

ISSN 2307-5457	НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ОБРАЗОВАНИЯ
<i>Primum inter pares</i>	 <b>УЧЕБНАЯ ФИЗИКА</b>
Материалы XXVII Всероссийской научно-практической конференции	Октябрь - декабрь 2022 №4
«Учебный физический эксперимент: Актуальные проблемы. Современные решения»	Издаётся с января 1997 года

## СОДЕРЖАНИЕ

### От редакции

К ЮБИЛЕЮ ПРОФЕССОРА  
ЮРИЯ АРКАДЬЕВИЧА САУРОВА ..... 3

Ю. А. Сауров            ОБ ИСТОРИЧЕСКОЙ МИССИИ ЖУРНАЛА  
«УЧЕБНАЯ ФИЗИКА» ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ  
ПРАКТИКИ ОБУЧЕНИЯ ..... 6

### Основная школа

В. В. Майер            ШКОЛЬНЫЕ ДЕМОСТРАЦИОННЫЕ  
Е. И. Вараксина        ОПЫТЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ  
Б. А. Хайдаров        ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ ..... 9

В. В. Майер            ПРИБОРЫ ДЛЯ СТРОБОСКОПИЧЕСКОГО  
Е. И. Вараксина        ФОТОГРАФИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ  
И. А. Васильев        ДВИЖЕНИЙ ..... 13  
Б. А. Хайдаров

### Старшая школа

В. А. Саранин            КАПЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ АТОМНОГО ЯДРА ..... 23

### Высшая школа

В. В. Майер            ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ВОЛНА  
Е. И. Вараксина        В ДВУХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ:  
УЧЕБНАЯ ТЕОРИЯ ..... 31

В. В. Майер            ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ВОЛНА  
Е. И. Вараксина        В ДВУХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ:  
УЧЕБНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ..... 42

## Компьютер в эксперименте

В. В. Шамшутдинова	ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	
С. В. Обухов	ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ДИФРАКЦИИ	
Ю. Б. Моржикова	ФРАУНГОФЕРА	50

## Исследования

В. В. Майер	ЭКСПЕРТИЗА НОВЫХ УЧЕБНЫХ	
Е. И. Вараксина	ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ	54

АВТОРЫ ЖУРНАЛА	67
ABSTRACTS	68
СТАТЬИ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ В ЖУРНАЛЕ В 2022 ГОДУ	70

---

### 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 ГППИ, 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](mailto: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 01.11.22. Подписано в печать 20.12.22. Дата выхода в свет: 23.12.22. Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,5.

Заказ 154. Тираж 200 экз. Цена свободная.

**Первая страница обложки:** Простая лекционная демонстрация токов проводимости и смещения. Для визуализации токов в цепи с конденсатором использованы три одинаковые неоновые лампы.

УДК 372.853:537.8

В. В. Майер, Е. И. Вараксина  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ВОЛНА  
В ДВУХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ:  
УЧЕБНАЯ ТЕОРИЯ

Кратко изложена элементарная теория электромагнитных волн в двухпроводной линии без потерь на сопротивление, проводимость и излучение.

*Ключевые слова:* двухпроводная линия, погонные емкость и индуктивность, телеграфные уравнения, волновое уравнение, электромагнитная волна, скорость распространения, волновое сопротивление.

В 1890 году, спустя всего два года после публикации работы Г. Герца «Об электродинамических волнах в воздухе и об их отражении» австрийский физик Э. Лехер выполнил важное исследование электромагнитных волн в двухпроводной линии. Состоящая всего из двух проволок *система Лехера* со временем трансформировалась в коаксиальный кабель, который, к слову сказать, связывает телевизор с антенной и, следовательно, есть в любом доме. Приведенный пример показывает значимость учебного исследования двухпроводной линии для формирования естественнонаучной грамотности обучающихся. Основная задача этой статьи — дать простое и наглядное изложение основ элементарной теории двухпроводной линии на уровне электродинамики курса общей физики педагогического вуза. В работе мы использовали несколько доступных источников информации [1–5].

### 1. Двухпроводная линия постоянного тока

На рис. 1.1 схематически изображена двухпроводная линия постоянного тока. Она состоит из двух цилиндрических проводов радиусом  $r$ , оси которых расположены на расстоянии  $d$  друг от друга. Будем считать, что линия находится в воздухе или в вакууме, радиусы проводов много меньше расстояния между ними  $r \ll d$ , а сами провода имеют пренебрежимо малое сопротивление (*линия без потерь*). Начало линии подключено к

источнику постоянной ЭДС, с концом линии соединен постоянный резистор  $R$ , который является ее *нагрузкой*.

