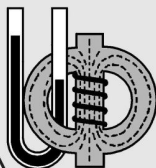


ISSN 2307-5457

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 372.853:537

А. А. Сабирзянов

ПОСТРОЕНИЕ СИЛОВЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПО МЕТОДУ МАКСВЕЛЛА

Рассмотрен метод Максвелла построения силовых линий для системы двух точечных зарядов. Силовые линии изображаются аппроксимирующими ломаными линиями. Дан вывод уравнения силовых линий в тригонометрическом виде через функции двух направляющих углов. Приведены картины силовых линий для нескольких случаев, отличающихся величинами и знаками зарядов.

Ключевые слова: электростатическое поле, силовые линии, построение, метод Максвелла.

Понятие силовых линий ввел Фарадей, но построение их для системы двух точечных зарядов впервые описал, по-видимому, Максвелл [1]. Его метод заключается в том, чтобы сначала построить силовые линии отдельных зарядов, получив сетку из перекрещивающихся линий, затем через узлы сетки провести силовые линии системы зарядов. Основные положения метода: число линий пропорционально заряду, из которого они выходят, а число линий, проходящих через какую-либо эквипотенциальную поверхность, пропорционально потоку напряженности через эту поверхность. Отметим, что и терминология, и обозначения в работе [1] значительно отличаются от современных.

Максвелл подтвердил правильность своего построения силовых линий, построив, кроме силовых линий, эквипотенциальные поверхности и показав, что линии пересекаются с этими поверхностями под прямым углом. Построение линий делается ручным способом, однако можно неограниченно увеличивать точность построения, если увеличивать густоту построения линий. После Максвелла были развиты и другие методы построения линий, как аналитические [2], так и численные [3], но предложенный им метод представляет интерес и сегодня.

Итак, в методе Максвелла нужно: а) построить сетку силовых линий отдельных зарядов; б) на сетке провести силовые линии системы зарядов. В [1] используется такой принцип построения: силовые линии выделяют на эквипотенциальной поверхности участки, через которые поток напряженности Φ имеет определенное значение. Как следствие, углы между линиями, выходящими из заряда, получаются не одинаковыми. В данном случае неприемлема обычная картина поля точечного заряда на плоскости как совокупность прямых линий с одинаковыми углами между ними.

Мы будем пользоваться такой же сеткой, как в [1], но для ее построения используем иной подход, который будет описан ниже.

Напомним два известных утверждения.

1. Поток напряженности Φ через некоторую поверхность (далее для краткости просто поток), создаваемый точечным зарядом q , связан с телесным углом Ω , под которым данная поверхность видна из точки, в которой находится заряд, формулой $\Phi = q\Omega$ [4]. Формула приведена в гауссовой системе единиц, в Международной системе единиц (СИ) есть множитель — коэффициент $k = 1/4\pi\epsilon_0$.

2. Телесный угол при вершине прямого кругового конуса с углом раствора 2α равен $\Omega = 2\pi(1 - \cos \alpha)$ [5].

Используя эти утверждения, выведем уравнение силовой линии в тригонометрической форме, следуя работе [6]. На рис. 1 произвольным образом изображена силовая линия, проходящая через точку M . Рассмотрим поверхность, образованную вращением этой линии вокруг оси X . Эта поверхность отсекает участки плоскостей, проходящих через точки A и B , и перпендикулярных оси X . Образуется замкнутая поверхность, состоящая

