

Теоретическое и экспериментальное обоснование первичной энергии и электронно-энергетических явлений образования электрического тока

И.Е. Колесниченко, Е.А. Колесниченко✉, Е.И. Любомищенко, Е.И. Колесниченко

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Шахты, Российская Федерация

✉kolesnichenko-2718@rambler.ru

Резюме: Статья посвящена проблеме повышения эффективности невозобновляемых и возобновляемых ресурсов в области энергетики. Показано, что проблема остаётся актуальной. Идея состоит в том, что для разработки новых технических устройств необходимо уточнить природный механизм генерирования электрического тока в атомно-молекулярной структуре токопроводящих проводников. Цель работы заключается в обосновании физических явлений образования и переноса электрического тока. Для решения теоретических вопросов авторы применили квантовую теорию, результаты подтверждены экспериментальными исследованиями. Показаны принципиальные отличия различных энергетических процессов получения электричества. На основе анализа молекулярной структуры меди и электрического поля шарообразной формы сделан вывод об отсутствии свободных электронов в проводнике. Научной новизной является гипотеза, что основные явления образования электрического тока происходят на уровне излучения электромагнитной энергии валентными электронами проводников. Электромагнитная энергия, индуцированная в магнитном поле, является фотоном первичной энергии для поглощения электронами проводника. Экспериментальным путём доказана идентичность солнечной энергии и тепловых источников, которые представляют собой электромагнитную энергию с различной частотой излучения. Применение новых знаний может повысить компетентность профильных специалистов и эффективность работы устройств получения электрической энергии.

Ключевые слова: электрический ток, возобновляемые источники, форма энергии, явления, первичная энергия, медный проводник, валентный электрон, пакет-фотон, солнечная, устройство получения тока

Для цитирования: Колесниченко И.Е., Колесниченко Е.А., Любомищенко Е.И., Колесниченко Е.И. Теоретическое и экспериментальное обоснование первичной энергии и электронно-энергетических явлений образования электрического тока. *Горная промышленность*. 2022;(2):97–102. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-2-97-102>

Theoretical and experimental justification of primary energy and electron-energy phenomena of electric current generation

I.E. Kolesnichenko, E.A. Kolesnichenko✉, E.I. Lyubomishchenko, E.I. Kolesnichenko

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russian Federation

✉kolesnichenko-2718@rambler.ru

Abstract: The article focuses on the issue of improving the efficiency of non-renewable and renewable sources of energy. It is shown that the problem still remains relevant. The key concept is that in order to develop new devices it is necessary to clarify the natural mechanism of electric current generation in the atomic-molecular structure of the current conductors. The aim of the work was to justify the physical phenomena of electric current generation and transport. The authors applied the Quantum theory to address theoretical issues, the results of which were confirmed by experimental studies. The principal differences shown between the various energy processes of electricity generation. Based on the analysis of the molecular structure of copper and the spherical electric field, a conclusion is made that there are no free electrons in the conductor. The hypothesis that the main phenomena of electric current formation occur at the level of electromagnetic energy emission by valence electrons of conductors is of scientific novelty. The electromagnetic energy induced in the magnetic field is the primary energy photon to be absorbed by the conductor electrons. It has been proven experimentally that the solar energy and thermal sources, which are electromagnetic energy with different emission frequencies, are identical. Application of the new knowledge can enhance the competence of the dedicated specialists and the efficiency of electrical energy generating devices.

Keywords: electric current, renewable sources, form of energy, phenomena, primary energy, copper conductor, valence electron, packet-photon, solar, current generating device

For citation: Kolesnichenko I.E., Kolesnichenko E.A., Lyubomishchenko E.I., Kolesnichenko E.I. Theoretical and experimental justification of primary energy and electron-energy phenomena of electric current generation. *Russian Mining Industry*. 2022;(2):97–102. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-2-97-102>

Введение

Актуальность. Электрическая энергия является основным энергетическим ресурсом для выполнения производственных процессов и жизнеобеспечения населения. Потребности страны в электроэнергии обеспечивает энергетическая система – объединение электростанций, электрических сетей и ряда установок и устройств для производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии. Для получения электричества требуется затратить вспомогательный первичный вид энергии [1; 2]. В качестве первичной энергии применяют невозобновляемые и возобновляемые виды энергии. В последние годы происходит увеличение доли получения электрической энергии с применением возобновляемых природных ресурсов, таких как энергия рек, морей, солнца, ветра, геотермальных вод и др. [3]. Генерирование электрической энергии с применением возобновляемых ресурсов пока недостаточно эффективно.

