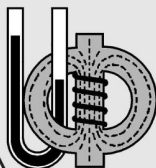


ISSN 2307-5457

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ОБРАЗОВАНИЯ

*Primus
inter pares*



**УЧЕБНАЯ
ФИЗИКА**

Материалы XXVII Всероссийской
научно-практической конференции

«Учебный физический эксперимент:
Актуальные проблемы. Современные
решения»

Январь - март 2022 №1

Издается с января 1997 года

СОДЕРЖАНИЕ

Хроника

XXVII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «УЧЕБНЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ. СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ»	3
--	---

Основная школа

В. В. Майер К. М. Курбоналиев	ПОЛНОЕ ВНУТРЕННЕЕ ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА И СОВРЕМЕННАЯ ГРАДИЕНТНАЯ ОПТИКА НА ШКОЛЬНОМ ВНЕУРОЧНОМ ЗАНЯТИИ	9
----------------------------------	---	---

Старшая школа

В. Н. Бакулин М. И. Толмачева	ВЕРЕВКА — ВЕРВИЕ НЕ ПРОСТОЕ	14
Ш. Г. Зиятдинов	ЗАДАЧИ-ЛОВУШКИ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ	22

Высшая школа

Б. А. Мукушев	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА, МОДЕЛИРУЮЩАЯ СИЛУ ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ	27
А. А. Сабирзянов	ПОСТРОЕНИЕ СИЛОВЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПО МЕТОДУ МАКСВЕЛЛА	33
С. А. Герасимов	ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЖИДКОСТИ И ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЕ ...	41

А. П. Коваленко	ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО	
С. В. Симукова	ТОКА НА ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ	
	ПО ФИЗИКЕ	48

Компьютер в эксперименте

В. В. Майер	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМАРТФОНА	
А. А. Перминов	ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАДИЕНТА	
	ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ	53

АВТОРЫ ЖУРНАЛА	67
ABSTRACTS	68

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
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 12.05.22. Подписано в печать 15.06.22. Дата выхода в свет: 27.06.22. Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,25.

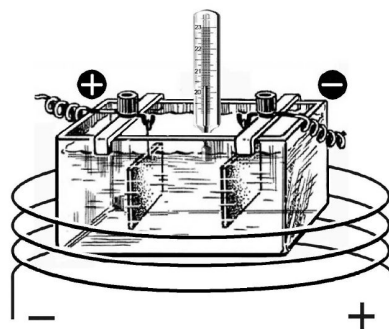
Заказ 151. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Современный вариант эксперимента Г.Герца, в котором обнаруживается электромагнитное излучение, распространяющееся от полуволнового вибратора с искровым промежутком.

УДК 372.853

С. А. Герасимов

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЖИДКОСТИ И ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЕ



Не подтвердить, а понять — вот цель настоящей работы. Магнитное поле должно уменьшать ток, текущий в веществе. Это результат так называемого магнитосопротивления. Оказалось все наоборот. Под действием магнитного поля электрический ток в электролите возрастает.

Ключевые слова: магнитное поле, электрический ток, температура, электролит, магнитосопротивление.

Если речь зашла о влиянии магнитного поля, то магнит лучше взять электрический. Иначе ни за что не изучишь зависимость изменения тока, обусловленного действием магнитного поля от его индукции. Конечно, можно под кювету V с 5% раствором NaCl периодически подсовывать сильный постоянный магнит, но едва ли что-то вразумительное из этого получится: магнитное поле зависит не только от его индукции, но и его положения.

Измерения должны быть более или менее точными, поэтому каждое измерение следует проводить несколько раз. Поэтому целесообразно, к примеру, раз в час на пять минут включать при помощи розеточного таймера источник постоянного тока, питающий электромагнит M , внутри которого находится цилиндрическая кювета с 5% раствором NaCl (рис. 1). Высота уровня раствора NaCl в кювете $h = 2$ см. Электромагнит — предмет, который греется. Поэтому одновременно с измерениями напряжения на резисторе R с сопротивлением 100 кОм следует ре-

гистрировать температуру жидкости t . Это можно сделать при помощи терморезистора T , сигнал с которого одновременно с падениями напряжения u регистрируется электронным осциллографом $BM8020$.

