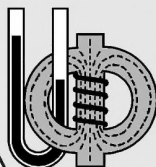


ISSN 2307-5457

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ОБРАЗОВАНИЯ

*Primum
inter pares*



**УЧЕБНАЯ
ФИЗИКА**

Материалы XXVIII Всероссийской
научно-практической конференции

Июль - сентябрь 2023 №3

„Учебный физический эксперимент:
Актуальные проблемы. Современные
решения“

Издается с января 1997 года

СОДЕРЖАНИЕ

Хроника

- Т. Н. Шамало ТАЛАНТЛИВЫЙ ЧЕЛОВЕК ВО ВСЕМ ТАЛАНТЛИВ!
А. П. Усольцев К юбилею Зуева Петра Владимировича 3

Основная школа

- М. Д. Даммер САМОДЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРИ
А. А. Сибгатуллин ИЗУЧЕНИИ СТАТИКИ НА УРОКАХ ФИЗИКИ 6
П. А. Демин
П. В. Горбунов

Старшая школа

- В. В. Майер МАЯТНИК ДУБОШИНСКОГО СВОИМИ РУКАМИ 18
И. А. Васильев
И. В. Самарин
М. А. Фаддеев МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ — УНИВЕРСАЛЬНАЯ
ФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАГНИТНЫХ
ПОЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ
И ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ 26

Высшая школа

- В. В. Майер ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ
Е. И. Вараксина ИСТОЧНИКА ПОСТОЯННОГО ТОКА 39

Исследования

- А. Е. Тарчевский ОРГАНИЗАЦИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА
В СОВРЕМЕННОЙ ОСНОВНОЙ И СТАРШЕЙ ШКОЛЕ .. 51

АВТОРЫ ЖУРНАЛА 63

ABSTRACTS 64

Редакция журнала:

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

Редакционный совет:

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
Ю. А. Сауров д.п.н., профессор, член-корр. РАО, Киров

Оргкомитет конференции:

Н. Я. Молотков д.п.н., профессор, Тамбов
Г. Г. Никифоров к.п.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
А. Ю. Пентин к.ф.-м.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
Ф. А. Сидоренко д.ф.-м.н., профессор, Екатеринбург
Я. А. Чиговская-Назарова к.филол.н., доцент, ректор ГГПИ, 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, Пединститут, Телефон: (341 41) 5–32–29.
E-mail: 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, перерегистрирован 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 01.08.23. Подписано в печать 20.09.23.

Дата выхода в свет: 22.09.23.

Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,0.

Заказ 159. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Демонстрационный эксперимент для изучения источника тока (Майер В. В., Вараксина Е. И. Экспериментальное изучение источника постоянного тока // Учебная физика. — 2023. — № 3. — С. 39–50).

УДК 372.853

В. В. Майер, Е. И. Варакина
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ
ИСТОЧНИКА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Предлагается перед рассмотрением в курсе общей физики гальванического элемента провести экспериментальное исследование термоэлектрического источника постоянного тока и дать простое объяснение полученным в эксперименте результатам. Преимущество такого подхода состоит в том, что элементарная теория термоэлектрического источника вполне доступна обучающимся, не требует знания электрохимических процессов и обосновывается простыми и наглядными демонстрационными опытами.

Ключевые слова: термоэлектрический источник, постоянный ток, электродвижущая сила, уровень Ферми.

1. Введение

В курсе общей физики источники постоянного тока изучают, чаще всего, на примере гальванического элемента.

В учебнике для педвузов Е.М.Гершензона, Н.Н.Малова, А.Н.Мансурова показана необходимость *сторонних сил незлектростатического происхождения* для существования постоянного электрического тока в замкнутой цепи и перечислены электростатические, химические, электромеханические, магнитодинамические, фотоэлектрические, термоэлектрические и изотопные источники электродвижущей силы (ЭДС) [1, с. 84–91]. Наибольшее внимание уделено химическим источникам: гальваническому элементу и аккумулятору.