Проблема повышения эффективности невозобновляемых и возобновляемых ресурсов первичной энергии может быть решена в результате разработки новых технических устройств на основе уточнения основных понятий и природного механизма генерирования электрического тока в атомно-молекулярной структуре токопроводящих проводников. Необходимо уточнить энергетическое представление об электричестве и изменении его параметров в сети. Промышленная частота переменного напряжения при генерации составляет 50 Гц. При разрыве под напряжением цепи между концами проводников образуются открытые видимые огненная дуга, пламя или «электрические» искры. И без прибора можно констатировать, что частота электрического тока в разрыве находится в видимой части спектра электромагнитного излучения в интервале от $385 \cdot 10^{12}$ до $750 \cdot 10^{12}$ Гц¹. Это относится и к излучениям осветительных приборов.

Открытия учёных XIX и XX вв. обосновали теоретические представления об электричестве, электротехнике и являются основой для промышленного получения и применения электрической энергии [4; 5]. Наибольший вклад в открытие и опытное изучение электрического тока внесли зарубежные и русские учёные Б. Франклин, А. Вольта, А. Ампер, Г. Герц, Д. Томсон, М. Фарадей, Д. Максвелл, Э. Ленц, Б. Якоби, П. Яблочков и др. Однако отдельные явления в области понятия электричества и закономерностей превращения внешней энергии в электрический ток необходимо уточнить с учётом современных научных квантово-энергетических гипотез [6; 7].

Цель работы заключается в установлении электронно-атомной характеристики проводника и полупроводника; формы энергии внешних источников, поглощаемой электронами проводника; физических явлений индуцирования фотонов энергии в магнитном поле; излучений электроном фотонов энергии; изучении энергетической характеристики и формы переноса электрического тока атомно-молекулярной системой вещества и исследовании нового способа передачи от внешнего источника энергии проводнику электрического тока.

Методы

Обзор технической и учебной литературы [3; 4; 8–10] позволил оценить некоторые традиционные понятия и процессы в источниках получения электричества с позиции

квантовой теории² [11]. Основой учения об электричестве является представление об электромагнитном поле. Посредством этого поля осуществляется электромагнитное взаимодействие между частицами, обладающими электрическим зарядом [12]. По нашему мнению, важным следует считать вывод, представленный в Политехническом словаре [2], что электричество – это совокупность электромагнитных явлений, связанных с существованием электрических зарядов. Однако под этим понятием чаще всего подразумевается электрический ток и все процессы, которые он вызывает. Ключевым в определении электричества является слово «явления». В квантовой теории под процессом понимается смена явлений при получении электрического тока. Под сменой явлений можно понимать также и изменение формы энергии или её параметров.

Ключевым вопросом является определение формы энергии, которая поступает в изделие (устройство) и преобразуется в электрическую. Эта энергия является первичной, электрическая энергия – вторичной [7]. Однако в учебном пособии, как и в других публикациях, происходит подмена понятий. Авторы в [13] полагают, что можно считать механическую, химическую, тепловую и другие виды энергии источниками получения энергии. Однако эти виды энергии применяются для вспомогательной цели.

На рис. 1 показаны принципиальные отличия различных технологий получения электричества. Невозобновляемые источники энергии (уголь, природный газ и др.), а также и некоторые источники возобновляемой энергии (вода, ветер и др.) необходимо превратить в механическую энергию (рис. 1, а). При этом необходим блок 3 для получения первичной энергии. Полученный электрический ток в блоке 4 распространяется по проводникам 5 электрической сети. Применение возобновляемой энергии (например, солнечной и др.) упрощает схему получения электричества, так как эта форма является первичной энергией.