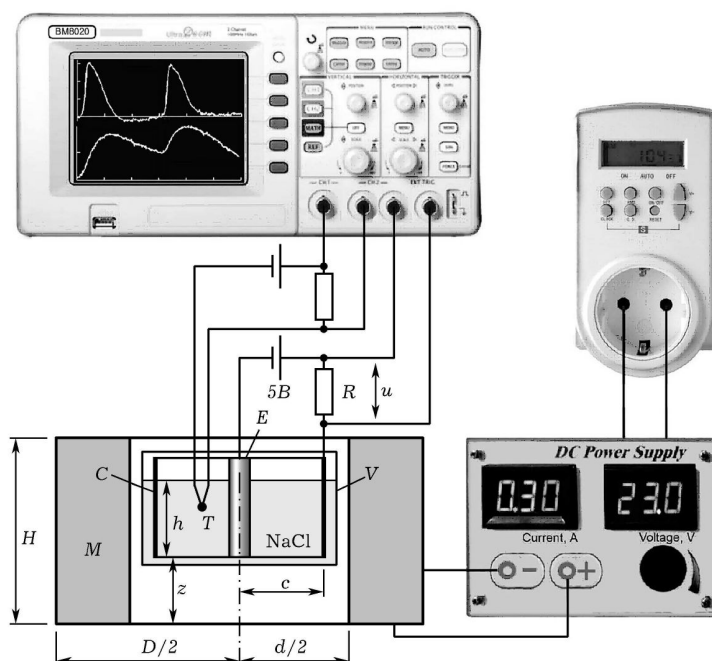


Рис. 1. Экспериментальная установка

В кювете находятся два алюминиевых цилиндрических электрода E и C . Один из них, который E — сплошной алюминиевый цилиндр диаметром 8 мм и высотой 40 мм, второй электрод C — полый тонкий алюминиевый цилиндр диаметром 29 мм и высотой 40 мм. Без измерения температуры результаты едва ли будут однозначными: возрастание тока при неизвестной температуре жидкости можно вполне выдать за последствия нагрева жидкости электромагнитом [1].

Незначительно, но ток через резистор R все-таки возрастает (рис. 2). Судя по всему, дало о себе знать отрицательное магнитосопротивление [2], — явление экзотическое и, поговаривают, наблюдаемое только при низких температурах. Температура, конечно, тоже изменяется, причем синхронно с изменениями

напряжения, но связать изменения u с изменениями температуры t так запросто не удастся. Обратите внимание, через двадцать пять минут после выключения поля падение напряжения сваливается практически до нуля, тогда как жидкость остается в слегка подогретом состоянии. Более того, за 2 часа измерений температура жидкости возросла почти на градус, а значение напряжения при выключенном магнитном поле осталось почти прежним.

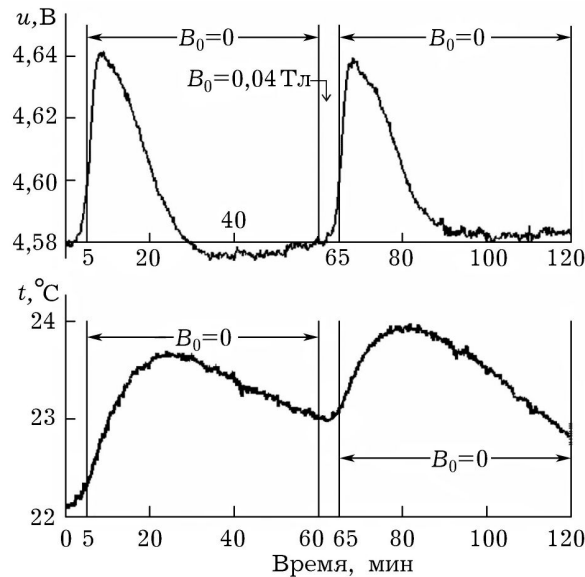


Рис. 2. Так напряжение и температура зависят от времени

Время опытов безвозвратно прошло, нужны количественные результаты, а то, что показано на рис. 2 больше напоминает результат наблюдения, то есть опыта и не более. На первый взгляд зависимость относительного изменения тока $\Delta I/I_0$ от расстояния z между нижним основанием электромагнита и нижними границами алюминиевых электродов ничего необычного не показывает (рис. 3). Надо помнить, однако, что речь идет об отрицательном магнитосопротивлении, при котором заряды, как это ни странно, движутся вдоль силовых линий магнитного поля, а не поперек. По крайней мере, такова интерпретация этого явления [3]. Теперь становится понятным, что надо еще сделать с этой экспериментальной зависимостью. Надо сравнить ее со