В этих условиях верхний по рисунку провод заряжается положительно, а нижний — отрицательно. Как известно из электростатики, заряды располагаются на поверхностях проводников. При этом между проводами возникает электрическое поле напряженностью  $\vec{E}$ . Следовательно, двухпроводную линию можно рассматривать как два цилиндрических электрода, образующих конденсатор. По проводам линии идет электрический ток, который создает магнитное поле, поэтому двухпроводную линию можно также считать сильно вытянутой в одном направлении одновитковой катушкой. Таким образом, двухпроводная линия обладает емкостью и индуктивностью.

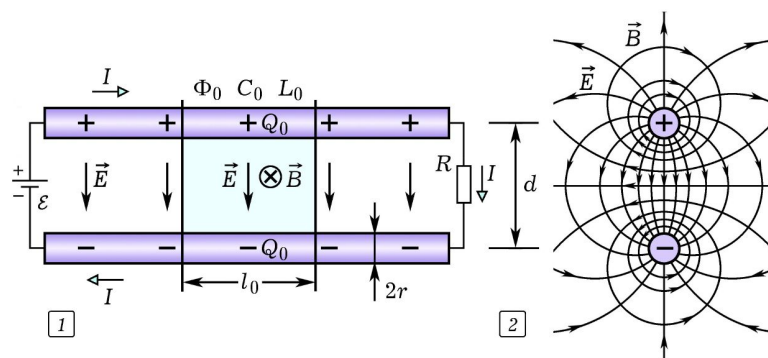


Рис. 1. Двухпроводная линия постоянного тока: 1 — линия образуют два параллельных провода, соединяющих источник постоянного тока  $\mathcal{E}$  и нагрузку  $R$ ; 2 — линии напряженности электрического  $\vec{E}$  и индукции магнитного  $\vec{B}$  полей в плоскости, перпендикулярной проводам

На рис. 1.1 двумя параллельными прямыми выделен участок линии единичной длины  $l_0$ . Справа на рис. 1.2 показано сечение линии плоскостью, перпендикулярной проводам, и электромагнитное поле в этой плоскости. Линии напряженности электрического поля  $\vec{E}$  начинаются на поверхности положительно заряженного и заканчиваются на поверхности отрицательно заряженного провода. Линии индукции магнитного поля  $\vec{B}$  представляют собой замкнутые окружности, охватывающие провода. Важно, что практически все электромагнитное поле сосредоточено между проводами двухпроводной линии.

Одинаковые по параметрам линии могут иметь самые различные длины, поэтому двухпроводную линию принято характери-

зовать *погонными*, то есть приходящимися на единицу длины, емкостью  $C_0$  и индуктивностью  $L_0$ . Найдем выражения для этих величин.

## 2. Погонная емкость двухпроводной линии

На рис. 2 в декартовой системе координат  $xOy$  схематически изображен отрезок двухпроводной линии. Емкость этого отрезка по определению

$$C = \frac{Q}{U}, \quad (1)$$

где  $Q$  — модуль зарядов на проводах,  $U$  — напряжение между поверхностями проводов. Чтобы найти напряжение  $U$ , вначале вычислим разность потенциалов  $U_1$  между точками 1 и 2, которая создается только одним левым по рисунку проводом:

$$U_1 = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q} = \frac{1}{q} \int_1^2 \vec{F} d\vec{s} = \int_r^{d-r} E dx, \quad (2)$$

где  $A_{12}$  — работа по перемещению пробного положительного заряда  $q$  из точки 1 в точку 2;  $\vec{F}$  — кулоновская сила, действующая на заряд;  $d\vec{s}$  — элемент траектории движения заряда;  $E = E(x)$  — напряженность электрического поля, созданного зарядом на указанном проводе. Работа потенциального поля не зависит от формы пути, по которому перемещается единичный пробный заряд

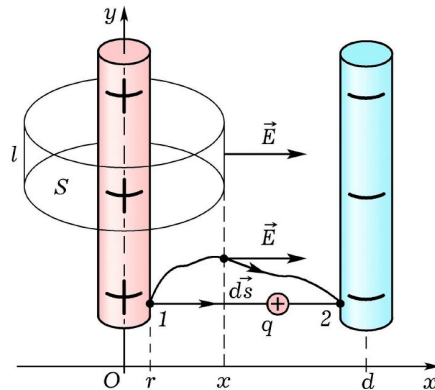


Рис. 2. Отрезок двухпроводной линии для определения погонной емкости

$q$ . Поэтому в формуле (2) выбран наиболее простой для вычисления напряжения путь по прямой, перпендикулярной проводам, то есть параллельной оси  $x$ .

