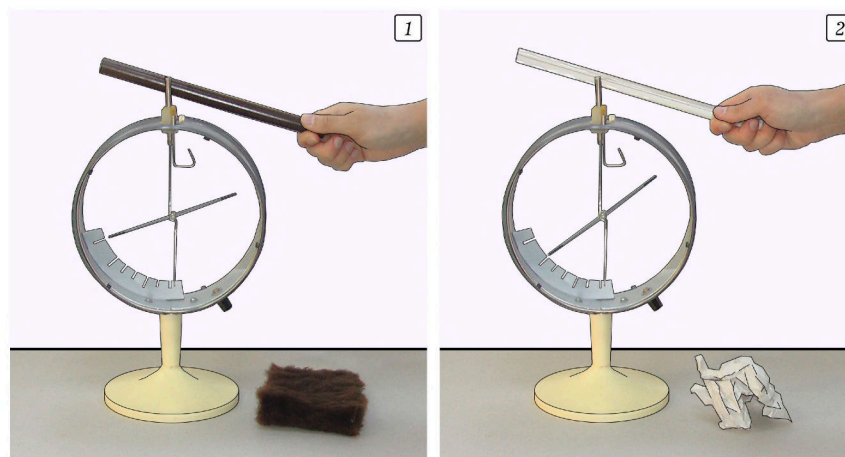


Рис. 5

Потрите стеклянную палочку бумагой и поднесите ее к стержню заряженного отрицательно электрометра. Вы заметите, что угол отклонения стрелки уменьшается по мере приближения наэлектризованного стекла к стержню. Прикоснитесь к стержню наэлектризованного стекла к стержню до тех пор, пока стрелка не вернется на нуль. Из этого опыта следует, что наэлектризованные эбонит и стекло несут заряды разных знаков: если потертый мехом эбонит заряжен отрицательно, то потертое бумагой стекло заряжено положительно.

Теперь нетрудно определить полярность пьезогенератора. Нажав на клавишу этого прибора, на мгновение соедините его центральный электрод со стержнем электрометра. Поднеся к стержню наэлектризованные эбонит и стекло, вы увидите, что в первом случае отклонение стрелки уменьшается, а во втором — увеличивается. Значит, центральный электрод пьезогенератора при нажатии на клавишу заряжается положительно. Убедитесь, что второй электрод пьезогенератора при нажатии на клавишу заряжается отрицательно.

4. Изучаем индикаторную неоновую лампу

Описанный в предыдущем пункте способ определения полярности выводов пьезогенератора надежен, но, согласитесь, несколько архаичен. Поэтому попробуем заменить эбонит, стекло, мех, бумагу и электрометр чем-нибудь более современным, например, неоновой лампой.

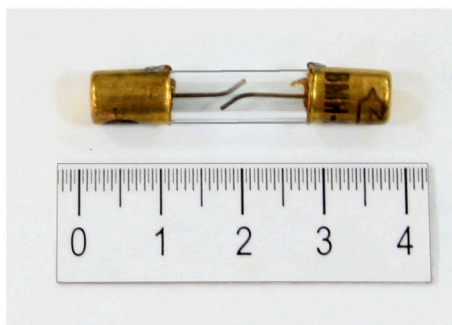


Рис. 6

Неоновая лампа представляет собой стеклянный баллон с двумя электродами, заполненный инертным газом неонам при низком давлении (рис. 6). Напряжение зажигания большинства неоновых ламп лежит в пределах 50–100 В. Но подключать неоновую лампу непосредственно к имеющемуся под руками источнику такого напряжения нельзя: лампа, конечно, загорится, но спокойный тлеющий разряд быстро перейдет в дуговой со всеми вытекающими из этого опасными последствиями. Поэтому последовательно с неоновой лампой включают резистор, ограничивающий ток через лампу до безопасной величины, которая не должна превышать десятков миллиампер.