В учебнике И.Е.Иродова о сторонних силах говорится буквально следующее: «Физическая природа сторонних сил может быть весьма различной. Они могут быть обусловлены, например, химической или физической неоднородностью проводника — таковы силы, возникающие при соприкосновении разнородных проводников (гальванические элементы, аккумуляторы) или проводников различной температуры (термоэлементы)» [2, с. 125].

В учебнике С.Г.Калашникова при изучении источников тока и ЭДС описан принцип работы гальванического элемента [3,

с. 136–141]. В учебнике Д. В. Сивухина рассматривается *концентрационный элемент*, который состоит из двух электродов в растворе электролита с концентрацией, изменяющейся вдоль соединяющей их линии [4, с. 189–192]. Теория этого элемента внешне схожа с теорией термоэлектрического источника, однако не подлежит экспериментальной проверке в учебных опытах. Два последних учебника предназначены для изучения общей физики в классических, физико-технических и инженерно-физических университетах.

В учебнике физики для 10 класса Г. Я. Мякишева, Б. Б. Буховцева и Н. Н. Сотского [5, с. 346–347] вузовский уровень изучения ЭДС источника традиционно адаптирован к школьному и проводится без экспериментального обоснования учебной теории.

Анализ учебной литературы показывает, что приступая к изучению источников тока на примере гальванического элемента, обучающиеся вынуждены не столько понимать происходящие в нем физические процессы, сколько запоминать теоретизированные сведения из электрохимии. Например, электродвижущая сила источника определяется как работа сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда внутри источника от его отрицательного полюса к положительному. Однако эти сторонние силы в гальваническом элементе не могут быть обнаружены обучающимися, поскольку они имеют химическую природу. В гальваническом элементе происходит преобразование химической энергии в электрическую. Но понять, что собой представляет химическая энергия на начальном этапе изучения источников постоянного тока невозможно.

Поэтому мы предлагаем в качестве примера источника постоянного тока использовать не гальванический, а термоэлектрический элемент. Термоэлемент применил Ом для открытия и экспериментального обоснования своего знаменитого закона [6]. В работах [7, 8] предложена учебная модель опыта Ома, в которой использован термоэлектрический источник тока. Широкое применение в учебном физическом эксперименте находит термоэлектрический модуль Пельтье [9–12].

Покажем, что такой подход обеспечивает простое теоретическое объяснение принципа действия термоэлектрического источника и доступное экспериментальное обоснование справедливости этого объяснения.

2. Демонстрационная установка

Основной частью демонстрационной установки является термоэлектрический источник постоянного тока, *внешне похожий на*

гальванический элемент (рис. 1). Для его изготовления используют стеклянную пробирку 1 диаметром примерно 25 мм и длиной 120 мм. По размеру пробирки делают негерметичную крышку 2, в которую плотно вставляют отрезки стальных трубок 3 диаметром 2 мм от подходящих игл медицинских шприцев. В отверстия этих трубок должны свободно проходить медный 4 и константановый 5 электроды диаметром 1 мм и длиной 200 мм (рис. 1.1).

