



СОДЕРЖАНИЕ

Основная школа

- Т. В. Никитина МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СОБЫТИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ...3

Старшая школа

- Ш. Г. Зиятдинов ИДЕАЛЬНЫЕ И РЕАЛЬНЫЕ АМПЕРМЕТРЫ И ВОЛЬТМЕТРЫ В ЗАДАЧАХ И ОПЫТАХ 16
- С. В. Барышников ЭЛЕКТРОМЕТР НА ОСНОВЕ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ГАЛЬВАНОМЕТРА.....26

Высшая школа

- С. Э. Потоскуев УЧЕБНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАДЕНИЯ СПУТНИКА В ПОЛЕ ТЯЖЕСТИ ЗЕМЛИ.....32
- А. В. Проскуряков

Исследования

- В. Е. Сидоров ИЗУЧЕНИЕ РАЗДЕЛА «ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ВЕЩЕСТВЕ» В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ..... 44
- А. П. Усольцев
- А. А. Сабирзянов
- Б. А. Русанов
- Б. М. Игошев
- А. С. Медведева ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ УЧЕНИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ФИЗИКЕ В УСЛОВИЯХ ГИБРИДНОГО ОБУЧЕНИЯ В ГОСПИТАЛЬНОЙ ШКОЛЕ 53

Науковедение

- Ю. А. Сауров ЮРИЙ ИВАНОВ: ШАГИ В БУДУЩЕЕ... 61
- АВТОРЫ ЖУРНАЛА 68

*Основатель журнала, главный редактор в 1997–2025 гг. — д.п.н., профессор
Майер Валерий Вильгельмович (Глазов)*

Редакция журнала:

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

Редакционный совет:

С. В. Барышников	д.ф.-м.н., профессор, Благовещенск
И. В. Гребенев	д.п.н., профессор, Нижний Новгород
М. Д. Даммер	д.п.н., профессор, Челябинск
П. В. Зуев	д.п.н., профессор, Екатеринбург
О. В. Лебедева	д.п.н., доцент, Нижний Новгород
Ю. А. Сауров	д.п.н., профессор, член-корр. РАО, Киров
А. П. Усольцев	д.п.н., профессор, Екатеринбург
А. А. Шаповалов	д.п.н., профессор, Барнаул

Оргкомитет конференции:

Н. Я. Молотков	д.п.н., профессор, Тамбов
Ф. А. Сидоренко	д.ф.-м.н., профессор, Екатеринбург
Я. А. Чиговская-Назарова	к.филол.н., доцент, ректор ГИПУ, Глазов
Т. Н. Шамало	д.п.н., профессор, Екатеринбург

Перечень ВАК: Журнал «Учебная физика» включен Высшей аттестационной комиссией (ВАК) Минобрнауки России в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Адрес редакции, издателя и типографии: 427621, Удмуртия, Глазов, Первомайская, 25, ФГБОУ ВО «ГИПУ», Телефон: (341 41) 5–32–29.

E-mail: uch-fiz@mail.ru, kropa@bk.ru

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

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

Подписной индекс: 79876.

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

Сдано в набор 02.06.26. Подписано в печать 24.06.26.

Дата выхода в свет: 30.06.26.

Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,25.

Заказ 176. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Электрофор и электрофорный конденсатор, используемые в качестве источников электрического заряда в демонстрационных опытах по обоснованию закона Кулона (Майер В. В., Вараксина Е. И., Корнев Ю. А. Экспериментальное обоснование закона Кулона в 8 классе // Учебная физика. — 2026. — № 1. — С. 15–31).

Научная статья

ББК 74.262.23

УДК 378

С. В. Барышников

ЭЛЕКТРОМЕТР НА ОСНОВЕ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ГАЛЬВАНОМЕТРА

В статье рассматривается создание приставки к демонстрационному гальванометру для использования его в качестве чувствительного электрометра. В основу работы приставки положены свойства полевых транзисторов с изолированным затвором. Такой электрометр имеет значительно большую чувствительность механического электрометра и позволяет определять знак заряда, создающего поле. Приставка имеет простую конструкцию и может быть собрана студентами или школьниками старших классов в рамках развития инженерного мышления.