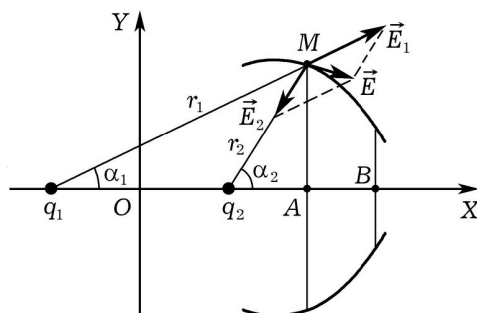


Рис. 1. К выводу уравнения силовой линии

из двух плоских участков (назовем их так же: A и B) и боковой поверхности вращения. Если заряды q_1 и q_2 не охватываются этой замкнутой поверхностью, то по теореме Гаусса поток через нее равен нулю. Так как боковая поверхность образована силовой линией, то угол между нормалью к этой поверхности и вектором напряженности в любой точке равен 90° , в результате поток через нее равен нулю. Следовательно, поток через участки A и B в сумме равен нулю. Значит, если перемещать только участок A , поток через него не изменяется. Этот постоянный поток состоит из двух слагаемых, созданных зарядами q_1 и q_2 , то есть:

$$\begin{aligned} \Phi &= \Phi_1 + \Phi_2 = q_1\Omega_1 + q_2\Omega_2 = \\ &= q_1 2\pi(1 - \cos \alpha_1) + q_2 2\pi(1 - \cos \alpha_2) = \text{const}(x), \end{aligned} \quad (1)$$

где Ω_1 и Ω_2 — телесные углы, под которыми плоский участок A виден из точек нахождения зарядов q_1 и q_2 соответственно, α_1 и α_2 — углы между осью X и отрезками прямых, соединяющих заряды с крайней точкой участка (на рис. 1 это точка M). Сокращая левую часть на постоянную величину, получаем уравнение силовой линии в тригонометрической форме

$$q_1 \cos \alpha_1 + q_2 \cos \alpha_2 = C, \quad (2)$$

где C — также константа. Каждой силовой линии соответствует определенное значение этой константы. При выводе уравнения (2) рассмотрен случай, когда точка A лежит правее зарядов, но, если точка A находится между зарядами или левее их, можно доказать, что и в таком случае уравнение (2) справедливо.

Проведем семейство прямых линий (рис. 2), выходящих из заряда q_1 , так, чтобы они образовывали углы α с осью X , соответствующие таблице 1. Косинусы углов изменяются от 0,9 до $-0,9$ с шагом 0,1. На рис. 2 указаны значения косинусов углов, соответствующих линиям. Аналогичным образом проведем семейство прямых линий, выходящих из заряда q_2 .

Таблица 1

$\cos \alpha$	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
α	28,8	36,9	45,6	53,1	60,0	66,4	72,5	78,5	84,3	90,0
$\cos \alpha$	$-0,1$	$-0,2$	$-0,3$	$-0,4$	$-0,5$	$-0,6$	$-0,7$	$-0,8$	$-0,9$	
α	95,7	101,5	107,4	113,6	120,0	126,9	134,4	143,1	154,2	

Очевидно, каждой точке пересечения линий, исходящих из первого и второго заряда (узлу сетки), соответствует некоторое