Важной особенностью неоновой лампы является то, что газ светится не по всему объему баллона, а только вблизи ее катода. Это позволяет использовать неоновую лампу в качестве индикатора полярности источника. Для наших целей наиболее подходит неоновая лампа типа ТН-02 (ВМН-2), которая имеет два совершенно одинаковых электрода (рис. 6). Но можно использовать и любую другую неоновую лампу, у которой хорошо видны оба электрода.

В школьном кабинете физики имеется сетевой источник постоянного напряжения типа ВУП-2 или ВУП-2М. Пользоваться этим источником разрешено только учителю. Но вы вполне можете собрать экспериментальную установку, а затем попросить учителя включить тумблер питания источника и покрутить ручку регулятора постоянного напряжения.

Фотография результата эксперимента приведена на рис. 7. Вы видите, что неоновая лампа типа ВМН-2 через постоянный резистор сопротивлением 100 кОм подключена к регулируемому по напряжению выходу блока ВУП-2. Параллельно лампе соединен мультиметр, переведенный в режим вольтметра с пределом измерения постоянного напряжения 200 В.

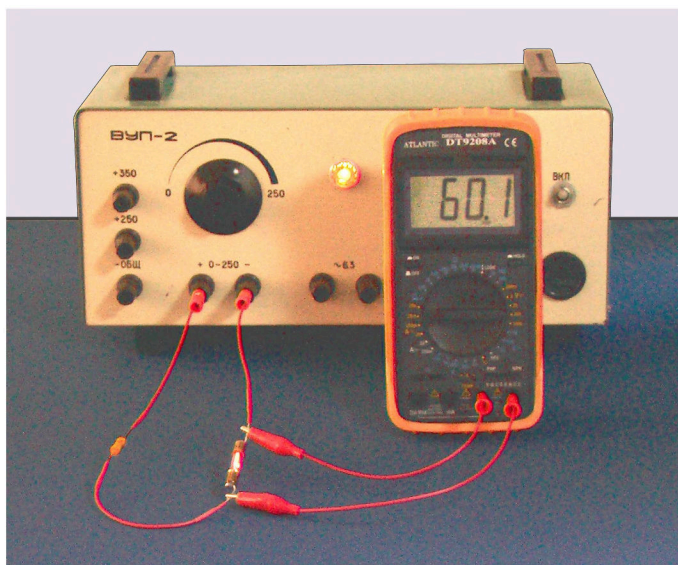


Рис. 7

В исходном состоянии регулятор напряжения блока ВУП-2 должен быть установлен на нуль, то есть находиться в крайнем левом положении. Затем постепенно увеличивают напряжение на неоновой лампе, о чем свидетельствуют возрастающие показания вольтметра. Наблюдают, что лампа внезапно загорается при некотором напряжении зажигания U_3 , и напряжение на ней резко падает до напряжения горения U_r . Если и дальше увеличивать напряжение источника, то напряжение на лампе практически не изменяется, но размер области свечения и его яркость возрастают.

Обратите внимание на то, что газ в неоновой лампе светится возле того электрода, который соединен с отрицательным полюсом источника. Поменяйте местами провода, идущие от лампы к источнику, и убедитесь, что свечение лампы все равно происходит возле ее катода. Выясните, почему измеряемое мультиметром напряжение на неоновой лампе нужно увеличивать постепенно и медленно.

5. Обнаруживаем, что пьезогенератор дает напряжение разной полярности

Подключите неоновую лампу к пьезогенератору и несколько раз нажмите на его клавишу. Вы увидите, что газ возле электродов лампы слабо светится, хотя, казалось бы, напряжение в 15000 В,

которое дает пьезогенератор [3], должно заставить неон ярко сиять. Однако ничего удивительного в этом результате нет: просто внутреннее сопротивление пьезогенератора настолько велико, что загоревшая неоновая лампа своим малым сопротивлением, как говорят, *садит генератор*, накоротко замыкая его.