средней величиной радиального магнитного поля вблизи поверхности электродов. Усреднять, разумеется, следует по поверхности большого электрода:

$$\langle \hat{A}_{rc} \rangle = \frac{1}{h} \int_z^{z+h} B_{rc}(y) dy.$$

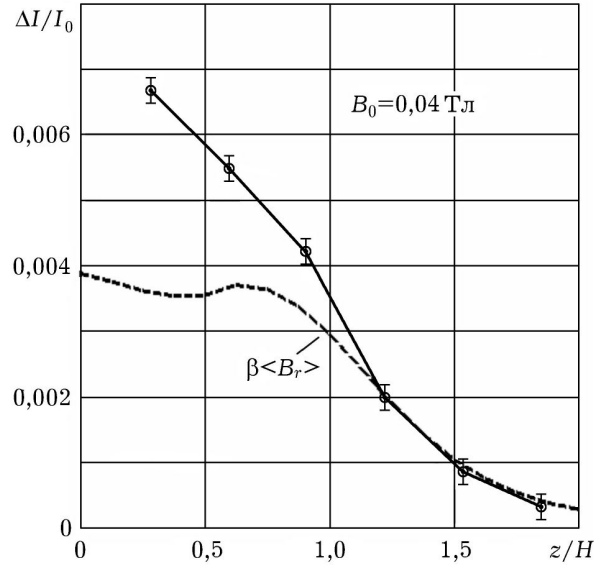


Рис. 3. Относительное изменение тока и расстояние

Имеет смысл ввести безразмерные переменные

$$\alpha = \frac{D}{2H}, \quad \Psi = \frac{y}{H}, \quad \xi = \frac{c}{H},$$

где y — расстояние от низа электродов до слоя жидкости высотой dy , а в этих безразмерных переменных радиальная составляющая индукции магнитного поля определяется выражениями, вытекающими из следующих соображений. Поскольку электромагнит кольцевой, то полная индукция равна разности индукций, создаваемых внешней и внутренней боковыми поверхностями электромагнита:

$$B_{rc}(\Psi) = \hat{A}_r(D/2H, c/H, \Psi) - \hat{A}_r(d/2H, c/H, \Psi),$$

а радиальная составляющая магнитного поля, создаваемого цилиндрическим магнитом, по боковой поверхности которого течет электрический ток с поверхностной плотностью J , выглядит следующим образом

$$\hat{A}_r(\alpha, \xi, \Psi) = \frac{\mu_0 J \alpha}{4\pi} \int_0^{2\pi} \left(\frac{1}{\sqrt{\xi^2 - 2\xi\alpha \cos \varphi + \alpha^2 + (\Psi - 1)^2}} - \frac{1}{\sqrt{\xi^2 - 2\xi\alpha \cos \varphi + \alpha^2 + \Psi^2}} \right) \cos \varphi d\varphi.$$

Последний интеграл есть в библиотеке любой программы численного интегрирования, а интегрирование по y можно заменить обычным суммированием.

Сравнивая относительное изменение тока со средним полем (рис. 3), можно найти константу β ; она оказалась равной $3,6 \text{ Тл}^{-1}$. Правда относится это к большим значениям z , когда кювета с жидкостью находится не внутри кольцевого электромагнита; внутри магнита радиальная составляющая индукции магнитного поля существенно слабее вертикальной. Вполне возможно, что при малых z вертикальная составляющая вносит заметный вклад в магнитосопротивление, существенно подавляя его отрицательную часть. Учесть это, построив такую же теоретическую зависимость, определенную с точностью до константы β , пока очень трудно, поскольку в этом случае общий ток не есть сумма токов. Лучше заняться другим полезным делом, то есть обратить внимание на зависимость относительного изменения тока от индукции магнитного поля B_0 в центре кольцевого электромагнита, то есть в точке, расположенной на его оси симметрии при расстоянии от его нижнего основания, равном $H/2$. Это — очень полезная зависимость, позволяющая выяснить, это вторичный процесс или нет. Пример вторичного процесса — почти несостоявшееся влияние нагрева на ток в электролите. Во вторых, сила тока должна быть пропорциональна температуре, а температура изменяется со временем, во-первых. Кстати, если бы в данном конкретном случае нагрев оказывал влияние на ток в электролите, это было бы более, чем заметно на зависимостях падения напряжения и температуры от времени (рис. 2).