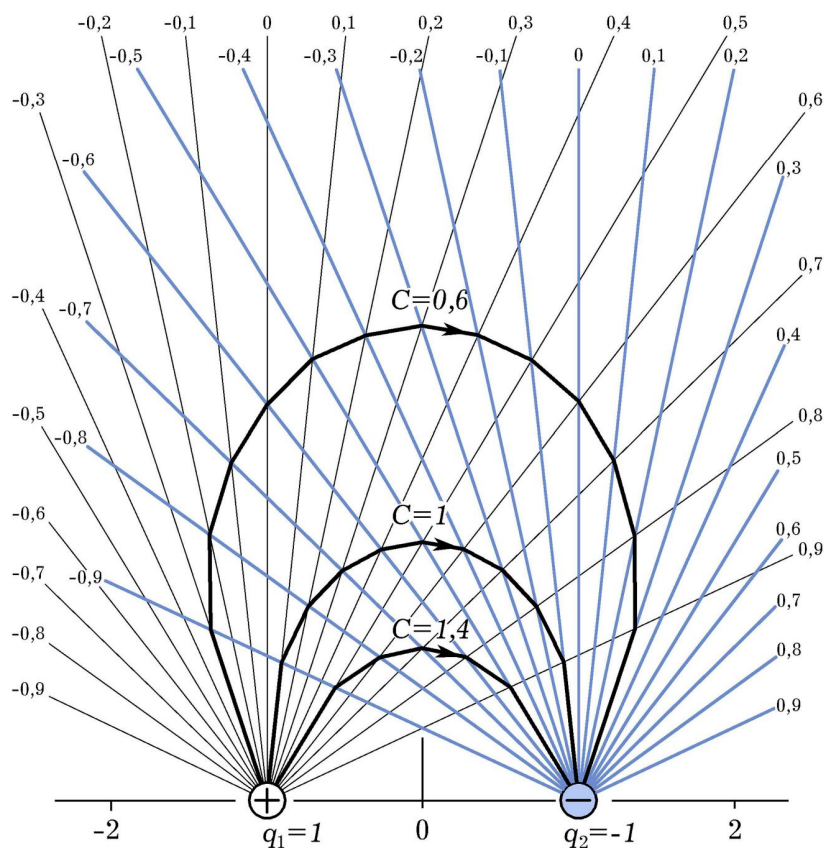


Рис. 2. Силовые линии двух зарядов, противоположных по знаку, равных по модулю

значение выражения $q_1 \cos \alpha_1 + q_2 \cos \alpha_2$. Через точки с одинаковыми значениями этого выражения должна проходить одна из силовых линий. Если соединить отрезками соседние точки с одинаковым значением, получим кусочно-линейную (ломаную) линию, аппроксимирующую силовую линию.

Пример. Рассмотрим случай $q_1 = 1$, $q_2 = -1$ (в условных единицах). Координаты зарядов выберем $x_1 = -1$, $x_2 = 1$ (в условных единицах). Выберем некоторое значение константы C , например, $C = 1$. Выберем узлы сетки, для которых $\cos \alpha_1 -$

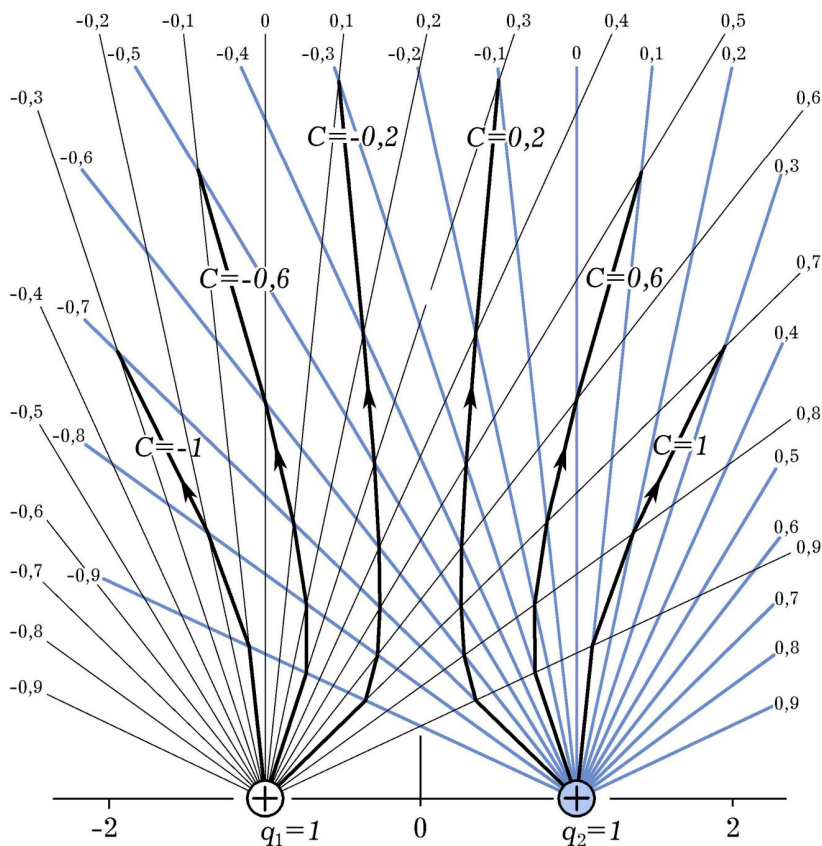


Рис. 3. Силовые линии двух зарядов одного знака, равных по модулю

$\cos \alpha_2 = 1$ и соединим соседние точки отрезками. На рис. 2 показаны получившиеся аппроксимированные силовые линии с $C = 1$, а также с $C = 0,6$ и $C = 1,4$.

