УДК 006.90.01.39

В.Т. КОНДРАТОВ
Институт кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МЕТРОЛОГИЯ. МАГНИТОПОЛЕВАЯ ТЕОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ И ИНФОРМАЦИИ СКВОЗЬ МАТЕРИАЛ ИЛИ ВЕЩЕСТВО ЧАСТЬ 3. ЯВЛЕНИЕ ПЕРЕНОСА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАКОНЫ, УСЛОВИЯ И ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЙ

В работе рассмотрена сущность явления переноса энергии и информации сквозь материал или вещество и условия его осуществления. Описаны фундаментальные законы магнетизма и электродинамики, положенные в основу явления переноса энергии и информации. Установлено шесть основных требований к материалам, используемым для передачи энергии и информации. Показано, что явление переноса энергии отрицательно заряженных квазичастиц сквозь материал описывается с использованием законов сохранения энергии электромагнитного поля и закона сохранения энергии движения по замкнутому контуру заряженных квазичастиц. Показано, что только с помощью закона сохранения механической энергии устанавливается связь между координатами и скоростями движения заряженных квазичастиц в двух симметрично расположенных точках траектории их движения по замкнутому контуру. Отмечено большое значение закона электромагнитной индукции Фарадея для решения задачи определения работы, совершаемой движущимися отрицательно заряженными квазичастицами с использованием двух разных явлений: генерации ЭДС под действием магнитной силы на движущиеся заряженные квазичастицы и генерации «трансформаторной» ЭДС под действием электрической силы вследствие изменения магнитного поля. Показано, что при описании явления переноса энергии и информации важная роль отводится второму закону Ньютона, связывающему силу, действующую на квазичастицу, с ее ускорением. Выделено три проявления явления переноса (и приема) энергии и информации. Сформулированы проблемы измерения энергии Ферми и Ландау и условия их решения. Работа представляет интерес для метрологов, специалистов, магистров и аспирантов, изучающих магнитополевые эффекты и явления, пути и методы создании сенсоров физических величин, а также изучающих магнитополевые методы измерения свойств и состава веществ и материалов с использованием нового принципа измерений — явления переноса энергии и информации сквозь проводящие и слабо проводящие среды.

Ключевые слова: законы сохранения энергии, заряженные квазичастицы, явление передачи энергии и информации.

V.T. KONDRATOV
V.M.Glushkov Institute of cybernetics of National academy of Science of Ukraine

FUNDAMENTAL METROLOGY. THE MAGNETIC–FIELD THEORY OF MEASUREMENTS WITH USE THE PHENOMENON OF TRANSFER OF ENERGY OR INFORMATION THROUGH MATERIAL OR SUBSTANCE PART 3. THE CARRYING OVER PHENOMENON, USED FUNDAMENTAL LAWS, CONDITIONS AND PROBLEMS OF MEASUREMENTS

In paper the essence of the phenomenon of carrying over of energy and the information through substance and conditions of its realisation is considered. Fundamental laws of magnetism and electrodynamics, the phenomena of carrying over taken as a principle are described. Energy and the information. It is established six basic requirements to the materials used for a transmission of energy and the information through them. It is shown, that the phenomenon of a transmission of energy negatively charged квазичастиц through a material is described with use of laws of conservation of energy of an electromagnetic field and the law of conservation of energy of movement on the closed contour n charged квазичастиц. It is shown, that only by means of the law of preservation of mechanical energy connection between co-ordinates and speeds of movement charged квазичастиц in two different points of a trajectory of their movement on the closed contour is established. The great value of the law of electromagnetic induction Фарадея for the decision of a problem of definition of value of the work made moving negatively charged квазичастицами with use of two different phenomena is noted: generation ЭДС under the influence of magnetic force on moving charged квазичастицы and generation «transformer ЭДС under the influence of electric force owing to magnetic field change. It is shown, that at the description of the phenomenon of a transmission of energy and the information the important role is taken away Newton's connecting force to the second law, operating on quasiparticle, with its acceleration. It is allocated three displays of the phenomenon of carrying over (and reception) energy and the information, problems of measurement of energy of Fermi and Landau and conditions of its decision are formulated. Paper is of interest for metrologists, experts, masters and the post-graduate students studying magneto-fild effects and the phenomena, ways and methods creation of sensor controls of physical sizes, and also studying magneto-fild methods of measurement of properties and structure of substances and materials with use of a new principle of measurements — the phenomena of carrying over of energy and the information through spending and слобопроводящие environments.