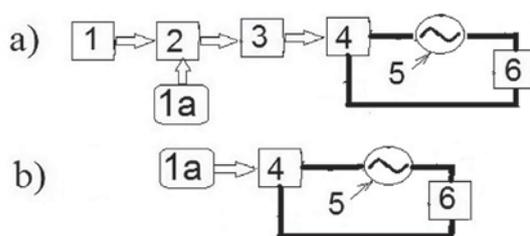


Рис. 1
Принципиальная технологическая схема энергетических процессов получения электрического тока от различных внешних источников:
1, 1а – соответственно энергия невозобновляемого и возобновляемого источника;
2 – устройство преобразования энергии в первичную;
3 – устройство получения первичной энергии;
4 – устройство получения электрического тока;
5 – проводник электрического тока; 6 – приёмник электрического тока

Fig. 1
Principal process flowchart of energy processes to generate electric current using different external sources:
1, 1a – energy of non-renewable and renewable sources, respectively;
2 – a device to convert energy into the primary energy;
3 – a device to produce the primary energy;
4 – a device to generate the electric current;
5 – a conductor of the electric current;
6 – a receiver of the electric current

¹ Таблица длин волн и частот электромагнитного излучения. Режим доступа: <https://aspektcenter.ru/tablitisa-dlin-voln-i-chastot-elektromagnitnogo-izlucheniya/>

² Most Promising Alternative Energies (& Pros & Cons) - E&C Available at: <https://environmental-conscience.com/alternative-energies/>

Принципиальными вопросами метода анализа получения электрического тока являются следующие:

- установление идентичности первичной энергии, индуцированной в форме электромагнитной энергии, излучений солнечной энергии и тепловых источников;
- установление закономерности явления передачи первичной энергии в устройство получения электрического тока;
- определение параметров явления электрического тока и закономерностей передачи его в замкнутой цепи.

Результаты и обсуждение

Предлагаемые гипотезы образования электрического тока учитывают основные закономерности электрических зарядов в магнитном поле [6; 12], электродинамики [13; 14] и молекулярно-кинетической теории [9]. Возникновение электрического тока в проводнике контура, движущегося в магнитном поле, обнаружил в 1831 г. М. Фарадей. Однако современные исследователи имеют различные представления о самом понятии «электрический ток» и его носителе. Основная концепция заключается в том, что «электрический ток в проводнике создаётся так называемыми свободными электронами, движущимися с относительно малой скоростью» [4; 8]. При этом за наименьший электрический заряд принят заряд электрона, равный $e = 1,6021892 \cdot 10^{-19}$ Кл (кулона).

Гипотеза авторов основана на применении аксиом квантовой физики для анализа энергетических процессов в атомно-молекулярной структуре химических элементов [4; 9]. Образование электрического тока происходит в электронно-атомной структуре токопроводящего материала под воздействием первичной энергии в блоке 4 получения электричества (рис. 1). Для исследования вида и формы первичной энергии рассмотрим распространённый способ

генерирования электрического тока. Основной деталью генератора переменного тока кроме постоянных магнитов является медный проводник. Плотность меди Cu равна $\rho = 8,96$ г/см³ или $8,96 \cdot 10^{-3}$ г/мм³. Молярная масса меди $M = 63,546$ г/моль. Атом состоит из положительно заряженного ядра и 29 отрицательно заряженных электронов. Вокруг точечного положительно заряженного ядра наведено электрическое объёмное поле шарообразной формы (рис. 2). Необходимо подчеркнуть, что вокруг ядра образуется именно объёмное поле. В литературных источниках рассматривается плоское электрическое поле, что приводит к ошибочным результатам при рассмотрении молекулярных соединений.

Рассмотрим энергетическую характеристику атома меди Cu . На энергетических уровнях находятся спаренные и неспаренные валентные электроны (рис. 3). Валентные электроны с электрическим зарядом и магнитными свойствами обладают неотъемлемым свойством присоединять из окружающей среды электромагнитную энергию в виде фотонов. Это важно: электрон присоединяет (поглощает) фотон только с энергией, величина которой находится в пределах связи электрона с ядром атома. Электрон с поглощённым фотоном перескакивает на свободный возбуждённый энергетический уровень дальше от ядра. Продолжительность пребывания электрона на этом уровне порядка $10^{-8} - 10^{-10}$ с. После этого электрон излучает поглощённый фотон полностью или его часть и перескакивает на энергетический уровень ближе к ядру. Получение и излучение происходят в виде электромагнитных волн, которые характеризуются частотой излучения и энергией. Валентные электроны с уровней 4s и 3d могут перескакивать на уровни 4p и 4d. Минимальная энергия поглощаемого и излучаемого фотона 0,85 эВ.