Чтобы найти напряженность  $E = E(x)$ , окружим первый провод соосным с ним цилиндром длиной  $l$  и радиусом  $x$ . Поток вектора  $\vec{E}$  через замкнутую поверхность согласно теореме Гаусса равен заключенному внутри нее заряду  $Q$ , деленному на электрическую постоянную  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м:

$$\Phi_E = ES = E \cdot 2\pi xl = \frac{Q}{\varepsilon_0} = \frac{Q_0 l}{\varepsilon_0}, \quad (3)$$

где  $Q_0$  — заряд единицы длины провода  $l_0$  (рис. 1). Отсюда искомая напряженность:

$$E = E(x) = \frac{Q_0}{2\pi\varepsilon_0 x} \quad (4)$$

Подставляя найденное выражение в формулу (2), получаем:

$$U_1 = \frac{Q_0}{2\pi\varepsilon_0} \int_r^{d-r} \frac{dx}{x} = \frac{Q_0}{2\pi\varepsilon_0} \ln \left( \frac{d}{r} - 1 \right). \quad (5)$$

Но заряд на правом проводе двухпроводной линии создает между точками 1 и 2 в точности такую же разность потенциалов, поэтому результирующее напряжение между проводами в два раза больше найденной величины:  $U = 2U_1$ . Так как обычно  $r \ll d$ , то единицей в скобках (5) пренебрегают и для погонной емкости двухпроводной линии используют приближенное выражение:

$$C_0 = \frac{Q_0}{U} = \frac{Q_0}{2U_1} = \frac{\pi\varepsilon_0}{\ln d/r}. \quad (6)$$

### 3. Погонная индуктивность двухпроводной линии

Будем по-прежнему считать, что радиусы проводов линии существенно меньше расстояния между проводами  $r \ll d$ . Поэтому магнитным полем внутри проводов можно пренебречь. На рис. 3 показаны проходящие через одну точку  $A$  линии индукции магнитных полей, созданных идущими по проводам токами.

По закону полного тока циркуляция вектора индукции магнитного поля по произвольному замкнутому контуру равна умноженному на магнитную постоянную полному току, охваченному

этим контуром. Выбрав в качестве контура окружность радиусом  $x$  с центром на оси первого провода, для закона полного тока получаем:  $B_1(x) \cdot 2\pi x = \mu_0 I$ , где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м — магнитная постоянная. Отсюда индукция магнитного поля, создаваемого первым проводом в точке  $A(x)$ , равна:  $B_1(x) = \mu_0 I / 2\pi x$ . Магнитный поток через отрезок линии длиной  $l$  (рис. 1) равен произведению индукции магнитного поля на площадь отрезка линии:

$$\Phi_{B1} = l \int_r^d B_1(x) dx = \frac{\mu_0 I l}{2\pi} \int_r^d \frac{dx}{x} = \frac{\mu_0 I l}{2\pi} \ln \frac{d}{r}. \quad (7)$$

По второму проводу идет точно такой же ток  $I$  противоположного направления, поэтому он создает точно такой же магнитный поток. В результате магнитный поток внутри отрезка линии длиной  $l$  равен:

$$\Phi_B = 2\Phi_{B1} = \frac{\mu_0 I l}{\pi} \ln \frac{d}{r}.$$

Поэтому погонная индуктивность двухпроводной линии:

$$L_0 = \frac{\Phi_B}{I l} = \frac{\mu_0}{\pi} \ln \frac{d}{r}. \quad (8)$$

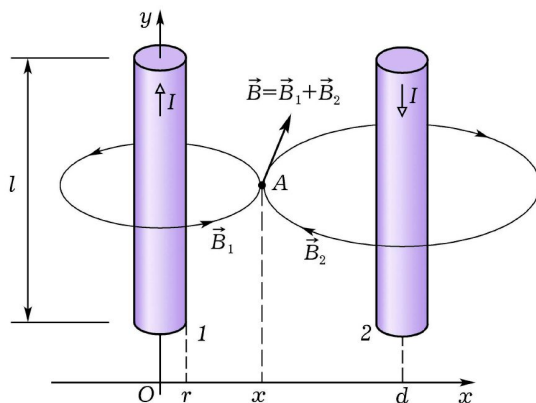


Рис. 3. Отрезок двухпроводной линии длиной  $l$  для определения погонной индуктивности