Keywords: the laws of conservation of energy charged квазичастицы, the phenomenon of a transmission of energy and the information.

Введение

Работа направлена на создание и развитие новейшего научного направления в фундаментальной метрологии — магнитополевой теории измерений (МП ТИ). В его основу положен новый физический принципа измерений — явление переноса энергии и информации отрицательно заряженных квазичастиц сквозь проводящие или слабо проводящие среды (материалы и вещества). Создание новейшего научного направления обусловлено острой необходимостью измерений и исследований энергии Ферми новых материалов микро- и макромира, энергий дискретных энергетических уровней Ландау при изучении электрических и частотных свойств наноматериалов, биоматериалов, радиоматериалов и т.д., и т.п., а также

необходимостью создания методов прямых и избыточных измерений свойств веществ и материалов на новом физическом принципе с целью решения существующих проблем фундаментальной метрологии и материаловедения.

В первой части работы были описаны философские аспекты магнитополевой теории измерений [1]. В других частях (см. статьи [2, 3]) рассмотрена классификация атрибутов магнитополевых эффектов — магнитных полей, веществ и материалов и видов информации, получаемой по результатам взаимодействия магнитного поля и вещества (материала). Обобщены и классифицированы эффекты и условия взаимодействия магнитного поля и материи. Приведена классификация основных классов магнитных вещества и материалов. Описана сущность наиболее интересных магнитополевых эффектов и явлений. Приведены соответствующие иллюстрации, установлены и указаны основные условия воспроизведения магнитополевых эффектов и явлений.

Настоящая работа посвящена созданию теоретических основ магнитополевой теории измерений (прямых и избыточных) на новом физическом принципе.

Объект исследований

Объектом исследований являются теоретические и практические аспекты взаимодействия магнитных полей высоких и сверхвысоких частот с отрицательно заряженными квазичастицами материала или вещества.

Предмет исследований

Предметом теоретических исследований является создание теоретических основ магнитополевой теории измерений, в основу которой положен новый физический принцип измерений — явления переноса энергии и информации сквозь материал или вещество при воздействии на них энергией импульсного магнитного поля высокой или сверхвысокой частоты, а также установление существующих проблем, ограничений и условий.

Результаты исследований

1. Физические явления

Физическими называют явления, при которых не происходит превращение одних веществ в другие [4].

1.1. Явления движения заряженных квазичастиц

1.1.1. Токи проводимости, переноса и смещения

Магнитополевая теория измерений предполагает использование базовых понятий теории электромагнитного поля, отражающих ее сущность. В этой связи рассмотрим существующее понятие «электрический ток» и уточним определения понятий «ток проводимости», «ток переноса» и «ток смещения».

Полный электрический ток

Определение (классическое)

Электрический ток — явление движения заряженных частиц и явление изменения электрического поля во времени, сопровождаемые магнитным полем [5].

Данное определение нами уточнено:

«электрический ток — явление движения заряженных частиц и явление изменения электрического поля во времени, сопровождаемые порожденным ими магнитным полем».

Электрический ток — скалярная величина, равная сумме токов проводимости, переноса и смещения сквозь рассматриваемую поверхность.

Ток проводимости

Определение тока проводимости (классическое)

Электрическим током проводимости называется движение носителей электрических зарядов под действием электрического поля [6].

Это общепринятое определение. Оно используется преимущественно в тех случаях, когда электрическое поле создается путем подключения источника напряжения к разным точкам тела или концам проводника.

В приведенном определении не выделены вид носителей и значение напряженности электрического поля.

Предлагается следующее уточненное определение данному понятию:

«электрический ток проводимости — явление движения *свободных* носителей электрических зарядов под действием электрического поля *определенной напряженности*».

Электрический ток имеет количественные характеристики: скалярную — силу тока, и векторную — плотность тока.

Сила тока — физическая величина, равная отношению количества электричества ΔQ, прошедшего за некоторое время Δt через поперечное сечение проводника, к величине этого промежутка времени, т.е. $I = \Delta Q / \Delta t$.