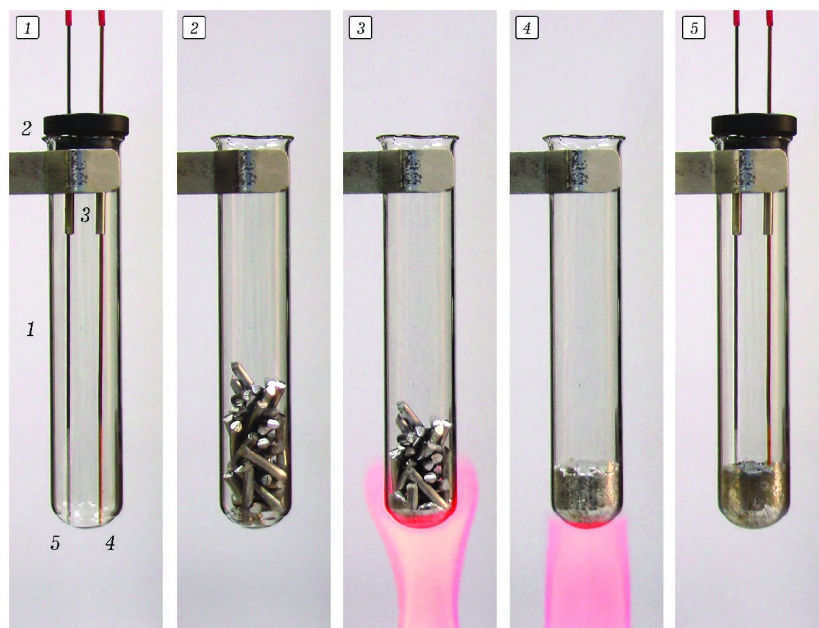


Рис. 1. Изготовление демонстрационного термоэлемента для моделирования термоэлектрического источника постоянного тока

На дно пробирки насыпают отрезки оловянно–свинцового припоя, например, содержащего 60% олова и 40% свинца (рис. 1.2). На пламени газовой горелки или спиртовки плавят припой (рис. 1.3–1.4). В полученный расплав вводят очищенные от окислов и изоляции концы медного и константанового электродов (рис. 1.5). На этом изготовление термоэлектрического источника для демонстрационных опытов заканчивается.

Внешний вид демонстрационной установки показан на рис. 2. Медный и константановый электроды термоэлектрического источника гибкими многожильными проводами соединены с демонстрационным гальванометром магнитоэлектрической системы,

чувствительность которого 1,5 мВ/дел и внутреннее сопротивление 2,7 Ом. К клеммам гальванометра такими же проводами подключены еще два таких же дополнительных электрода, константановый и медный. В качестве источника тепловой энергии использована лабораторная спиртовка.

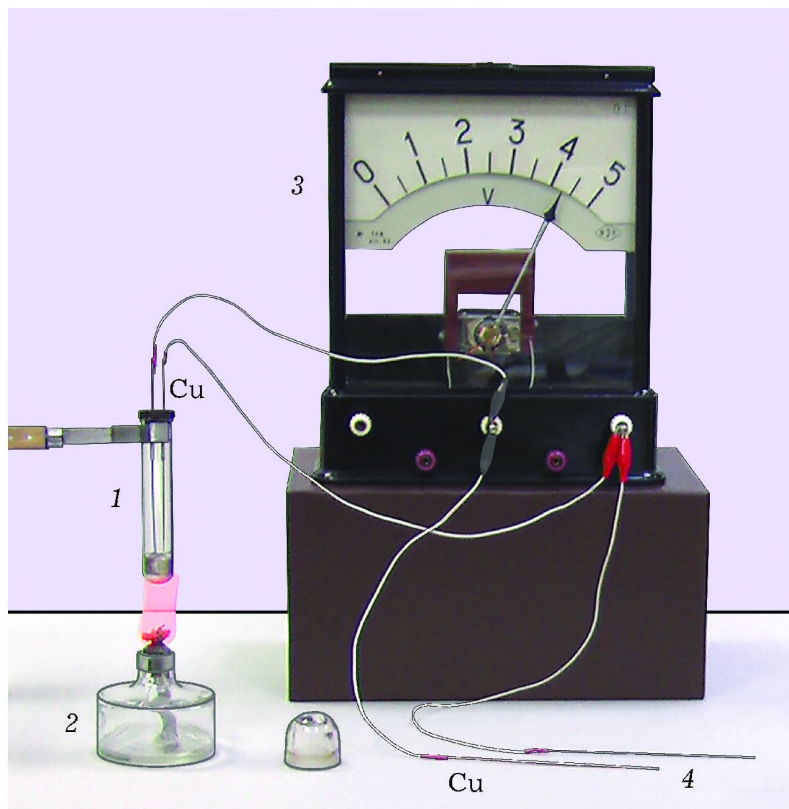


Рис. 2. Демонстрационная установка: 1 — термоэлектрический источник тока; 2 — источник тепловой энергии; 3 — демонстрационный гальванометр; 4 — дополнительные электроды

3. Демонстрационные опыты

При введении понятия источника постоянного электрического тока проводят следующую серию демонстрационных опытов.