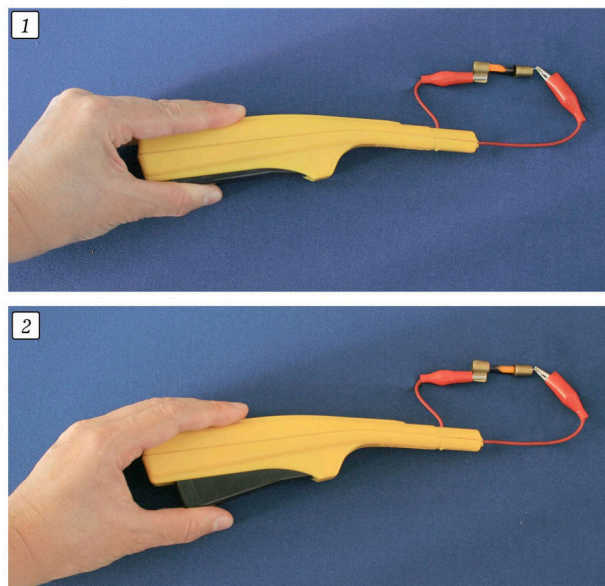


Рис. 8

Чтобы повысить яркость свечения лампы, нужно дать пьезогенератору время, необходимое для достижения достаточно высокого напряжения. Для этого отодвиньте крокодил от одного из выводов неоновой лампы на 1–2 мм. Теперь *при нажатии на клавишу* напряжение на пьезогенераторе успевает достичь 1–2 кВ, прежде чем проскочит искра на лампу. Поэтому вы обнаружите яркие вспышки лампы возле того ее электрода, который соединен с отрицательным полюсом генератора (рис. 8.1).

Но вот что удивительно: так же ярко вспыхивает газ и возле второго электрода лампы, но уже не при нажатии, а *при отпущении клавиши* пьезогенератора (рис. 8.2)! Попробуйте сами дать объяснение этому явлению.

6. Измеряем заряд на электродах пьезогенератора

Для этого исследования нужно приготовить мультиметр с функцией измерителя емкости. Подойдет, например, мультиметр типа DT9208A. Кроме того, потребуются электрометр и хороший эталонный конденсатор емкостью $C_0 = 50\text{--}1000$ пФ.

Вначале нужно определить емкость электрометра. Для этого переведите мультиметр в режим измерения емкости на наименьшем пределе 2 нФ и соедините гнезда измерителя емкости с корпусом и стержнем разряженного электрометра. Включите мультиметр и прочтите измеренное значение емкости. У вас получится несколько пикофард. Достоверность этой величины невелика, так как вблизи нуля измеряемой величины погрешность мультиметра значительна.