Ключевые слова: методика преподавания физики, учебный физический эксперимент, электростатика, МОП–транзисторы.

S. V. Baryshnikov

AN ELECTROMETER BASED ON A DEMONSTRATION GALVANOMETER

This article discusses the creation of an attachment to a demonstration galvanometer for using as a sensitive electrometer. The attachment's operation is based on the properties of insulated-gate field-effect transistors. This electrometer has a significantly greater sensitivity than a mechanical electrometer and allows one to determine the sign of the charge creating the field. The attachment has a simple design and can be assembled by college or high school students as part of their engineering thinking development program.

Keywords: physics teaching methods, educational physics experiment, electrostatics, MOSFETs.

DOI: 10.62957/2307-5457-2026-2-26-31

1. Введение

Электрометр — это чувствительный измерительный прибор, предназначенный для измерения разности электрических потенциалов, электрического заряда или напряженности электрического поля. Он отличается от обычного вольтметра значительно более высоким входным сопротивлением, что позволяет измерять напряжение без заметного влияния на исследуемую цепь, что особенно важно при работе с цепями, имеющими очень малые токи или высокое сопротивление [1].

Первым создателем устройств для регистрации электричества был Алессандро Вольта, сконструировавший первый электроскоп. Конструкция представляла собой стеклянный сосуд, закрытый резиновой пробкой, через которую проходил металлический проводник. Внешняя часть стержня заканчивалась шаром, а внутренняя несла на себе пару соломинок. Принцип действия базировался на отталкивании одноименных зарядов: при контакте с заряженным объектом соломинки расходились, подтверждая наличие электричества. Впоследствии чувствительность прибора повысили, заменив соломинки на легкую бумагу или тончайшую золотую фольгу, что позволило фиксировать даже незначительные заряды. Следующим этапом эволюции стало появление электрометров, оснащенных отклоняющейся стрелкой.

На сегодняшний день механические электрометры используются преимущественно в образовательном процессе. Однако в первой четверти XX века они играли ключевую роль в научных исследованиях, в частности, для изучения радиоактивности и космических лучей. Ученые фиксировали скорость утечки заряда, возникающую из-за ионизации воздуха под действием излучения.

В учебном процессе электрометры находят широкое применение на уроках физики в школе и на занятиях по физике в вузах. Их использование помогает учащимся наглядно понять фундаментальные понятия электростатики и электричества, а также развить навыки проведения точных измерений.

В преподавании раздела «Электростатика» в школе электрометр часто используется для иллюстрации [2–4]: 1) наличия электрического заряда на телах (например, при трении эбонитовой палочки о шерсть); 2) передачи заряда от одного тела к другому (через контакт или индукцию); 3) разделения зарядов и явления электростатической индукции; 4) экранирования электрического поля (опыты с клеткой Фарадея).

В вузах электрометры применяются в лабораторных работах по физике, например, [5, 6]: 1) измерение потенциала заряженных тел; 2) определение знака заряда (в комбинации с заряженными эталонными телами); 3) исследование зависимости потенциала от расстоя-

ния (в электростатическом поле); 4) изучение емкости проводников и конденсаторов; 5) демонстрация внешнего фотоэффекта.

Современные электрометры часто основаны на полевых транзисторах с изолированным затвором (МОП-транзисторы) или электрометрических усилителях (на электронных лампах), которые практически не потребляют ток от измеряемой цепи [7, 8].

В данной статье описана возможность создания приставки к демонстрационному гальванометру, которая обладает не только более высокой чувствительностью, чем механический электрометр, но и определяет знак электрического заряда тела.