Плотность тока проводимости является мерой тока, протекающего через единичную площадку, перпендикулярную вектору скорости движения носителей. Скорость носителей и плотность тока проводимости пропорциональны напряженности электрического поля.

Определение тока переноса (классическое)

Электрический ток переноса — электрический ток, осуществляемый переносом электрических зарядов телами, количественно характеризуемый скалярной величиной, равной производной по времени от

электрического заряда, переносимого телами сквозь рассматриваемую поверхность [7].

Приведенное определение чаще всего используется в химии и биологии.

Полагаем, что наиболее адекватно отражает сущность физических процессов при переносе энергии и информации через материал или вещество понятие «ток переноса».

Определение 1 (предложенное)

Электрический ток переноса — это явление движения заряженных (свободных, не связанных) квазичастиц в материальной условно непроводящей, слабо проводящей или проводящей среде.

В последнем случае этот ток называется электрическим током проводимости. Данное понятие широко используется в науке и технике, но справедливо строго для проводящих сред.

Отметим, что абсолютно непроводящих сред нет, поскольку в природе нет материалов и веществ, не содержащих электронов. Поэтому среду с минимально допустимым количеством электронов будем называть условно непроводящей.

Ток смещения

С учетом относительной диэлектрической проницаемости среды $\varepsilon = 1 + \chi$, где χ —диэлектрическая восприимчивость среды, электрическое смещение определяется согласно уравнению величин

$$D = \varepsilon\varepsilon_0 E = (1+\chi)\varepsilon_0 E = \varepsilon_0 E + \chi\varepsilon_0 E\,. \qquad (1)$$

Дифференцируя (1) по времени, получим, что плотность тока смещения равна сумме плотности тока смещения в вакууме ($\varepsilon_0 \dfrac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$) и плотности тока поляризации ($\dfrac{\partial \mathbf{P}}{\partial t}$), которая обусловлена перемещением зарядов в диэлектрике., т. е.

$$\mathbf{J}_{\text{см}} = \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial t} = \mathbf{J}_{\text{см в}} + \mathbf{J}_{\text{пол}}\,. \qquad (2)$$

Напомним, что вектор поляризации диэлектрика $\mathbf{P}_l = \chi\varepsilon_0\mathbf{E}$.

Согласно (2), всякое изменение электрического поля приводит к возникновению тока смещения. Ток смещения прямо пропорционален скорости изменения электрического поля [6].

Определения тока смещения (классическое)

Электрический ток смещения — величина, прямо пропорциональная скорости изменения электрической индукции (электрического смещения) [8].

Определение (предложенное)

Электрический ток смещения — явление смещения относительно своего исходного положения связанных заряженных квазичастиц в материальной, условно проводящей или слабо проводящей, среде.

Ток связанных зарядов — это перемещение средних положений связанных электронов и ядер, составляющих молекулу, относительно центра молекулы.

Сила тока смещения пропорциональна скорости изменения электрического смещения.

В диэлектриках электрическое смещения обусловлено как напряженностью E электростатического поля, так и поляризуемостью P диэлектрика.

Название «ток смещения» является условным, по сути это изменяющееся со временем электрическое поле. Ток смещения существует не только в вакууме или диэлектрике, но и внутри проводников, по которым проходит переменный ток. Однако в проводниках ток смещения пренебрежимо мал по сравнению с током проводимости [9].

1.2. Явление переноса[1] энергии и информации[2] сквозь материал (вещество)

Физическую сущность электромагнитной теории Максвелла применительно к проводящим и слабо проводящим материальным средам можно кратко сформулировать в виде четырех постулатов, аналогичных [10]:

1. В материале (веществе) источником электрического поля являются заряженные квазичастицы (электрические заряды);

2. В материале (веществе) силовые линии магнитного поля замкнуты либо начинаются и оканчиваются на бесконечности;

3. Изменяющийся магнитный поток порождает в материале (веществе) электрическое поле;

4. В материале (веществе) движущаяся заряженная квазичастица и изменяющийся электрический ток порождают магнитное поле.