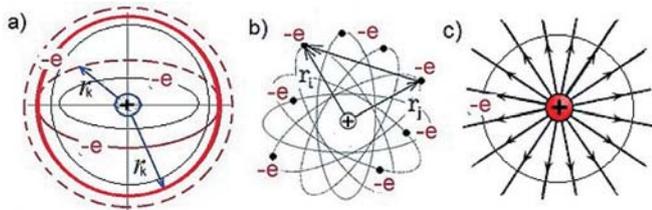


Рис. 2
Схемы распространения электрического поля шарообразной формы вокруг ядра атома химического элемента:
а – объёмное пространство распространения электрического поля вокруг точечного заряда ядра атома;
б – обращение электронов $-e$ на орбитальных эквипотенциальных поверхностях энергетических уровней и подуровней;
с – проекция на плоскость пространственного распространения однородного электрического поля вокруг положительного заряженного ядра атома; r_i и r_j – расстояние от ядра атома соответственно i -й и j -й сферической поверхности энергетического уровня

Fig. 2
Schematic diagrams of spherical electric field propagation around the point charge of the atom nucleus;
b – circulation of $-e$ electrons on the orbital equipotential surfaces of the energy levels and sublevels;
c – a projection onto the plane of spatial propagation of the uniform electric field around the positively charged atom nucleus; r_i and r_j – the distance from the atom nucleus to the i and j spherical surfaces of energy level respectively

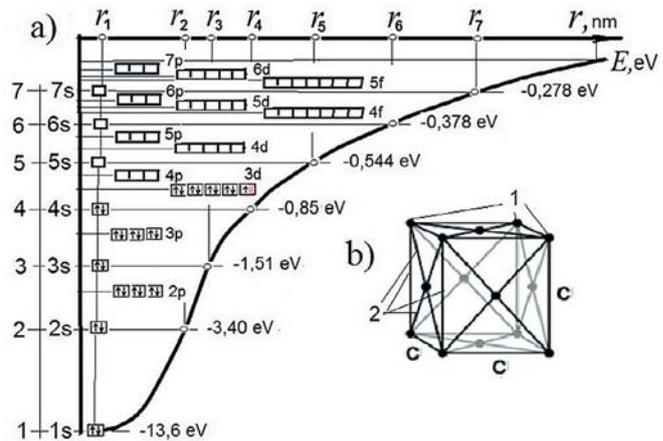


Рис. 3
а – изображение электронов в атоме меди Cu на орбитальных эквипотенциальных поверхностях энергетических уровней и подуровней;
б – энергетические связи атомов меди в виде трансцентрированной кубической решётки;
E – энергия связи электрона с ядром атома; 1s ... 7s – энергетические уровни; 2p ... 7p, 3d ... 6d и 4f, 5f – энергетические подуровни;
с – параметр решётки атомов; r – расстояние электронов от ядра атома

Fig. 3
a – Representation of electrons in a copper atom on orbital equipotential surfaces of energy levels and sublevels;
b – energy bonds of copper atoms as a transcubic cubic lattice;
E – energy of electron binding to the atom nucleus;
1s ... 7s – energy levels;
2p ... 7p, 3d ... 6d and 4f, 5f – energy sublevels;
c – atom lattice parameter; r – the distance between the electrons and the atom nucleus

Электрон постоянно перемещается от одного уровня к другому, поглощая и излучая электромагнитную энергию, которая представляет собой волновую форму энергии. Энергия фотона равна произведению постоянной Планка $h = 4,1356 \cdot 10^{-15}$ (eV·s) на частоту излучения.

К важным необходимо отнести вывод об отсутствии свободных электронов и других незаряженных частиц в проводнике для переноса энергии. Валентные электроны удерживаются ядром атома в сферическом электрическом поле и энергетически связаны с соседними атомами. В проводнике постоянно происходит поглощение энергии в электромагнитной волновой форме и излучение её в атомно-молекулярную структуру проводника. Объективность выводов подтверждается применением на практике волнового способа в технических средствах.