Опыт 1. Термоэлектрический источник постоянного тока. Собирают экспериментальную установку (рис. 2), подключают в пла-

ленные в металл константановый и медный электроды к гальванометру и соединяют его клеммы с дополнительными электродами. Включают горелку и нагревают пробирку. При этом обучающиеся наблюдают, что стрелка гальванометра, находившаяся в начале опыта на нуле шкалы, по мере повышения температуры металла в пробирке отклоняется все больше. Ток через гальванометр остается некоторое время постоянным, пока металл в пробирке плавится, и затем вновь нарастает. В момент, когда стрелка гальванометра отклонится почти до конца шкалы, нагрев прекращают.

Опыт показывает, что два разных металлических электрода, соединенные между собой другим твердым или жидким металлом, являются источником постоянного электрического тока, если температура области их соединения неизменна и больше температуры остальной части цепи.

Опыт 2. ЭДС термоэлектрического источника. Электродвижущая сила любого источника тока равна разности потенциалов на его выводах, при которой отсутствует ток через источник. Поэтому для измерения ЭДС термоэлектрического источника (термоэдс) достаточно к его выводам подключить вольтметр, силой тока через который можно пренебречь. В условиях нашего опыта в качестве вольтметра можно использовать мультиметр, внутреннее сопротивление которого $R_V = 10^6 - 10^7$ Ом можно считать бесконечно большим по сравнению с внутренним сопротивлением термоэлектрического источника. Измерения мультиметром типа DT9208A показывают, что ЭДС термоисточника при температуре плавления металла в пробирке равна 6,5 мВ (рис. 3).

Опыт 3. Необходимость электродов из разных металлов. В расплавленный металл погружают сначала два медных, а затем два константановых электрода. Обнаруживают, что при этом термоэдс источника равна нулю. Отсюда следует, что электроды термоэлектрического источника должны быть изготовлены из разных металлов. Кроме того, опыт показывает, что термоэдс источника не зависит от того, имеется ли между его электродами промежуточный металл, или электроды из разных металлов соприкасаются непосредственно. Это можно продемонстрировать в прямом эксперименте, если скрутить концы константанового и медного проводов, соединенных с клеммами гальванометра.

Опыт 4. Измерение температуры расплава. Два провода из разных металлов, концы которых соединены между собой скруткой, пайкой или сваркой, образуют термопару. Подключив свободные концы термопары к милливольтметру, получают термоэлектрический измеритель температуры.