Основные свойства электромагнитного поля описываются уравнениями Максвелла [11]:

1. Электрическое и магнитное поля тесным образом связаны между собой: изменение одного из них вызывает соответствующее изменение другого;

2. Источниками электромагнитного поля являются заряды и токи;

3. Магнитное поле всегда вихревое, электрическое поле может быть вихревым и потенциальным;

4. Силовые линии электрического поля могут иметь истоки и стоки, силовые линии магнитного поля всегда замкнуты.

Установлено явление переноса энергии и информации сквозь материал[1] (вещество), заключающееся

[1] допускается использование термина «передача»

[2] входных данных

в воздействии на материал, из которого выполнена механическая система замкнутого типа, соленоидальным[2]* импульсным магнитным полем высокой или сверхвысоко частоты, создании вихревого (индукционного) электрического поля, передачи энергии вихревого электрического поля в (кинетическую) энергию сложного волнового (поперечно-продольного) движения конечной совокупности отрицательно заряженных квазичастиц**, формировании токов переноса и смещения, создании этими токами соответствующего магнитного поля, порождении высокочастотной электромагнитной волны, передающей свою энергию вдоль замкнутого контура механической системы, наведении в неподвижном приемном контуре механической системы ЭДС электромагнитной индукции, трансформации ЭДС в переменное напряжение заданного уровня, выпрямлении, фильтрации или усреднении его, выделении на нагрузке сигнала электрической природы (тока или напряжения), удобного для восприятия данных (информации), запоминания, обработки и передачи потребителю.

Явление переноса энергии и информации сквозь материал (вещество) проявляется при условии выполнения следующей совокупности и последовательности физических операций:

- создание из материала с известными или неизвестными свойствами пассивной механической системы замкнутого типа;
- формирование и модуляция импульсного тока высокой или сверхвысокой частоты;
- создание соленоидального магнитного поля той же частоты;
- периодическое (с низкой стабильной частотой коммутации) воздействие энергией импульсного магнитного поля на механическую систему;
- формирование в материале механической системы вихревого (индукционного) электрического поля;
- передача энергии вихревого электрического поля в (кинетическую) энергию движения отрицательно заряженных квазичастиц материала механической системы;
- формирование токов переноса и смещения, текущих в замкнутом контуре механической системы;
- создание токами переноса и смещения соответствующего магнитного поля;
- порождение высокочастотной электромагнитной волны, переносящей энергию движения квазичастиц вдоль замкнутого контура механической системы;
- наведение (индуцирование) в неподвижном приемном колебательном контуре ЭДС электромагнитной индукции;
- трансформация ЭДС в переменное напряжение требуемого уровня (путем задания соответствующего значения коэффициента трансформации);
- выпрямление и усреднение полученного напряжения в течение полупериода низкой частоты коммутации;
- получение и оценка результата переноса энергии и входных данных (информации) через материал (вещество).

2. *Фундаментальные законы, проявляющиеся в явлении переноса информации*

2.1. *Закон сохранения электромагнитной энергии*

В основу явления переноса информации положено взаимодействие магнитного поля с заряженными квазичастицами материала (вещества), т.е. магнитополевой эффект. Формализовано это явление может быть описано в виде ряда математических выражений фундаментальных законов сохранения электромагнитной энергии и движения, уравнений Максвелла и др. В частности, например, описываемое явление зиждется на законе локального сохранения электромагнитной энергии, который в интегральной форме описывается аналитическим выражением вида [12]:

$$\oint_S \mathbf{\Pi} \cdot dS + \frac{d}{dt}\int_V \omega dV + \int_V p_{\text{п}} dV = \int_V p_{\text{ст}} dV \ , \qquad (3)$$

где $\mathbf{\Pi}$ — вектор Пойнтинга, характеризующий плотность потока электромагнитной энергии и указывающий направление ее движения; $\oint_S \Pi \cdot dS$ — мощность излучения (плотность потока электромагнитной энергии, проходящего через элементарную поверхность dS исследуемого материала (вещества); $\frac{d}{dt}\int_V \omega dV$ — изменение во времени (приращение) объемной плотности электромагнитной энергии, проходящей через элементарный объем; $\int_V p_{\text{п}} dV$ — объемная плотность мощности потерь, возникших в результате уравновешивания действий сил Лоренца силами Кулона при движении

[1] трубчатым

[2] ниже будем говорить только об электронах, как элементарных, отрицательно заряженных квазичастицах