2. Схема и конструкция приставки

Основу приставки составляет полевой транзистор с изолированным затвором и встроенным каналом. МОП-транзисторы в зависимости от мощности и наличия цепей защиты от пробоя обладают входным сопротивлением 10^9 – 10^{15} Ом и емкостью затвора от 5 пФ до 15 нФ [8].

Схема одного из возможных вариантов приставки показана на рис. 1.1, где используется российский МОП-транзистор КП305. Номиналы резисторов: $R_1 = 1$ МОм, $R_2 = 1$ кОм, $R_3 = 2$ кОм; емкость конденсатора $C = 100$ – 500 пФ; элемент питания CR2032 с напряжением 3 В.

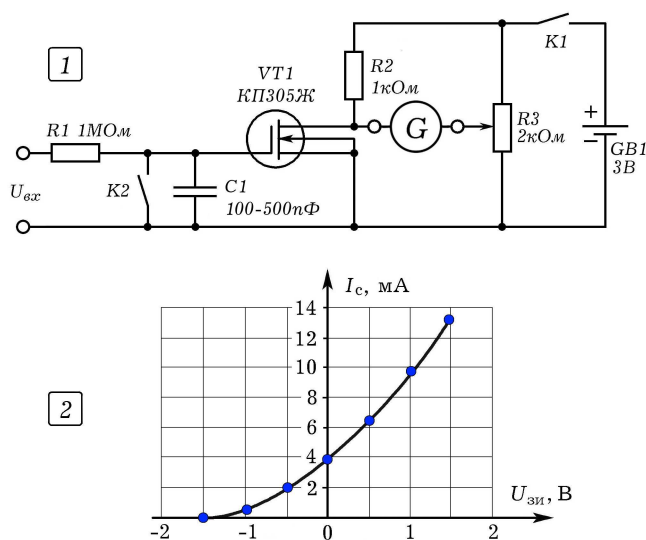


Рис. 1. Приставка для создания чувствительного электрометра на основе демонстрационного гальванометра с использованием транзистора КП305Ж: 1 — принципиальная схема приставки; 2 — затворно-стоковая характеристика для транзисторов КП305Ж и КП305В при напряжении исток-сток 5 В

В таком транзисторе на затвор можно подавать как положительное, так и отрицательное напряжение, при этом проводимость канала будет увеличиваться или уменьшаться (рис. 1.2). Транзистор включен в одно из плеч моста, в диагональ которого подключается гальванометр. Переменный резистор R_3 служит для установки стрелки гальванометра в нулевое положение (при замкнутом ключе K_2). Заряд Q , поступающий на конденсатор C , создает на нем напряжение $U = Q/C$, что в зависимости от знака заряда приводит к отклонению стрелки гальванометра вправо или влево. Заряд на конденсаторе может сохраняться долгое время, поэтому для разрядки конденсатора перед следующим измерением служит ключ K_2 . Чувствительность такого электрометра можно менять, подбирая емкость конденсатора. Однако, несмотря на свои достоинства, такая приставка обладает одним недостатком — при попадании высокого напряжения (величина которого зависит от емкости конденсатора) на затвор полевой транзистор может выйти из строя (предельное напряжение затвор–исток для транзистора КП305 составляет ± 15 В).

Этот недостаток можно устранить, если вместо маломощного полевого транзистора использовать силовые, высоковольтные полевые транзисторы, которые обычно используются в импульсных блоках питания. Достоинство таких транзисторов заключается в том, что они имеют внутреннюю схему защиты от перенапряжения. Но есть и недостаток, который состоит в том, что это МОП–транзисторы с индуцированным каналом, поэтому для нормальной работы ему необходимо задавать начальное напряжение на затворе. При этом делитель напряжения для задания рабочей точки должен обладать сопротивлением $\sim 10^9$ Ом или более (рис. 2).