Сравнение формул (6) и (8) показывает, что с увеличением отношения  $d/r$  погонная емкость  $C_0$  уменьшается, а погонная индуктивность  $L_0$  увеличивается.

#### 4. Двухпроводная линия переменного тока

Представим себе, что к генератору переменного напряжения ультравысокой частоты подключена бесконечно длинная двухпроводная линия (рис. 4).

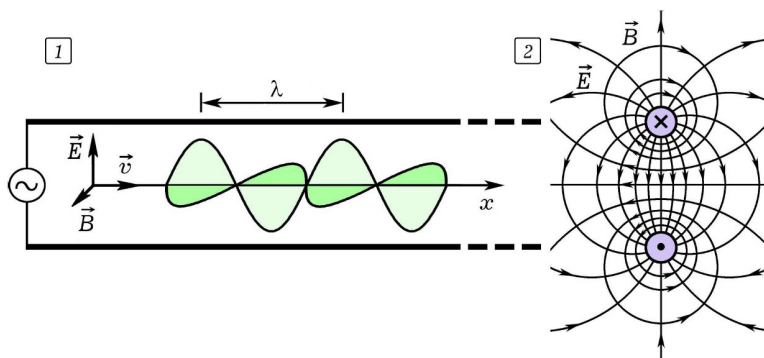


Рис. 4. Бесконечно длинная двухпроводная линия переменного тока: 1 — вдоль линии со скоростью  $\vec{v}$  распространяется бегущая электромагнитная волна; 2 — электромагнитное поле в плоскости, перпендикулярной проводам линии

При подаче напряжения на вход двухпроводной линии электрический ток в ее проводах возникает не сразу по всей длине, а спустя тем большее время, чем дальше от начала линии находится область наблюдения. Понятно, что если вход линии соединен с генератором переменного напряжения, то по ней побежит гармоническая волна напряжений и токов с определенным пространственным периодом или длиной волны  $\lambda$ .

В бесконечно длинной однородной линии возникнет чисто бегущая электромагнитная волна потому, что в такой линии нет ничего такого, от чего можно отразиться. Но если линию ограничить по длине, например, накоротко замкнув проводом, или даже просто обрезав, то бегущей волне напряжений и токов ничего не останется, как полностью отразиться от конца линии. При этом падающая и отраженные волны когерентны, поэтому, двигаясь навстречу, интерферируют и образуют стоячую волну.

Нетрудно сообразить, что на конце разомкнутой линии возникают узел тока и пучность напряжения (рис. 5), а на конце короткозамкнутой линии образуется пучность тока и узел напряжения стоячей электромагнитной волны (рис. 6). В пучностях



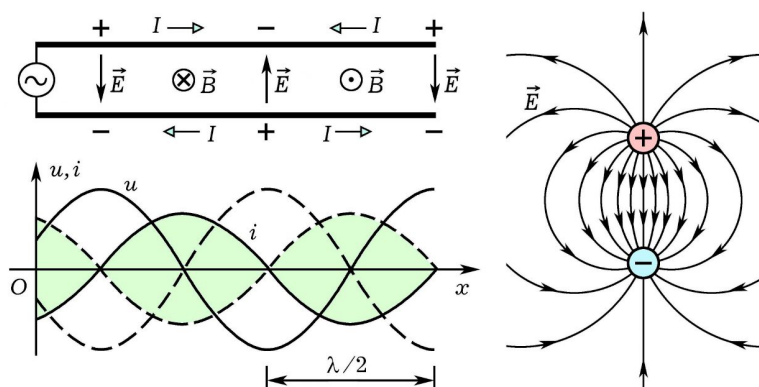


Рис. 5. Стоячая электромагнитная волна в линии с разомкнутым концом. Справа показано электрическое поле в пучностях напряжений стоячей волны