Гипотеза индуцирования проводником первичной энергии в магнитном поле. На практике применяют мощные «генераторы переменного тока» [4]. Материальной основой способа является наличие магнитного поля и физического явления электромагнитной индукции. Устройство, объясняющее принцип получения переменного тока, приведено в физике [4]. Устройство состоит из постоянных магнитов и рамки из токопроводящего материала, вращающихся в магнитном поле (рис. 4). В литературных источниках [4; 12] принято, что при физическом вращении рамки в магнитном поле «на концах токопроводящего проводника в рамке индуцируется напряжение. Возникает индукционный ток, направление которого определяется правилом правой руки» [4]. Магнитный поток пропорционален площади сечения магнитного поля, пересекающего рамку. При вращении за каждый оборот в магнитном поле (рис. 4, а) в пределах рамки индуцируется ЭДС, равная $U = B \cdot S$. При вращении с частотой 50 Гц в рамке образуется 50 таких фотонов индуцированной энергии (рис. 4, б).

Основной наш вывод заключается в том, что индуцированная энергия непосредственно на возникновение тока

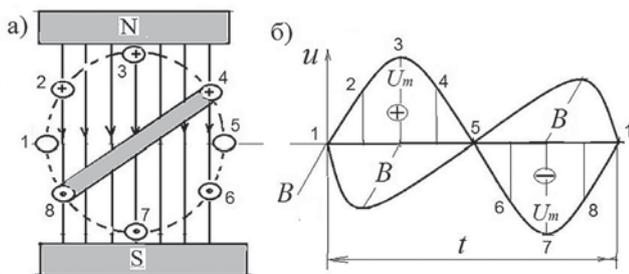


Рис. 4
 Схема индуцирования в магнитном поле фотона электромагнитной энергии в площади рамки:
 а – схема рамки в магнитном поле; б – схема фотона индуцированной электромагнитной энергии; u – мгновенное значение электромагнитной энергии при вращении рамки; U_m – максимальная амплитуда электрического поля; B – магнитная индукция; t – время одного периода вращения рамки в магнитном поле; 1...8 – точки положения рамки

Fig. 4
 Schematic representation of electromagnetic energy photon induced in the magnetic field within the frame area:
 а – schematic drawing of the frame in the magnetic field; б – schematic drawing of the induced electromagnetic energy photon; u – instantaneous value of electromagnetic energy during the frame rotation; U_m – maximum amplitude of the electric field; B – magnetic induction; t – time of one period of the frame rotation in the magnetic field; 1 ... 8 – points of the frame position

не влияет, так как не связана с параметрами проводника, в котором и образуется электрический ток. Можно считать, что индуцирование является первым физическим явлением для образования внешней первичной энергии. Авторы статьи считают, что валентные электроны меди Cu поглощают фотоны индуцированной энергии (рис. 5, а) и перескакивают на соответствующий энергетический уровень. После этого начинаются явления преобразования частоты и излучение поглощённой энергии. Электрон обращается в электрическом поле ядра атома (рис. 5, б). Принцип излучения электроном энергии похож на индуцирование первичной энергии при вращении рамки в магнитном поле (см. рис. 3).

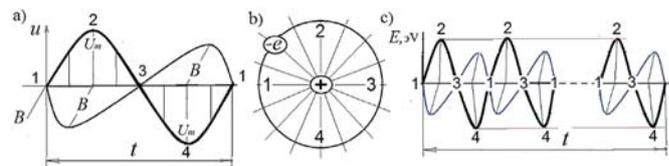


Рис. 5
 Схема излучения электроном пакет-фотона в электрическую цепь: а – фотон индуцированной электромагнитной энергии; б – проекция обращения электрона вокруг ядра; с – пакет-фотон излучаемой энергии электроном; E – энергия, излучаемая электроном; B – магнитная индукция; 1...4 – точки положения рамки и текущих значений индуцированной энергии

Fig. 5
 Schematic representation of the packet-photon emitted by an electron into an electric circuit: а – photon of the induced electromagnetic energy; б – projection of electron circulating around the nucleus; с – package-photon of the electron emitted energy; E – energy emitted by the electron; B – magnetic induction; 1 ... 4 – points of the frame position and current values of the induced energy

Электрон в проводнике во время обращения вокруг ядра квантует полученную энергию, т.е. изменяет частоту излучения в соответствии со своими свойствами и известной формулой $E = h \cdot \nu$, где h – постоянная Планка; ν – частота электромагнитного излучения. Продолжительность формирования пакет-фотона излучаемой энергии (см. рис. 5, с) равна продолжительности индуцирования энергии t в рамке (см. рис. 4, б и рис. 5, а). Совместимость времени получения электроном энергии извне и конца излучения допускается и в работе [10]. Излучаемые пакет-фотоны образуют электрический ток в проводнике.