В качестве такого транзистора был выбран полевой транзистор с индуцированным каналом n -типа К1058. Номиналы резисторов: $R_1 = R_2 = 1$ МОм, $R_3 = 5$ ГОм, $R_4 = 10$ ГОм, $R_5 = 1$ кОм, $R_6 = 2$ кОм; конденсатор в такой схеме отсутствует, так как емкость затвора для транзистора К1058 составляет 2000 пФ. Высокоомные резисторы R_3 , R_4 служат для задания рабочей точки на линейном участке вольт–амперной характеристики. Если сравнить затворно–стоковые характеристики рис. 1.2 и рис. 2.2, то одинаковые изменения напряжения на затворе транзистора К1058 по сравнению с КП305 приводят к значительно большему изменению тока стока. Поэтому резистор R_4 еще обеспечивает отрицательную обратную связь для ограничения чувствительности электрометра. Отсутствие ключа K_2 объясняется наличием резистора R_3 , который вместе с емкостью затвора образует RC –цепочку со временем релаксации 5–7 секунд. Благодаря этому стрелка гальванометра через 10 секунд автоматически возвращается в нулевое положение после устранения источника заряда.

Стоит отметить, что демонстрационные гальванометры, в зависимости от производителя, обладают разной чувствительностью обычно от $0,5 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-5}$ А/дел. Поэтому для уменьшения чув-

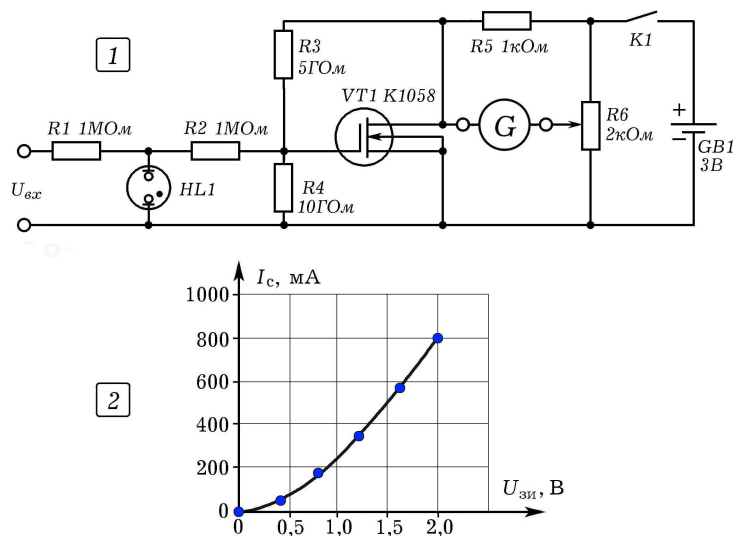


Рис. 2. Приставка с использованием транзистора K1058: 1 — принципиальная схема приставки; 2 — затворно-токовая характеристика для транзисторов K1058 при напряжении исток-сток 5 В

ствительности в схеме приставки (рис. 2) можно добавить на затвор конденсатор емкостью ~ 1000 пФ или уменьшить сопротивление резистора $R4$ с 10 ГОм до 5 ГОм.

Резисторы $R1$, $R2$ и неоновая лампа $HL1$ образуют дополнительную защитную цепочку. В качестве неоновой лампы можно использовать лампы ИНС-1, ТН 0.2-2 или другие с напряжением зажигания 80–90 В. При попадании высокого напряжения на вход неоновая лампа зажигается, принимая разряд на себя. Приставка имеет малые размеры, автономный источник питания и штекеры для подключения к клеммам гальванометра (рис. 3).

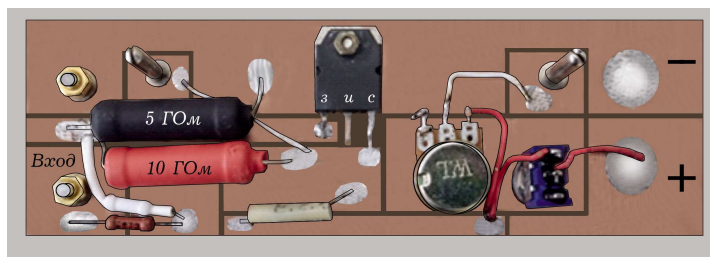


Рис. 3. Фотография приставки со стороны монтажа

В качестве примера на рис. 4 показана демонстрация разделения зарядов при натирании стеклянной трубки тефлоновой пленкой.