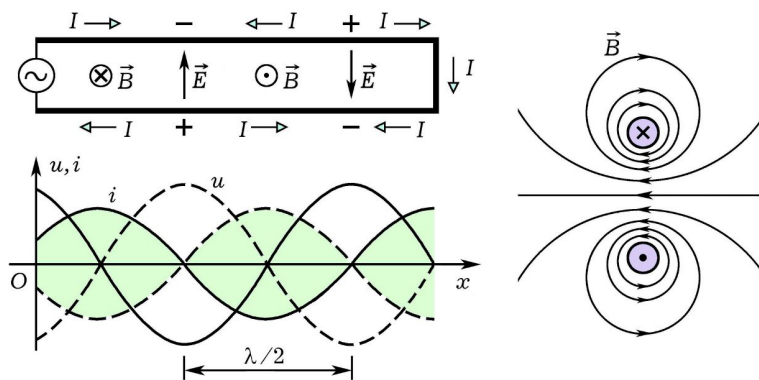


Рис. 6. Стоячая электромагнитная волна в линии с короткозамкнутым концом. Справа изображено магнитное поле в пучностях токов стоячей волны

напряжения между проводами линии остается только электрическое поле, в узлах напряжения — только магнитное.

### 5. Телеграфные уравнения

Пусть по бесконечно длинной двухпроводной линии, сопротивлением проводов которой и излучением можно пренебречь, распространяется бегущая волна напряжений  $u = u(x, t)$  (рис. 7). В некоторый момент времени  $t = \text{const}$  график зависимости на-

пряжения от координаты  $u = u(x)$  будет выглядеть, как показано на этом рисунке внизу.

Приращение  $du$  функции  $u = u(x)$  на участке  $dx$  равно произведению производной  $du/dx$  этой функции на длину участка  $dx$ :

$$du = \frac{du}{dx} dx = \frac{\partial u}{\partial x} dx.$$

Здесь использована *частная производная*  $\partial u/\partial x$ , которая, как известно, берется по одному аргументу  $x$  функции двух переменных  $u = u(x, t)$  при условии, что второй аргумент  $t$  считается постоянным  $t = \text{const}$ .

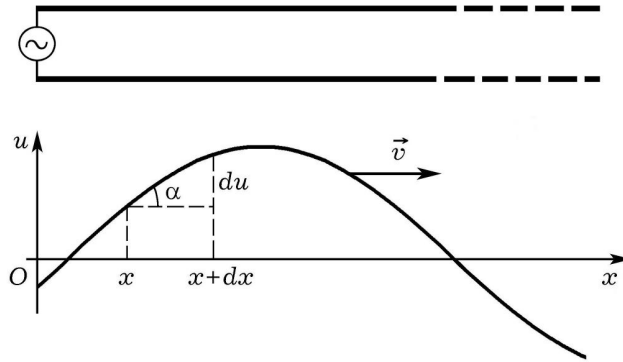


Рис. 7. К выводу телеграфных уравнений

Так как рассматривается линия без потерь, то по закону Фарадея приращение напряжения  $du$  на участке линии  $dx$  равно ЭДС самоиндукции этого участка:  $du = \mathcal{E}_{si} = -L\partial i/\partial t$ . Приравняв правые части двух последних формул и учитывая, что индуктивность отрезка линии длиной  $dx$  равна произведению погонной индуктивности  $L_0$  на длину этого отрезка  $L = L_0 dx$ , после сокращения на  $dx$  получаем:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = -L_0 \frac{\partial i}{\partial t}. \quad (9)$$

Участок линии длиной  $dx$  обладает не только индуктивностью, но и емкостью. Сила зарядного тока уменьшается по мере увеличения напряжения на конденсаторе, поэтому  $di = dq/dt = -Cdu/dt$ , где  $C = C_0 dx$  — емкость участка линии  $dx$ . Представим, что на рис. 7 вместо графика напряжения изображен график силы тока  $i = i(x)$  при  $t = \text{const}$ , и проделаем рассуждения,

аналогичные тем, которые сделаны для напряжения:

$$di = i(x + dx) - i(x) = \frac{\partial i}{\partial x} dx = -C_0 dx \frac{\partial u}{\partial t}.$$

Отсюда после сокращения на  $dx$  имеем:

$$\frac{\partial i}{\partial x} = -C_0 \frac{\partial u}{\partial t}. \quad (10)$$

Выражения (9) и (10), впервые полученные английским физиком О. Хэвисайдом, называются *телеграфными уравнениями*.