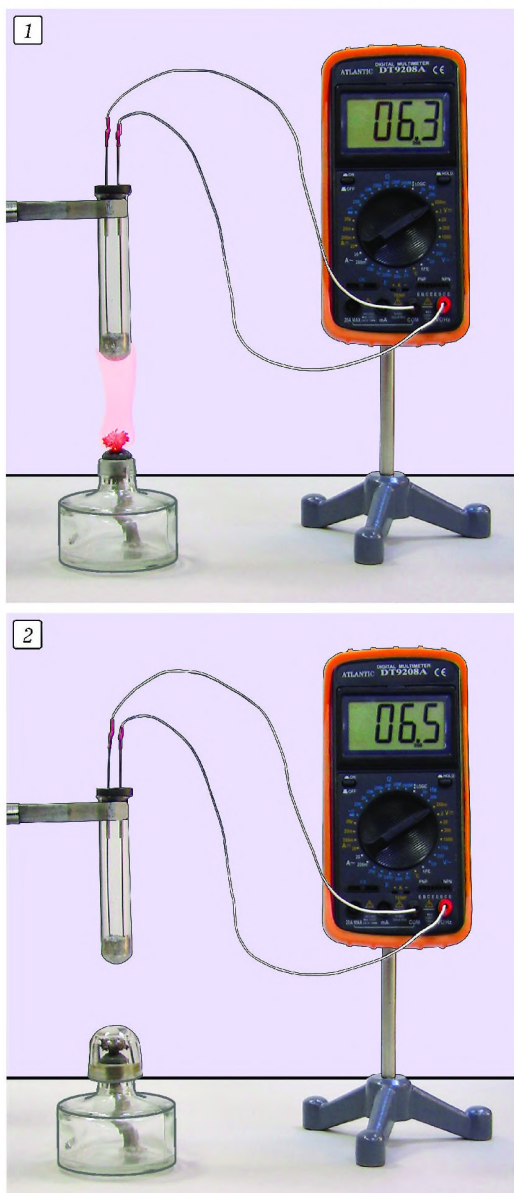


Рис. 3. Измерение электродвижущей силы термоэлектрического источника



Рис. 4. Измерение температуры расплава с помощью термопары, подключенной к мультиметру

Для определения температуры расплава используют мультиметр, в комплект к которому входит штатная термопара. Вначале определяют температуру T_1 в лаборатории. Затем сваренный конец термопары погружают в расплав и, измерив его температуру T_2 , вычисляют разность полученных значений $T_2 - T_1$. Эту величину в дальнейшем используют для определения коэффициента термоэлектродвижущей силы (п. 4.4).

4. Элементарная теория термоэлектрического источника тока

В этом пункте вначале кратко рассмотрим физический механизм возникновения контактной разности потенциалов, затем дадим элементарное объяснение принципа действия термоэлектрического источника. При этом кроме классической электродинамики будем использовать качественные и полуколичественные квантовые представления подобно тому, как это делается в учебных пособиях для технических вузов [13, с. 131–145; 14, с. 269–278].

4.1. Внешняя контактная разность потенциалов. Еще А. Вольта в конце 18 века обнаружил, что при соединении двух разных проводников между ними возникает контактная разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$, которую принято называть *внешней*. Величина $\varphi_1 - \varphi_2$ у различных пар металлов колеблется от десятых долей и до единиц вольта и практически не зависит от температуры. Возникает эта разность потенциалов потому, что различные металлы обладают разными работами выхода электронов из них в вакуум. Поэтому для перехода электрона с зарядом $-e$ из металла с работой выхода A_1 в металл с работой выхода $A_2 < A_1$ нужно совершить работу $-e(\varphi_1 - \varphi_2) = A_1 - A_2$. Отсюда внешняя контактная разность потенциалов равна

$$\varphi_1 - \varphi_2 = -\frac{A_1 - A_2}{e}. \quad (1)$$

4.2. Внутренняя контактная разность потенциалов. Металлы помимо разной работы выхода отличаются концентрациями свободных электронов. При контакте двух металлов электроны диффундируют из металла с большей концентрацией в металл, где концентрация электронов меньше. Поэтому на границе между металлами возникает электрическое поле, которое растёт до тех пор, пока работа поля над диффундирующими электронами не превышает энергии их хаотического движения. В результате возникает *внутренняя* контактная разность потенциалов. По величине она порядка единиц милливольт, что гораздо меньше внешней контактной разности потенциалов, и, кроме того, она зависит от температуры. Чтобы разобраться в этом с обучающимися, лучше всего привлечь элементарные сведения из квантовой физики.