отрицательно заряженных квазичастиц в электрическом поле; $\int_V p_{\text{ст}} dV$ — мощность сторонних сил, обусловленная объемной плотностью мощности сторонних сил в элементарном объеме (за счет силового действия подводимой к исследуемому материалу энергии магнитного поля),

В дифференциальной форме закон сохранения электромагнитной энергии имеет вид:

$$\operatorname{div}\mathbf{\Pi} + \frac{\partial \omega}{\partial t} + p_{\text{п}} = p_{\text{ст}}, \tag{4}$$

где $\operatorname{div}\mathbf{\Pi}$ — дивергенция вектора Пойнтинга; $p_{\text{п}} = \lim\limits_{\{V\}\to\{\Delta_V\}} \frac{P_{\text{п}}}{V}$ — объемная плотность мощности потерь, определяемая как отношение мощности потерь к объему, причем значение объема выбирается как можно малым, т.е. $\{V\} \to \{\Delta_V\}$ где $\{\Delta_V\}$ — предельное (весьма малое) числовое значение объема; $p_{\text{п}} = \lim\limits_{\{V\}\to\{\Delta_V\}} \frac{P_{\text{п}}}{V}$ — объемная плотность мощности сторонних сил, определяемая как отношение мощности этих сил к объему.

Закон сохранения энергии электромагнитного поля устанавливает баланс мощностей в произвольном объеме электромагнитного поля и может быть сформулирован следующим образом [13]: «небаланс мощности в заданном объеме *V* компенсируется потоком вектора Пойнтинга, направленным внутрь объема (знак «–») через замкнутую поверхность *S*, ограничивающую этот объем».

Из теоремы Умова – Пойнтинга вытекает важный теоретический вывод, что электрическая энергия от генератора к приемнику передается не по проводам линии электропередачи, а электромагнитным полем, окружающим эти провода, а сами провода выполняют иные функции: 1) создают условия для получения электромагнитного поля, 2) являются направляющими для потока электроэнергии [13].

Математически теорема Умова – Пойнтинга выражает закон сохранения энергии в электромагнитном поле. Теорема представляет собой своеобразное уравнение энергетического баланса в теории поля подобно уравнению баланса мощностей в электрических цепях [14].

2.2. *Требования к используемой механической системе и к материалу, из которого она создана*

Известно, что энергия никогда не исчезает и не появляется вновь, она лишь превращается из одного вида в другой [15].

Перенести или передать энергию и информацию через материал произвольной формы, в том числе и через диэлектрик, просто невозможно. Исследования показали, что материал должен иметь определенную форму, обеспечсивающую непрерывный перенос энергии и информации сквозь него. Высокая точность реализации явления переноса энергии и информации сквозь любой материал возможна при выполнении ряда закономерных требований:

во-первых, конструктивно материал должен быть представлен в виде пассивной плоской механической системы замкнутого типа. Это обстоятельство объясняется фундаментальными доводами: «*в замкнутой системе* энергия может переходить из одних видов в другие и передаваться от одного тела к другому, но ее общее количество остается неизменным» [14, 15]**.** На этот аспект указывали еще в XIX веке немецкие ученые Ю. Майер и Г. Гельмгольц**.** Как отмечается в цитируемых работах, фундаментальный закон сохранения и превращения энергии справедлив и для систем элементарных частиц разных веществ и материалов. Это особенно важно при исследованиях энергий Ферми и Ландау любых листовых материалов на основе явления переноса;

во-вторых, механическая система замкнутого типа должна иметь априори заданные конфигурацию, площадь, объем, площадь поверхности и толщину, а также известную плотность зарядов в единице объема;

в-третьих, поверхность материала плоской механической системы должна иметь высокий класс чистоты обработки, по-нашему мнению — быть «чистой» или «очень чистой» (— эталонная поверхность). Полагаем, что тип направлений неровностей должен быть параллельным или перпендикулярным плоскости поверхности механической системы. Соответствующие технические характеристки приводятся в работе [16]. Это требование обеспечивает достижение высокой точности переноса энергии и информации;

в-четвертых, высокая точность изготовления пассивной механической системы замкнутого типа предполагает преимущественное использование технологии лазерной резки материалов по априори заданным чертежам;