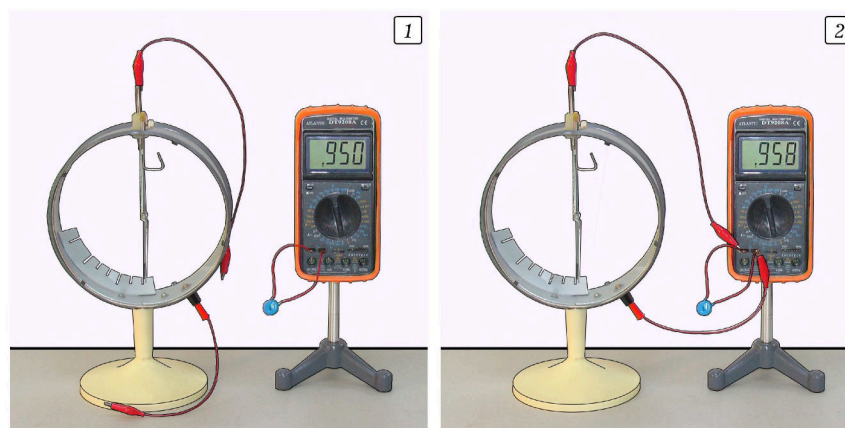


Рис. 9

Чтобы повысить точность измерения, используйте следующий прием. К мультиметру подключите эталонный конденсатор и измерьте его емкость C_0 (рис. 9.1). Параллельно эталонному конденсатору подсоедините электрометр и измерьте получившуюся емкость C (рис. 9.2). Так как при параллельном соединении конденсаторов их емкости складываются, то искомая емкость электрометра равна $C_s = C - C_0$. Например, в одном из наших опытов измерения дали следующие значения: $C_0 = 950$ пФ, $C = 958$ пФ и $C_s = 8$ пФ.

Теперь определите емкость батареи пьезоэлементов. Действовать нужно осторожно, так как неизвестно, какое напряжение выдерживает измеритель емкости мультиметра. Поэтому сначала нужно мультиметр выключить, хорошо разрядить пьезогенератор, подключить его выводы к мультиметру, еще раз замкнуть пьезогенератор и только потом, не трогая пьезогенератор, включить мультиметр. Если вы все сделали правильно, то прибор покажет значение емкости пьезогенератора, близкое к $C_r = 40$ пФ (рис. 10). Сразу после измерения этой емкости выключите мультиметр и отсоедините от него пьезогенератор.



Рис. 10

Наконец, соедините выводы пьезогенератора с электрометром и, плавно нажимая на клавишу, добейтесь отклонения стрелки электрометра, например, до конца шкалы. Аккуратно отсоедините вывод пьезогенератора от стержня прибора — при этом стрелка электрометра останется на месте. Что все это означает?

Вы знаете, что максимальное показание электрометра $U = 5$ кВ [3], а его емкость $C_э = 8$ пФ, поэтому на электрометре остался заряд

$$Q_э = C_э U = 8 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot 10^3 = 40 \text{ нКл.} \quad (5)$$

Когда к электрометру был подсоединен пьезогенератор, стрелка прибора находилась на том же месте, показывая напряжение $U = 5$ кВ, следовательно, такое напряжение было на батарее пьезоэлементов генератора. Но измеренная емкость этой батареи $C_Г = 40$ пФ, поэтому на электродах пьезогенератора получают положительный и отрицательный заряды, модули которых равны:

$$Q_Г = C_Г U = 40 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot 10^3 = 200 \text{ нКл.} \quad (6)$$

Надеемся, что максимальные значения зарядов на выводах пьезогенератора вы оцените самостоятельно.

7. Заключение

Одно из важных достоинств учебного физического эксперимента состоит в том, что поставленный опыт не может быть неправильным. Вы можете ошибочно объяснить его, неверно интерпретировать или получить не то, что ожидали. Наконец, выполняя эксперимент, можно просто не заметить существенного обстоятельства и пройти мимо потенциального открытия. Но в любом случае непосредственный результат эксперимента — это полученный лично вами непреложный в созданных условиях факт.

Поэтому многочисленные видеофрагменты физических опытов, которые гуляют по просторам Интернета — это только повод, чтобы заняться экспериментальной проверкой увиденного, если оно представляет для вас интерес. Точно так же материал этой статьи лишь показывает возможность экспериментального исследования интересного физического явления, лежащего в основе привычного бытового прибора. Выполнить это исследование каждый из вас сможет только самостоятельно, преодолевая многочисленные препятствия, которые неизбежны при переходе от умозрительной виртуальности к восхитительной реальности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каган Э. Куст изобретений на «почве» пьезокерамики.
<https://metodolog.ru/00437/00437.html>
2. Калашников С. Г. Электричество: Учебн. пособие — М.: Физматлит, 2004. — 624 с.
3. Майер В. В., Вараксина Е. И. Измеряем электрическое напряжение пьезоэлектрического генератора // Потенциал. — 2021. — № 3. — С. 63–72.