Электрический ток – это поток электромагнитных излучений валентными электронами токопроводящего вещества, распространяющийся в виде сконцентрированных высокочастотных излучений в замкнутых границах электрической цепи.

Параметры электрического тока в замкнутой цепи. Режимы электрической цепи по различным причинам могут отличаться от рабочего. В режиме холостого хода тока в цепи нет. В рамке индуцируется магнитная энергия, но при отсутствии тока проявляются волновые свойства излучаемых фотонов. Во внешней цепи осуществляется излучение фотонов, в которых фотоны несут только магнитную энергию. Поэтому на концах разомкнутого проводника у генератора есть ЭДС (электродвижущая сила), а в цепи напряжение. При замыкании проводников сразу восстанавливается превращение фотонов и движение тока в цепи. В режиме короткого замыкания участок электриче-

ской цепи замкнут накоротко. При уменьшении электрического сопротивления увеличивается сила тока, а в фотонах происходит превращение магнитной составляющей в электрическую (см. рис. 5, с).

Применение возобновляемых энергетических ресурсов для получения электрического тока. В последние годы получило распространение получение электричества от солнечной энергии [14]. Считаем, что структура солнечного элемента слишком усложнена, а теоретическое обоснование электронно-дырочной пары нуждается в научном обосновании.

Экспериментальное устройство передачи электромагнитной энергии медному проводнику. Способ известен и относится к тепловым. Идея соответствует результатам вышеприведённых исследований. Для измерения электрического тока применяли цифровой мультиметр DT-830B (рис. 6, 1). К клеммам прибора был присоединён последовательно отрезок медного провода 3, который нагревался пламенем горящей свечи, спички или нагретого паяльника. При прямом нагревании проводника в замкнутой цепи возникал электрический ток. Значения его изменялись от 0,2 до 1,2 мА в зависимости от температуры свечи.

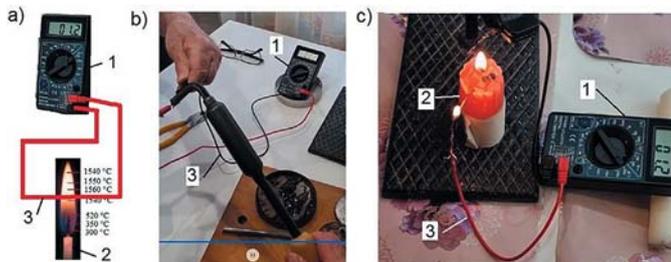


Рис. 6
Экспериментальные исследования получения электричества:
а – схема нагревания медного провода свечой (спичкой);
б – рабочий процесс исследования;
с – показания прибором электрического тока

Fig. 6
Experimental studies of electricity generation:
a – schematic drawing of heating a copper wire with a candle (a match);
b – the investigation process;
c – instrumental readings of electric current

Экспериментальным путём доказано, что при излучении тепловыми источниками электромагнитной энергии непосредственно на проводник в нём возникает электрический ток. Так, при горении свечи в результате химических реакций из парафина выделяются атомы углерода С и водорода Н. При экзотермической реакции с участием кислорода происходит образование атомов углекислого газа CO_2 и воды H_2O с излучением электромагнитной энергии (см. рис. 6, а).

Список литературы

1. Баркин О.Г., Волкова И.О., Кожуховский И.С. и др. *Электроэнергетика России: проблемы выбора модели развития: аналит. докл. к 15-й Апр. междунар. науч. конф. по проблеме развития экономики и общества, Москва, 1–4 апр. 2014 г.* М.: Изд. дом Высшей школы экономики; 2014. 45 с.
2. Артоболевский И.И. (ред.) *Политехнический словарь*. М.: Советская энциклопедия; 1977. 608 с.
3. Пятибратов Г.Я. *История развития и современные проблемы электроэнергетики и электротехники*. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ); 2013. 122 с.
4. Кухлинг Х. *Справочник по физике*. М.: Мир; 1982. 520 с.
5. Смирнов С.В., Громов Е.В. *Концепции современного естествознания*. Елабуга: Изд-во ЕГПУ; 2011. 188 с.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Теоретическая физика: в 10 т. Т. 2. Теория поля*. 8-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ; 2003. 536 с.
7. Колесниченко И.Е., Колесниченко Е.А., Любомищенко Е.И., Колесниченко Е.И., Евсюкова А.А. Закономерности возгорания метана и угольной пыли от электрического источника в горных выработках. *Горная промышленность*. 2021;(4):119–124. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-4-119-124>
8. Тюрин Ю.И., Чернов И.П., Крючков Ю.Ю. *Физика. Квантовая физика*. Томск: Изд-во ТПУ; 2009. 320 с.
9. Глинка Н.Л.; Ермаков А.И. (ред.). *Общая химия*. 30-е изд. М.: Интеграл-Пресс; 2002. 728 с.