4.3. Функция Ферми и закон Больцмана. Согласно квантовой теории электроны в твёрдом теле подчиняются *распределению Ферми–Дирака*. Это означает, что вероятность $P(W)$ обладания электроном энергией W выражается функцией Ферми:

$$P(W) = \frac{1}{e^{(W-W_F)/kT} + 1}. \quad (2)$$

Здесь e — основание натуральных логарифмов, W_F — уровень Ферми; k — постоянная Больцмана; T — абсолютная температура тела. Вероятность того, что свободные электроны в металле обладают энергией, значительно превышающей уровень Ферми $W \gg W_F$, выражается из функции Ферми соотношением:

$$P(W) = e^{-(W-W_F)/kT} = e^{W_F/kT} e^{-W/kT} = A e^{-W/kT}. \quad (3)$$

Это хорошо известный из молекулярной физики закон Больцмана.

В металлах концентрации n_1 и n_2 свободных электронов, обладающих энергиями W_1 и W_2 , пропорциональны вероятностям $P(W_1)$ и $P(W_2)$, поэтому:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{P(W_1)}{P(W_2)} = e^{-(W_1 - W_2)/kT} = e^{e(\varphi_1 - \varphi_2)/kT}. \quad (4)$$

Выражая отсюда контактную разность потенциалов, получаем:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}. \quad (5)$$

Эта формула показывает, что внутренняя контактная разность потенциалов зависит не только от концентраций в металлах свободных электронов, но и от температуры области контакта.

4.4. Принцип действия термоэлектрического источника. Схематически изобразим электрическую часть экспериментальной установки (рис. 2), как показано на рис. 5. Чтобы найти ЭДС во всей цепи, просуммируем ЭДС всех контактов, обходя цепь против часовой стрелки.

Контакты между проводниками 1, 3 и 2 находятся при температуре нагретого металла T_2 . Следовательно, контактные разности потенциалов равны:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{13} = \varphi_1 - \varphi_3 &= -\frac{A_1 - A_3}{e} + \frac{kT_2}{e} \ln \frac{n_1}{n_3}, \\ \mathcal{E}_{32} = \varphi_3 - \varphi_2 &= -\frac{A_3 - A_2}{e} + \frac{kT_2}{e} \ln \frac{n_3}{n_2}. \end{aligned}$$

Сложив эти два равенства, получаем:

$$\mathcal{E}_{12} = \mathcal{E}_{13} + \mathcal{E}_{32} = \varphi_1 - \varphi_2 = -\frac{A_1 - A_2}{e} + \frac{kT_2}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}. \quad (6)$$

Контакт между проводниками 2 и 1 находится при температуре T_1 , поэтому для него:

$$\mathcal{E}'_{21} = \varphi'_2 - \varphi'_1 = -\frac{A_2 - A_1}{e} + \frac{kT_1}{e} \ln \frac{n_2}{n_1}. \quad (7)$$

Сложив равенства (6) и (7), получаем выражение для ЭДС, которая равна сумме скачков потенциала во всей замкнутой цепи:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{12} + \mathcal{E}'_{21} = \frac{k}{e} \ln \frac{n_1}{n_2} \cdot (T_2 - T_1) = \alpha_{12}(T_2 - T_1), \quad (8)$$

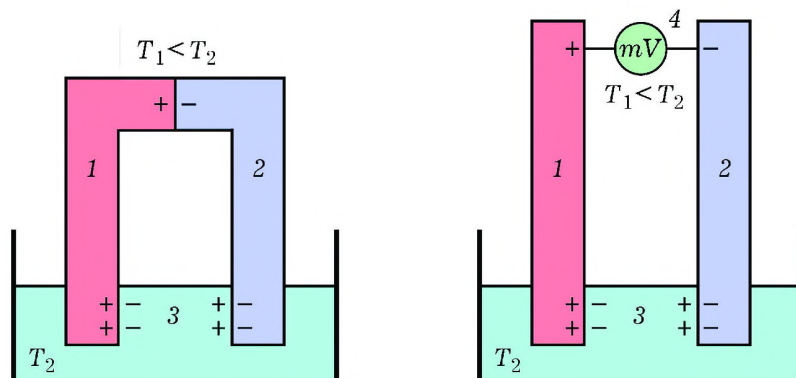


Рис. 5. Схема термоэлектрического источника постоянного тока, использованного в демонстрационном опыте: 1 — медный электрод, 2 — константовый электрод, 3 — расплавленный металл, 4 — внешняя цепь, например, соединительные провода и милливольтметр, подключенные к источнику.