в-пятых, при решении измерительных задач, явление переноса энергии и информации связано с исполь-зованием материала с высокой подвижностью квазичастиц и их большой объемной плотностью. Это обусловлено необходимостью получения высокой чувствительности измерений. В этом случае предпочтительным является изготовление механических систем замкнутого типа из таких листовых материалов, как медь, серебро и их сплавы;

в-шестых, при прямых измерениях энергии Ферми и энергий дискретных энергетических уровней Ландау проводников, полупроводников, диэлектриков и других разновидностей материалов, необходимо изготовление из них стандартных образцов (СО) пассивных механических систем замкнутого типа с идентичной конфигурацией, одинаковой площадью поверхности и качеством ее обработки, а при избыточных измерениях еще и СО разного объема (толщины).

В физическом эксперименте нами использовалась пассивная механическая система замкнутого типа, изготовленная из образца материала (ОМ) в виде плоского симметричного двухконтурного резонатора (или волновода), точнее — в виде двух идентичных плоских и параллельно соединенных между собой медных одновитковых контуров.

2.3. ***Закон сохранения и превращения механической энергии. Перенос энергии сквозь материал, из которого изготовлена механическая система замкнутого типа***

Как было подчеркнуто выше, фундаментальный закон сохранения и превращения энергии, в том числе и механической, справедлив и для систем элементарных заряженных квазичастиц.

Закон сохранения механической энергии связан с однородностью времени, т.е. с инвариантностью физических законов относительно выбора начала отсчета времени.

Напомним, что механические системы, на квазичастицы которых действуют только консервативные силы (внутренние кулоновские и магнитные), называются консервативными системами. Системы, в которых механическая энергия постепенно уменьшается за счет преобразования в другие виды энергии, например, в тепловую, называются диссипативными (диссипация — рассеяние энергии). Строго говоря, все системы в природе являются диссипативными и в них закон сохранения механической энергии нарушается. Однако, при изменении механической энергии всегда возникает эквивалентное количество энергии другого вида. Энергия никогда не исчезает и не появляется вновь, она лишь превращается из одного вида в другой. В этом и состоит физическая сущность закона сохранения и превращения энергии — сущность неуничтожимости материи и ее движения.

Покажем, что благодаря закону сохранения и превращения механической энергии осуществляется перенос энергии заряженных квазичастиц по замкнутому контуру механической системы.

Важной особенностью закона сохранения механической энергии является то, в том числе и для системы из n квазичастиц материала (вещества), движущихся по замкнутому контуру, что он устанавливает связь между координатами и скоростями отрицательно заряженных квазичастиц в двух разных точках траектории их движения.

Известно [15, 16, 18], что при скорости движения квазичастиц намного меньшей скорости света, т.е. при $v \ll c$, их массы постоянны и равны между собой, т.е. $m_{e1} = m_{e2} = \ldots = m_{en} = m_e$, как равны между собой и равнодействующие внутренних кулоновских сил, т.е. $F_{\text{п}1} = F_{\text{п}2} = \ldots = F_{\text{п}n} = F_{\text{п}}$. При силовом воздействии импульсного магнитного поля высокой частоты на квазичастицы их скорости выравниваются, т.е. $v_{e1} = v_{e2} = \ldots = v_{en} = v_e$. При этом выравниваются равнодействующие внешних консервативных ($F_{\text{к}1} = F_{\text{к}2} = \ldots = F_{\text{к}n} = F_{\text{к}}$) и внешних неконсервативных ($F_{\text{м}1} = F_{\text{м}2} = \ldots = F_{\text{м}n} = F_{\text{м}}$) сил [17]. Тогда, согласно второму закону Ньютона, уравнение движения каждой i-й квазичастицы имеет вид:

$$m_{ei}\frac{d\mathbf{v}_{ei}}{dt} = \mathbf{F}_{\text{к}i} + \mathbf{F}_{\text{п}i} + \mathbf{F}_{\text{м}i}\,. \tag{5}$$

При движении под действием сил магнитного поля, квазичастицы за интервал времени dt совершают перемещения $dl_1 = dl_2 = \ldots = dl_n = dl_e$. Умножим левую и правую части равенства (5) на соответствующее перемещение, получим:

$$m_{ei}\frac{d\mathbf{v}_{ei}}{dt}d\mathbf{l}_{ei} = \left(\mathbf{F}_{\text{к}i} + \mathbf{F}_{\text{п}i}\right)d\mathbf{l}_{ei} + \mathbf{F}_{\text{м}i}d\mathbf{l}_{ei}\,. \tag{6}$$