### 6. Волновые уравнения

Дифференцируем первое телеграфное уравнение (9) по  $x$  и второе (10) по  $t$ , а затем наоборот, первое — по  $t$  и второе по  $x$ , в результате получаем:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} &= -L_0 \frac{\partial^2 i}{\partial t \partial x}, & \frac{\partial^2 i}{\partial x \partial t} &= -C_0 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}. \\ \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} &= -L_0 \frac{\partial^2 i}{\partial t^2}, & \frac{\partial^2 i}{\partial x^2} &= -C_0 \frac{\partial^2 u}{\partial t \partial x}. \end{aligned}$$

Исключаем из полученных пар уравнений члены, содержащие смешанные частные производные по  $\partial t \partial x$ , и получаем *волновые уравнения*:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{1}{L_0 C_0} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} = \frac{1}{L_0 C_0} \frac{\partial^2 i}{\partial x^2}. \quad (11)$$

Решения этих уравнений показывают, что от генератора переменного напряжения по двухпроводной линии распространяются волна напряжений и волна токов.

### 7. Скорость электромагнитной волны в линии

Генератор переменного напряжения гармонической формы возбуждает в двухпроводной линии гармонические волны напряжений и токов:

$$u = U \cos(\omega t - kx), \quad i = I \cos(\omega t - kx), \quad (12)$$

где  $U$ ,  $I$  и  $\psi = (\omega t - kx)$  — амплитуды и фаза этих волн,  $\omega = 2\pi/T$  — круговая частота и  $k = 2\pi/\lambda$  — волновое число.

Отсюда следует, что волны напряжений и токов распространяются по двухпроводной линии в одной фазе с одинаковой фазовой скоростью:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k}. \quad (13)$$

Выразим скорость волны напряжений через электрическую и магнитную постоянные. Для этого выражение  $u = U \cos(\omega t - kx)$  (12) дважды продифференцируем по времени и координате:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 U \cos(\omega t - kx), \quad \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = -k^2 U \cos(\omega t - kx). \quad (14)$$

Подставив эти выражения в первую формулу (11), получаем  $\omega^2/k^2 = 1/L_0C_0$ . Отсюда, учитывая формулы (13), (6) и (8), скорость распространения волны напряжений в двухпроводной линии:

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{1}{\sqrt{L_0C_0}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = c, \quad (15)$$

где  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м и  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м — электрическая и магнитная постоянные,  $c$  — скорость света в вакууме. Понятно, что с такой же скоростью по линии перемещается и волна токов.

Таким образом, можно считать, что вдоль расположенной в воздухе двухпроводной линии распространяется со скоростью света в вакууме электромагнитная волна, которая возбуждает бегущие по проводам с той же скоростью волны напряжений и токов. Если двухпроводная линия находится в диэлектрике с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$ , то ее погонная емкость (6) возрастает в  $\varepsilon$ , а погонная индуктивность (8) не изменяется, так как магнитная проницаемость диэлектрика  $\mu = 1$ . Скорость электромагнитной волны в такой линии

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\varepsilon\mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon}} = \frac{c}{n}, \quad (16)$$

где  $n$  — абсолютный показатель преломления среды.

### 8. Волновое сопротивление линии

Отношение амплитуды напряжения к амплитуде тока в бегущей по линии электромагнитной волне называют *волновым сопротивлением* двухпроводной линии:

$$Z = \frac{U}{I}. \quad (17)$$

Чтобы найти это отношение амплитуд, продифференцируем уравнения гармонических волн напряжений и токов (12) по координате и времени:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = kU \sin(\omega t - kx), \quad \frac{\partial i}{\partial t} = -\omega U \sin(\omega t - kx). \quad (18)$$

Подставив эти выражения в первое телеграфное уравнение (9), получаем с учетом формул (13) и (15), что волновое сопротивление двухпроводной линии равно:

$$Z = \frac{U}{I} = L_0 \frac{\omega}{k} = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \cdot \ln \frac{d}{r}. \quad (19)$$