где α_{12} — коэффициент термоэлектродвижущей силы для контакта между электродами 1 и 2 источника [4, с. 483].

Для термопары медь–константан $\alpha_{12} = +41,8$ мкВ/К. В одном из наших опытов измерения показали, что комнатная температура $T_1 = 24$ °С и температура плавления припоя $T_2 = 181,4$ °С. Подстановка этих экспериментальных данных в формулу (8) дает значение $\mathcal{E} = 6,58$ мВ, близкое к измеренному мультиметром (рис. 3).

Таким образом, полученная в элементарной теории приближенная формула (8) в целом правильно объясняет результаты описанных выше демонстрационных экспериментов.

5. Заключение

В статье предлагается изучение источников постоянного тока начинать не с гальванического, а с термоэлектрического элемента. Преимущества такого подхода состоят в следующем.

1. Качественное объяснение принципа действия термоэлектрического источника использует простую физическую модель и базируется на усвоенных в школьном курсе основах классических теорий диффузии газов и электрического тока в металлах.

2. Демонстрации термоэлектрического источника просты и наглядны. Они убедительно показывают, что тепловая энергия непосредственно преобразуется в электрическую. Физическая природа

сторонних сил, обеспечивающих возникновение термоэлектродвижущей силы, обучающимся очевидна.

3. Элементарная теория термоэлектрического источника, приводящая к известному приближенному выражению для термоэдс, проста и доступна, если без доказательства сообщить обучающимся выражение для функции Ферми, обоснование которого они получают позже. Такой прием полезен, так как он показывает связь классической физики с квантовой, основы которой еще только предстоит изучить. Поэтому понятия внешней и внутренней контактной разности потенциалов нет необходимости вводить. Вполне достаточно при изучении термоэлектрического источника постоянного тока ограничиться содержанием пунктов 4.3 и 4.4 этой статьи.

4. Введение понятий сторонних сил, электродвижущей силы, внутреннего и внешнего сопротивлений на примере термоэлектрического источника облегчает изучение гальванических источников постоянного тока, так как для понимания принципа действия последних помимо физических знаний необходимы знания электрохимических процессов.

5. Современные полупроводниковые источники термоэлектричества имеют важное значение и широко используются на практике, поэтому экспериментальное изучение их упрощенной металлической модели в курсе общей физики вполне оправдано.

Исследование выполнено на базе Федеральной инновационной площадки «Школа учебного физического эксперимента» по проекту «Методика проведения новых физических опытов в школе как средство формирования инженерных компетенций обучающихся», который реализуется при финансовой поддержке Министерства просвещения Российской Федерации в рамках государственного задания (дополнительное соглашение Министерства просвещения Российской Федерации и ФГБОУ ВО «Глазовский государственный педагогический институт имени В. Г. Короленко» № 073-03-2023-026/2 от 20.06.2023 к соглашению № 073-03-2023-026 от 27.01.2023, регистрационный № НИОКТР 1022080500004-8-5.3.1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гершензон Е. М., Малов Н. Н., Мансуров А. Н. Электродинамика: Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений. — М.: Издательский центр «Академия», 2002. — 352 с.
2. Иродов И. Е. Электромагнетизм. Основные законы. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. — 320 с.
3. Калашников С. Г. Электричество: Учебн. пособие. — М.: Физматлит, 2004. — 624 с.
4. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т. III. Электричество. — М.: Физматлит; Изд-во МФТИ, 2004. — 656 с.