Заключение

Впервые сформулированы принципиально новые термины: первичная энергия, фотон индуцированной энергии, пакет-фотон излучаемой энергии. Научная новизна заключается в следующем. Впервые установлено, что индуцирование энергии – это физическое явление образования фотона, обладающего электрическим потенциалом и магнитными свойствами, который является внешней первичной энергией по отношению к валентным электронам проводника. Доказано на основе энергетических характеристик атома меди Cu, закономерностей молекулярно-кинетической теории и аксиом квантовой теории, что валентные электроны проводника могут поглощать первичную энергию только в электромагнитной форме.

Научная новизна заключается в гипотезе механизма излучения электроном поглощённой первичной энергии. Излучения происходят при обращении электрона с поглощённой энергией. При этом происходит явление превращения энергии, например, индуцированной электромагнитной энергии, в высокочастотную электромагнитную в виде пакет-фотона. Но при поглощении высокочастотной энергии это явление отсутствует.

Впервые сформулировано отличающееся от современной трактовки определение «электрический ток», который представляет собой поток электромагнитных излучений валентными электронами токопроводящего вещества, распространяющийся в виде сконцентрированных высокочастотных излучений в замкнутых границах электрической цепи. Впервые на основании аксиом квантовой теории показано, что в режиме холостого хода в электрической цепи при отсутствии тока проявляются волновые свойства, фотоны несут только магнитную энергию. На концах разомкнутого проводника есть ЭДС, а в цепи – напряжение. В режиме короткого замыкания увеличивается сила тока, а в фотонах происходит превращение магнитной составляющей в электрическую.

Предложено и экспериментально проверено новое устройство получения электрического тока при нагревании медного проводника непосредственно огнём свечи. Экспериментальным путём доказано, что тепловая энергия, в том числе пламя свечи (спички) нагретого паяльника, представляет собой электромагнитную энергию с различной частотой излучения.

Практическое значение теоретических выводов заключается в том, что обоснованы новые знания об образовании электрического тока, применение которых может повысить компетентность профильных специалистов, а также эффективность способов с применением возобновляемых энергетических ресурсов.

10. Трубникова В.Н. *Электротехника и электроника*. Ч. 1. Электрические цепи. Оренбург: ОГУ; 2014. 137 с.
11. Светцов В.И. *Оптическая и квантовая электроника*. Иваново: ИГХТУ; 2004. 122 с.
12. Барсуков В.И., Дмитриев О.С. *Физика. Электричество и магнетизм*. Тамбов: Изд-во ТГТУ; 2009. 252 с.
13. Ключников О.И., Степанов А.В. *Теоретические основы электротехники*. Ч. 1. Линейные электрические цепи постоянного тока. Екатеринбург: Изд-во РГППУ; 2006. 73 с.
14. Константинов О.В., Бугров В.Е., Колесникова А.Л. *Лекции по классической электродинамике*. СПб.: Университет ИТМО; 2021. 140 с.
15. Обухов С.Г. *Системы генерирования электрической энергии с использованием возобновляемых энергоресурсов*. Томск: Изд-во Томского политехнического университета; 2008. 140 с.