Похоже, что относительное изменение тока зависит от индукции магнитного поля B_0 по квадратичному закону: $\Delta I/I_0 = \alpha B_0^2$, с константой $\alpha = 6,5 \text{ 1/Тл}^2$ (рис. 4). Трудно избавиться от подозрения во вмешательстве теплового нагрева в это интересное

явление. Что-то подобное, чем-то напоминающее отрицательное магнитосопротивление, происходит и с темновым током [4]. Но темновой электрический ток, скорее всего, имеет квантовое происхождение, так что от него можно ждать все, что угодно, поскольку отрицательное магнитосопротивление так или иначе имеет квантовое происхождение [3].

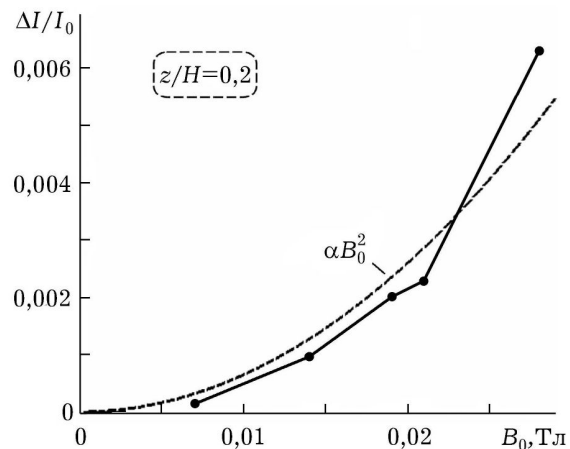


Рис. 4. Относительное изменение тока и индукция магнитного поля

Много непонятных последствий создает магнитное поле в жидкости [5]. Собственно и при изменении температуры вода ведет себя не как газ, но в любом случае сначала изменяется температура жидкости, а потом о себе дают знать те или иные эффекты. Сначала причина, потом следствие, а не наоборот.

Появившееся противоречие должно проявить себя и в других измерениях. Одно из них — то, что показано на рис. 3. При больших расстояниях от кюветы до источника магнитного поля отрицательность магнитосопротивления по-прежнему дает о себе знать. При этом можно догадаться и проверить: поток тепла от электромагнита в кювету подавлен. Этого может показаться мало. Можно провести прямые измерения относительных изменений тока при различных температурах, но при выключенном магнитном поле, то есть при $B_0 = 0$. Оказалось, что даже при изменении температуры на 10 градусов изменения относительных значений тока в цепи не превышают 0,4% (рис. 5). Конечно, эта величина соизмерима с изменениями $\Delta I/I$, обусловленными влиянием магнитного поля, однако о возрастании тока с увеличением температуры говорить не приходится.