5. 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.
6. Кошманов В. В. Георг Ом: Пособие для учащихся. — М.: Просвещение, 1980. — 112 с.
7. Майер В. В., Вараксина Е. И. Как Георг Ом открыл закон Ома // Потенциал. — 2008. — № 2. — С. 73–80.
8. Mayer V. V., Varaksina E. I. Modern analogue of Ohm's historical experiment // Physics Education. — 2014. — Vol. 50. — P. 689–692.
9. Майер В. В., Вараксина Е. И. Магнитная стрелка и термоэлектричество // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 37. — М.: ИСРО РАО, 2023. — С. 10–13.
10. Chambers R. G. Thermoelectric effects and contact potentials (for teachers) // Physics Education. — 1977. — Vol. 12. — P. 374.
11. Svahte M., Strnad J. A. Thermoelectric experiment in support of the second law // European Journal of Physics. — 1988. — Vol. 9. — P. 11.
12. Kraftmakher Y. Simple experiments with a thermoelectric module // European Journal of Physics. — 2005. — Vol. 26. — P. 959.
13. Евграфова Н. Н., Каган В. Л. Руководство к лабораторным работам по физике: Учеб. пособие для радиотехн. и электроприборостроит. специальностей вузов. — М.: Высшая школа, 1970. — 384 с.
14. Геворкян Р. Г., Шепель В. В. Курс общей физики. Учеб пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 1972. — 560 с.

Глазовский государственный
инженерно-педагогический
университет имени В. Г. Короленко

Поступила в редакцию 03.07.23.

ABSTRACTS

Shamalo T.N., Usoltsev A.P. A talented person is talented in everything! To the anniversary of Peter Vladimirovich Zuev. The paper is devoted to the anniversary of Professor Peter Vladimirovich Zuev. *Keywords:* Russian physics education, Professor Peter Vladimirovich Zuev, teacher, scientist.

Dammer M.D., Sibagatullin A.A., Demin P.A., Gorbunov P.V. Homemade equipment for the study of statics in physics lessons. A demonstration installation is offered that helps the teacher and students when studying statics. The design of the installation, a set of equipment for experiments, manufacturing technology and parameters of the main elements are described in detail. Examples of practical application of the developed installation for demonstration of numerous static phenomena and experimental substantiation of the results of solving physical problems of various levels are given. *Keywords:* teaching physics, statics, simple mechanisms, homemade equipment.

Mayer V.V., Vasiliev I.A., Samarin I.V. Homemade Duboshinsky's pendulum. The technology of manufacturing by students of the main parts for the assembly of Duboshinsky's magnetic pendulum is proposed. The purpose of optional practical activity of teachers and students is to test the possibility of manufacturing an educational model of this device using standard equipment of the school physics room. *Keywords:* Duboshinsky's pendulum, operating model, physics room, educational equipment.

Faddeev M.A. Magnetic moment — universal physical characteristic of magnetic fields of electric currents and permanent magnets. The paper considers magnetic fields of constant electric currents and permanent magnets. We have shown the universality of the magnetic moment as a characteristic that adequately describes the magnetic fields of circular electric currents and permanent magnets. *Keywords:* magnetic field, magnetic moment, circular electric current, permanent magnet, school physics experiment.

Mayer V.V., Varaksina E.I. Experimental study of a DC source. We propose to perform an experimental study of a DC thermoelectric source and give a simple explanation of the experimental results before considering a galvanic cell in a general physics course. The advantage of this approach is that the elementary theory of a thermoelectric source is quite accessible to students, does not require knowledge of electrochemical processes and is justified by simple and visual demonstration experiments. *Keywords:* thermoelectric source, direct current, electromotive force, Fermi level.

Tarchevsky A.E. Organization of a physical workshop in a modern primary and high school. The main author's principles of the organization and implementation of a modern and original physical workshop in high school are considered. *Keywords:* modern school, physical workshop, organization, basic principles.