То же самое можно выполнить и для точечных зарядов с другими величинами и знаками. На рис. 3–5 показаны семейства аппроксимированных силовых линий. Во всех случаях показаны только линии для полуплоскости $y > 0$; подразумевается, что в другой полуплоскости линии расположены симметрично относительно оси X . Указаны значения C для каждой линии.

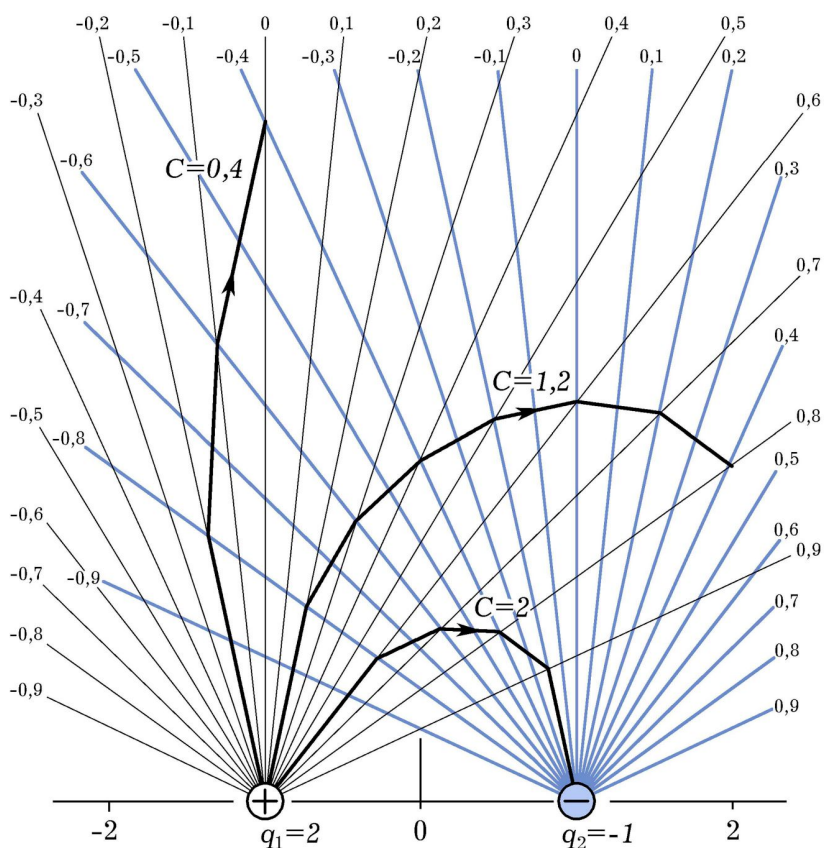


Рис. 4. Силовые линии двух зарядов, противоположных по знаку, в два раза отличающихся по модулю

Заключение

1. Рассмотрен метод Максвелла для изображения силовых линий электростатического поля, созданного двумя точечными зарядами. Силовые линии изображаются аппроксимирующими кусочно-линейными (ломаными) линиями.