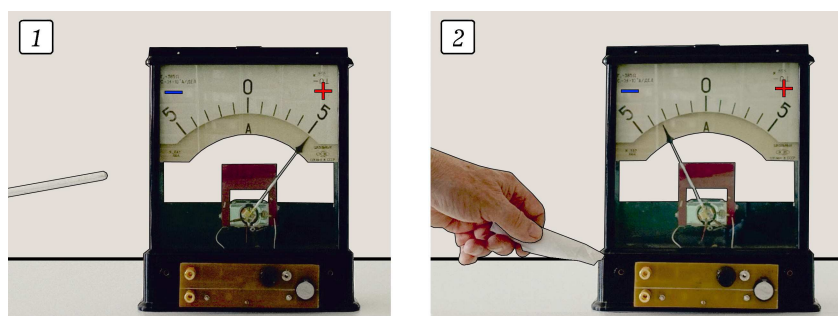


Рис. 4. Отклонение стрелки гальванометра при приближении стеклянной трубки (1) и тефлоновой пленки, которой трубка была электризована (2)

3. Заключение

Таким образом, предложенная приставка для демонстрационного гальванометра показывает высокую эффективность и удобство в эксплуатации. Приставка позволяет определять знак зарядов, породивших электрическое поле, обладает более высокой чувствительностью по сравнению с механическим электрометром, тем самым позволяет расширить возможности демонстраций по электростатике. Благодаря своей простоте приставка может быть изготовлена студентами в качестве задания для курсовой работы или школьниками старших классов в качестве проектной деятельности, что будет содействовать развитию инженерного мышления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Межгосударственный стандарт. ГОСТ ИЕС TR 61340-1. Электростатика. Электростатические явления. Физические основы и методы измерений. — М.: Изд. Российский институт стандартизации, 2023. — 33 с.
2. Шахмаев Н. М., Шиллов В. Физический эксперимент в средней школе: Механика. Молекулярная физика. Электродинамика. — М.: Просвещение, 1989. — 255 с.
3. Майер В. В., Вараксина Е. И., Корнев Ю. А. Простые демонстрационные опыты на уроках по электростатике // Учебная физика. — 2022. — № 2. — С. 24–34.
4. Федорова Н. Б., Кузнецова О. В., Ельцов А. В. Школьный физический эксперимент. Демонстрационные опыты. — Рязань: Изд. РГУ, 2017. — 180 с.
5. Грабовский М. А., Млодзеевский А. Б., Телеснин Р. В., Шаскольская М. П., Яковлев И. А. Лекционные демонстрации по физике., под ред. В. И. Ивероной, изд. 2-е, переработанное. — М.: Наука, Глав. ред. физ.-мат. лит., 1972. — 639 с.
6. Галкин А. Ф., Грунская Л. В., Дорожков В. В., Кулиш А. А., Кунин В. Н., Кондаков В. П., Мизонова О. Г., Пичужкина Л. И., Плешивцев В. С., Шишелов А. А. Физика в лекционных демонстрациях: учеб. пособие. — Владимир: Изд. ВГУ, 2012. — 130 с.
7. Забродин Ю. С. Промышленная электроника: Учебник для вузов. — М.: Альянс, 2008. — 496 с.
8. Игнатов А. Н. Полевые транзисторы и их применение в технике связи. — Новосибирск, Изд: СибГУТИ, 2008. — 319 с.

Благовещенский государственный педагогический университет имени М. И. Калинина

Поступила в редакцию 11.03.26.