References

1. Barkin O.G., Volkova I.O., Kozhukhovskii I.S. et al. *Electric Power Industry of Russia: Challenges in Selecting a Development Model: Analytical Report to the 15th April International Scientific Conference on Economic and Social Development Challenges*, Moscow, April 1–4, 2014. Moscow: HSE University; 2014. 45 p. (In Russ.)
2. Artobolevsky I.I. (ed.) *Polytechnic dictionary*. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya; 1977. 608 p. (In Russ.)
3. Pyatibratov G.Ya. *History of Development and Current Issues of Power and Electrical Engineering*. Novocherkassk: Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI); 2013. 122 p. (In Russ.)
4. Kuhlning H. *Reference Book of Physics*. Moscow: Mir; 1982. 520 p. (In Russ.)
5. Smirnov S.V., Gromov E.V. *Concepts of Contemporary Natural Science*. Elabuga: Изд-во Elabuga State Pedagogical University; 2011. 188 p. (In Russ.)
6. Landau L.D., Lifshits E.M. *Theoretical Physics*. Vol. 2. Field Theory. 8th ed. Moscow: FIZMATLIT; 2003. 536 p. (In Russ.)
7. Kolesnichenko I.E., Kolesnichenko E.A., Lyubomishchenko E.I., Kolesnichenko E.I., Evsyukova A.A. Regularities of Methane and Coal Dust Ignition Caused by Electric Sources in Mine Workings. *Russian Mining Industry*. 2021;(4):119–124. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-4-119-124>
8. Tyurin Yu.I., Chernov I.P., Kryuchkov Yu.Yu. *Physics. Quantum Physics*. Tomsk: Tomsk Polytechnic University; 2009. 320 p. (In Russ.)
9. Glinka N.L.; Ermakov A.I. (ed.). *General Chemistry*. 30th ed. Moscow: Integral-Press; 2002. 728 p. (In Russ.)
10. Trubnikova V.N. *Electrical Engineering and Electronics*. Part 1. Electrical Circuits. Orenburg: Orenburg State University; 2014. 137 p. (In Russ.)
11. Svetsov V.I. *Optical and Quantum Electronics*. Ivanovo: Ivanovo State University of Chemistry and Technology; 2004. 122 p. (In Russ.)
12. Barsukov V.I., Dmitriev O.S. *Physics. Electricity and Magnetism*. Tambov: Tambov State Technical University; 2009. 252 p. (In Russ.)
13. Klyushnikov O.I., Stepanov A.V. *Theoretical Foundations of Electrical Engineering*. Part 1. Linear electric DC circuits. Ekaterinburg: Russian State Vocational Pedagogical University; 2006. 73 p. (In Russ.)
14. Konstantinov O.V., Bugrov V.E., Kolesnikova A.L. *Lectures in classical electrodynamics*. St. Petersburg: ITMO University; 2021. 140 p. (In Russ.)
15. Obukhov S.G. *Systems of electric power generation using renewable energy resources*. Tomsk: Tomsk Polytechnic University; 2008. 140 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Колесниченко Игорь Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой проектирования и строительства автомобильных дорог, заместитель директора – научный руководитель Шахтинского автодорожного института (филиала), Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова; г. Шахты, Российская Федерация; e-mail: kolesnichenko_igor@rambler.ru

Колесниченко Евгений Александрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры проектирования и строительства автомобильных дорог Шахтинского автодорожного института (филиала), Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова; г. Шахты, Российская Федерация; e-mail: kolesnichenko-2718@rambler.ru

Любомищенко Екатерина Игоревна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры проектирования и строительства автомобильных дорог Шахтинского автодорожного института (филиала), Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова; г. Шахты, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9495-7385>; e-mail: katya87lk@mail.ru

Колесниченко Евгений Игоревич – студент кафедры проектирования и строительства автомобильных дорог Шахтинского автодорожного института (филиала), Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова; г. Шахты, Российская Федерация; e-mail: z_kolesnichenko@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 03.03.2022

Поступила после рецензирования: 16.03.2022

Принята к публикации: 17.03.2022

Information about the authors

Igor E. Kolesnichenko – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Motor Road Design and Construction Department, Deputy Director – Academic Advisor at the Shakhty Road Institute (branch), Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russian Federation; e-mail: kolesnichenko_igor@rambler.ru

Evgeny A. Kolesnichenko – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Motor Road Design and Construction Department of the Shakhty Road Institute (branch), Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russian Federation; e-mail: kolesnichenko-2718@rambler.ru

Ekaterina I. Lyubomishchenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Assistant Professor at the Motor Road Design and Construction Department of the Shakhty Road Institute (branch), Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9495-7385>; e-mail: katya87lk@mail.ru

Evgeny I. Kolesnichenko – Student at the Motor Road Design and Construction Department of the Shakhty Road Institute (branch), Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russian Federation; e-mail: z_kolesnichenko@mail.ru

Article info

Received: 03.03.2022

Revised: 16.03.2022

Accepted: 17.03.2022