2. Для построения силовых линий нужно вначале построить сетку из прямых линий, образующих определенные углы с

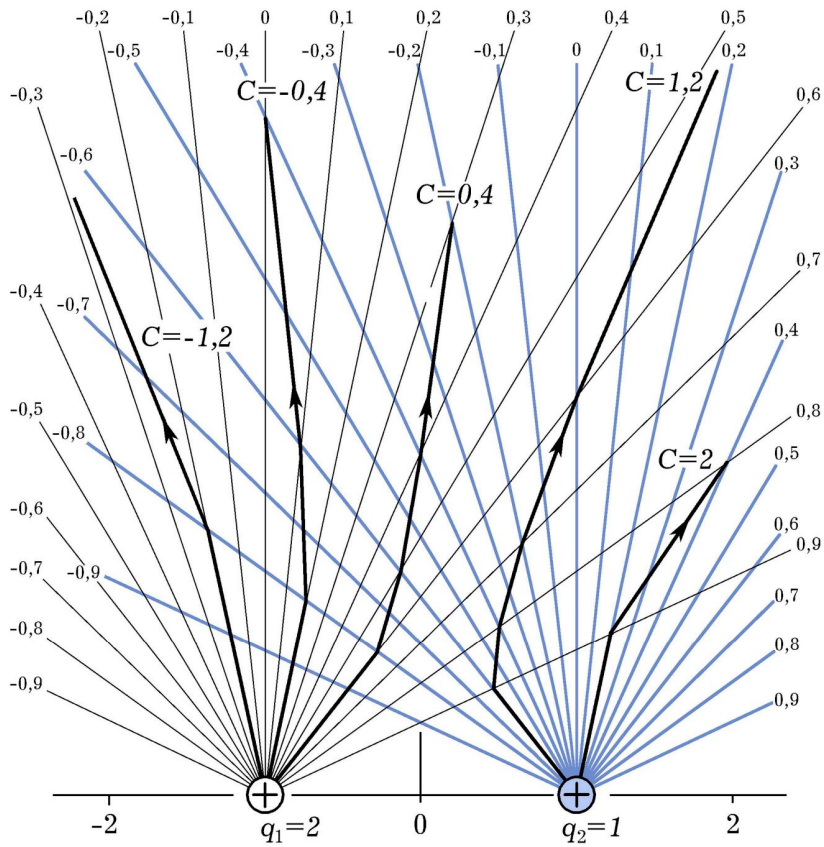


Рис. 5. Силовые линии двух зарядов одного знака, в два раза отличающихся по модулю

осью, проходящей через заряды. Мы использовали для построения линий сетки значения $\cos \alpha$ с шагом $0,1$. Можно увеличить точность построения, если уменьшить шаг изменения $\cos \alpha$.

3. Параметром, отличающим одну силовую линию от другой, является константа C . Для получения совокупности силовых линий нужно выбрать совокупность значений C в допустимом интервале значений.

4. Если вместо прямых отрезков изобразить плавные линии, можно получить еще большее приближение к истинной силовой линии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максвелл Дж. К. Трактат об электричестве и магнетизме : в 2 томах / Дж. К. Максвелл; перевод с английского Б. М. Болотовского и др. — М.: Наука, 1989. — Т. 1. — 415 с.
2. Сабирзянов А. А. Математическое моделирование силовых линий электростатического поля / А. А. Сабирзянов // Математическое моделирование и информационные технологии при решении прикладных задач в транспортном вузе: сборник научных трудов. — Екатеринбург: УрГУПС, 2021. — Вып. 1 (241). — 201 с.
3. Майер Р. В. Компьютерное моделирование / Р. В. Майер. — Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 2015. — 1 CD-ROM.
4. Сивухин Д. В. Общий курс физики: учеб. пособие для вузов: [в 5 томах]. Т. 3: Электричество / Д. В. Сивухин. — 4-е изд, стер. — М.: Физматлит: Изд-во МФТИ. — 2003. — 575 с.
5. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике: для инженеров и учащихся втузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. — Изд. 4-е. — М.: Гос. изд-во технико-теоретич. лит., 1954. — 609 с.
6. Смайт В. Электростатика и электродинамика / Вильям Смайт; перевод с английского А. В. Гапонова и М. А. Миллера. — М.: Изд-во иностранной лит., 1954. — 604 с.

Уральский государственный
университет путей сообщения

Поступила в редакцию 14.01.22.

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.