### 9. Заключение

Изложенная в статье элементарная теория двухпроводной линии на самом деле (несмотря на написанные интегралы) очень проста и на качественном или полуколичественном уровне вполне доступна интересующимся физикой старшеклассникам. Главное достоинство этой теории в том, что все ее следствия убедительно подтверждаются простым учебным экспериментом [6]. В средней школе это позволяет в рамках проектной деятельности провести полноценные учебные исследования, а в физическом практикуме педагогического вуза — выполнить интересную и полезную лабораторную работу.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гершензон Е. М., Полянина Г. Д., Соина Н. В. Радиотехника: Учеб. пособие для студентов физ.-мат. фак. пед. ин-тов. — М.: Просвещение, 1986. — 320 с.
2. 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.
3. Калашников С. Г. Электричество. — М.: Физматлит, 2004. — 624 с.
4. Харкевич А. А. Основы радиотехники. — М.: Физматлит, 2007. — 512 с.
5. Шимони К. Теоретическая электротехника. — М.: Мир, 1964. — 775 с.
6. Майер В. В., Варакина Е. И. Электромагнитная волна в двухпроводной линии: учебный эксперимент // Учебная физика. — 2022. — № 4. — С. 42–49.

## ABSTRACTS

**To the jubilee of Professor Yuri Arkadyevich Saurov.** The editorial board of the journal «Educational Physics» congratulates Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, corresponding member of the Russian Academy of Education Yuri Arkadyevich Saurov on his jubilee. *Keywords:* Yu. A. Saurov, physics education, methodology, experimental tasks.

**Saurov Yu. A. About the historical mission of the journal «Educational Physics» to improve the practice of teaching.** The prerequisites for the emergence and history of the development of the scientific and practical journal «Educational Physics» are considered. The importance of the journal for Russian physics education is shown. *Keywords:* physics education, Russian Academy of Education, scientific and practical journal.

**Mayer V. V., Varaksina E. I., Khaidarov B. A. School demonstration experiments in the study of rectilinear motion.** The set of «Mechanics» available in secondary schools and pedagogical universities is considered. The didactic potential of this set is analyzed in the experimental study of rectilinear motion in order to introduce the basic concepts of kinematics. *Keywords:* set «Mechanics», didactic potential, experimental study, rectilinear motion, kinematics concepts.

**Mayer V. V., Varaksina E. I. Vasiliev I. A. Khaidarov B. A. Devices for stroboscopic photographing of mechanical movements.** A pulse generator on a NE555 timer with two fixed flash frequencies of an ultra-bright LED is proposed as a stroboscopic light source. The device is designed for independent experiments of students in the study of mechanics. *Keywords:* stroboscopic light source, two fixed flash frequencies, independent students experiments.

**Saranin V. A. Drop model of an atomic nucleus.** On the basis of a principle of a minimum of energy stability of the charged spending drop in relation to its division half-and-half is investigated. The criterion of occurrence of instability which depends on a charge of a drop, its superficial tension and radius is found. From the same positions the drop model of an atomic nucleus and division of heavy kernels into two kernels-splinters is considered. *Keywords:* stability of the charged drop, an atomic nucleus, division of nucleus.

**Mayer V. V., Varaksina E. I. Electromagnetic wave in two-wire line: an educational theory.** The elementary theory of electromagnetic waves in two-wire line without resistance and radiation losses is briefly described. *Keywords:* two-wire line, linear capacitance and inductance, tele-

graphic equations, wave equation, electromagnetic wave, propagation velocity, wave resistance.

**Mayer V. V., Varaksina E. I. Electromagnetic wave in two-wire line: a training experiment.** Simple quantitative experiments on the propagation of electromagnetic waves in the decimeter range in two-wire line are described. In the experiments, a micro-powerful generator and a sensitive indicator of electromagnetic radiation with a frequency of 433 MHz are used. *Keywords:* two-wire line, electromagnetic wave, wavelength, propagation velocity.

**Shamshutdinova V. V., Morzhikova Yu. B., Obukhov S. V. Virtual laboratory work on the study of Fraunhofer diffraction.** We have proposed a complex of virtual laboratory works about the Fraunhofer diffraction on a single slit and a thin wire, on diffraction grating with enhanced functionalities. *Keywords:* laboratory practice, virtual work, physics, Fraunhofer diffraction, diffraction grating.

**Mayer V. V., Varaksina E. I. Expertise of new educational physical experiments.** The technology of carrying out an expert assessment of the possibility and expediency of using new educational physical experiments in school practice has been developed. *Keywords:* physical experiments, new educational experiments, expert evaluation, possibility and expediency, application in school.