Глазовский государственный
педагогический институт

Поступила в редакцию 01.11.21.

ABSTRACTS

Mayer V. V., Kornev Yu. A. A simple and reliable Franklin wheel. A simple method of making a Franklin wheel is described, accessible even to those students who are just starting to study physics. The idea of this method can become the basis of a student project, the final stage of which is the demonstration of the Franklin wheel in a school lesson. *Keywords:* electrostatics, Franklin wheel, student project, demonstration experiment.

Mayer V. V., Varaksina E. I. Arrangement and operating principle of piezoelectric generator. The arrangement and the principle of operation of the piezoelectric generator are considered. A series of simple experiments on the educational study of a piezoelectric high voltage source is described. The article is a didactic resource of project activity intended for high school students and teachers. *Keywords:* piezoelectric generator, electrometer, simple experiments, educational research, didactic resource.

Mayer V. V., Varaksina E. I., Vasiliev I. A., Kurbonaliev K. M. Equipment for educational experiments on curved light propagation. The equipment and procedure for preparing a demonstration experiment on the curvilinear propagation of light in an optically inhomogeneous medium formed by a layer between two miscible liquids are described. *Keywords:* glass cuvette, water, saturated salt solution, fluorescein, semiconductor laser.

Mayer V. V., Varaksina E. I., Kurbonaliev K. M. Experimental substantiation of the Huygens principle. A series of demonstration experiments on the propagation of light in an optically homogeneous and inhomogeneous liquids is described. In experiments, estimates of the radius of curvature of a light beam are compared in two ways: by direct measurement of the parameters of a curved beam and calculation based on the Huygens principle. *Keywords:* Huygens principle, optically inhomogeneous medium, refractive index gradient, radius of curvature of the light beam.

Mayer V. V., Popova A. A. Transformation of an ellipse into a parabola. The transition from the ellipse equation in canonical form to the parabola equation is considered. This makes it possible to implement a unified approach when studying the optical properties of an ellipse and a parabola. *Keywords:* equation of ellipse in canonical form; equation of second-order curve related to its vertex; equation of parabola.

Markov S. V. Scientific research of the magnetic fields using the Hall generator in a full-scale computer experiment. The electromagnetic induction research was examined. A graph of the magnetic induction and the resulting EMF of induction in the loop were built. The experiment was worked for lab out of the quantitative study of the law of electromagnetic induction. *Keywords:* a full-scale computer experiment, an electromagnetic induction, a lab, Hall generator, to visualize electromagnetic processes.

Varaksina E. I., Sokolova O. L. The problem of forming a visual image of interference of mechanical waves. The existence of the problem of forming a visual image of interference is substantiated. The possibility of creating such an image by means of an educational physical experiment, graphic and photographic illustrations in school textbooks is analyzed. At the initial stage of studying interference, it is proposed to supplement the educational physical experiment with interactive computer animation simulating the superposition

of circular waves propagating from two point sources. *Keywords*: interference, wave theory of light, visual aids, educational physical experiment.

Saurov Yu. A. On the modernity of the development of creative abilities (to the 50th anniversary of the defense of the doctoral dissertation by V. G. Razumovsky). Memory is our great and eternal resource. It sets and preserves patterns of activity in the past for the present and the future. The defense of the dissertation is not only personally significant, but socially and socially significant. The defense of the doctoral dissertation by V. G. Razumovsky has so far directly or indirectly influenced the development of methods of teaching physics. This article outlines the essential features of this study. *Keywords*: creativity, dissertation, history of physics teaching methods.

Varaksina E. I. Illustrative and evidential educational physical experiment. Our articles published in the journals «Educational Physics» No. 1 and No. 3 show the need for systematic research activities of subjects of physical education in the field of educational physical experiment. To formulate the purpose of this activity, we propose to turn to the concepts of *illustrative* and *evidential* experiment. *Keywords*: educational physical experiment, research, conclusiveness, illustrativity.