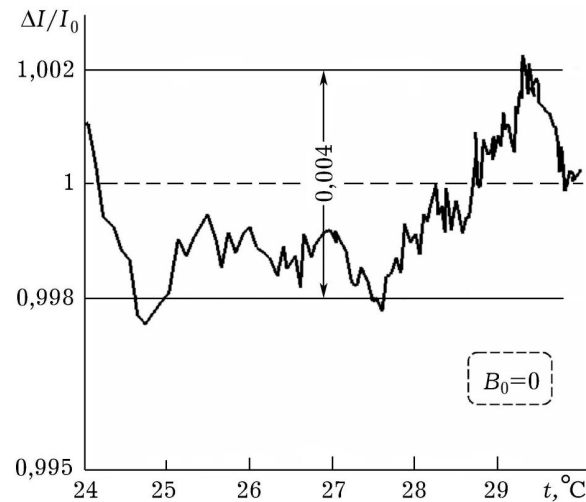


Рис. 5. «Холостой» режим. Измерения без поля

Едва ли следует считать, что работа завершена. Есть еще очень много вопросов, на которые следует ответить в том числе и экспериментально. Если отрицательное магнитосопротивление является «продольным» эффектом, в котором заряды странным образом движутся вдоль силовых линий магнитного поля, то геометрия измерения должна быть существенно изменена. Большой алюминиевый электрод *C* должен быть диском и расположенным перпендикулярно по отношению к силовым линиям магнитного поля. Впрочем, пока это всего лишь идея и повод поразмышлять, как еще можно усилить эффект.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов С. А., Павленко Д. С. Электрический ток в жидкости и магнитное поле // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 35. — М.: ИСРО РАО, 2022. — С. 42–44.
2. Pippard A. V. Longitudinal magnetoresistance // Proceedings of the Royal Society A. — 1964. — V. A282. — P. 464–484.
3. Abrikosov A. A. Quantum linear magnetoresistance // Europhysics Letters. — 2000. — V. 49. — P. 789–793.
4. Gerasimov S. A. Dark Current and Magnetic Field in Liquid // European Journal of Applied Physics. — 2021. — V. 3. — № 6. — P. 21–24.
5. Классен В. И. Вода и магнит. — М.: Наука, 1973. — 112 с.

Южный федеральный университет

Поступила в редакцию 25.03.22.

ABSTRACTS

XXVII All–Russia scientific and practical conference «The Educational Physics Experiment: Topical problems. Modern solutions». A report on XXVII All–Russian scientific and practical conference «The Educational Physics Experiment: Topical problems. Modern solutions» is presented. The conference was organized in Glazov on 28–29 January 2022. The names of the reports are given. *Keywords:* didactics of physics, educational physics experiment, conference.

Mayer V. V., Kurbanaliev K. M. Total internal reflection of light and modern gradient optics at school optional lesson. The content of an optional lesson for 8th grade students has been developed. The lesson is devoted to the phenomena associated with the total internal reflection of light in optically homogeneous and inhomogeneous media. *Keywords:* optional lesson, basic school, total internal reflection, gradient optics.

Bakulin V. N., Tolmacheva M. I. Rope is not an easy verve. Different methodological approaches to solving problems with rope are compared. The reasons for discrepancies in the results of solving problems by different methods are analyzed: dynamic and energetic. The results of the application of various approaches by senior physics students to solving rope movement problems are discussed. *Keywords:* educational task, motion models, dynamic and energetic approaches.

Ziyatdinov Sh. G. Trap tasks in the school physics course. The necessity of drawing students' attention to tasks requiring an unconventional approach to their solution is discussed. *Keywords:* school physics course, workshop on solving physical problems, trap tasks.

Mukushev B. A. Experimental setup simulating the force of universal gravity. The article presents the principles of operation and structure of the experimental setup necessary to simulate the movement of a body in a field of central force similar to the force of universal gravity. *Keywords:* electrical circuit of the installation, alternating current coil, magnetic field, Wood proof, conical motion of a steel ball.

Sabirzyanov A. A. Construction of electrostatic field lines by Maxwell's method. Maxwell's method of constructing force lines for a system of two point charges is considered. The force lines are represented by approximating polylines. The equation of force lines is derived in trigonometric form through the functions of two guiding angles. The pictures of force lines for several cases differing in the values and signs of charges are given. *Keywords:* electrostatic field, force lines, construction, Maxwell's method.

Gerasimov S. A. Electric current in liquid and negative magnetoresistivity. Not to confirm, but to understand — that is the purpose of this work. The magnetic field should reduce the current in the substance. This is the result of the so-called magnetoresistivity. It turned out the opposite. The electric current in the electrolyte increases under the influence of a magnetic field. *Keywords:* magnetic field, electric current, temperature, electrolyte, magnetoresistivity.

Kovalenko A. P., Simukova S. V. Research of alternating current rectifier at a laboratory workshop in physics. The article considers the research of the dependence of the ripple ratio, as well as the variable and steady components of the rectified voltage on the load current strength for single-half-period and two-half-period rectifiers. *Keywords:* single-half-period rectifier, two-half-period rectifier, steady component, variable component, ripple ratio.

Mayer V. V., Perminov A. A. Using a smartphone to determine the gradient of the refractive index. For the undergraduate physics workshop of a pedagogical university, a laboratory work is proposed to determine the gradient of the refractive index in the layer between a solution of table salt and pure water. The main measuring device is a smartphone with the program «Radius of curvature of the beam». *Keywords:* laboratory work, refractive index gradient, smartphone, software, photographing curved light beam.