При постоянной скорости движения квазичастиц их перемещение зависит от времени, т.е. $d\mathbf{l}_{ei} = \mathbf{v}_{ei}dt$. Подставив равенство $d\mathbf{l}_{ei} = \mathbf{v}_{ei}dt$ в (6), получим приращение кинетической энергии для i-й квазичастицы в виде

$$m_{ei}(\mathbf{v}_{ei}\cdot d\mathbf{l}_{ei}) = \left(\mathbf{F}_{\text{к}i} + \mathbf{F}_{\text{п}i}\right)\cdot d\mathbf{l}_{ei} + \mathbf{F}_{\text{м}i}\cdot d\mathbf{l}_{ei}\,. \tag{7}$$

Для системы из n движущихся квазичастиц приращение кинетической энергии равно:

$$\sum_{i=1}^{n} m_{ei}(\mathbf{v}_{ei}d\mathbf{v}_{ei}) = \sum_{i=1}^{n}\left(\mathbf{F}_{\text{к}i} + \mathbf{F}_{\text{п}i}\right)d\mathbf{l}_{ei} + \sum_{i=1}^{n}\mathbf{F}_{\text{м}i}d\mathbf{l}_{ei}\,. \tag{8}$$

Левая часть равенства (8) представляет собой приращение кинетической энергии системы:

$$\sum_{i=1}^{n} m_{ei}(\mathbf{v}_{ei}d\mathbf{v}_{ei}) = \sum_{i=1}^{n} d\left(\frac{m_{ei}\mathbf{v}_{ei}^{2}}{k_2}\right) = dE_{\text{к}}\,, \tag{9}$$

где $k_2 = 2$.

В правой части равенства (8) первый член характеризует элементарную работу внутренних и внешних консервативных сил, т.е. равен элементарному приращению потенциальной энергии: .

$$\sum_{i=1}^{n}\left(\mathbf{F}_{\text{к}i} + \mathbf{F}_{\text{п}i}\right)d\mathbf{l}_{ei} = dE_{\text{п}}\,. \tag{10}$$

где $F_{\text{к}i}$ — равнодействующая внешних консервативных сил, действующих на каждую квазичастицу и обеспечивающих их движение, а $F_{\text{п}i}$ — равнодействующая внутренних консервативных сил (постоянных

потенциальных полей, кулоновских сил).

Второй член правой части равенства (8) описывает работу $dA = \sum_{i=1}^{n} \mathbf{F}_{\text{м}i} d\mathbf{l}_{ei}$ внешних неконсервативных сил (электромагнитного поля высокой частоты), действующих на механическую систему.

В целом, изменение полной энергии системы из n квазичастиц равно изменению энергии внешних неконсервативных сил, т.е.

$$d(E_{\text{к}} + E_{\text{п}}) = dA\,. \tag{11}$$

Согласно [18], переход n заряженных квазичастиц, движущихся по замкнутому контуру механической системы из одного состояния (обозначим через 1) в другое состояние (обозначим через 2) совершается за счет работы внешних неконсервативных сил (например, за счет магнитной индукции импульсного электромагнитного поля высокой или сверхвысокой частоты и описывается уравнением величин

$$\int_{1}^{2} d(E_{\text{к}} + E_{\text{п}}) = \sum_{i=1}^{n} \mathbf{F}_{\text{м}i} \cdot d\mathbf{l}_{ei12} = n(\mathbf{F}_{\text{м}} \cdot d\mathbf{l}_{e12}) = A_{12}\,, \tag{12}$$

где $F_{\text{м}}$ — равнодействующая внешних неконсервативных сил (сил индукции магнитного поля высокой или сверхвысокой частоты), действующих на каждую квазичастицу; dl_{ei12} — перемещение квазичастицы под действием сил магнитного поля за интервал времени Δt; A_{12} — работа, совершаемая внешними неконсервативными силами.

Следовательно, явление передачи энергии отрицательно заряженных квазичастиц сквозь материал описывается с помощью закона сохранения механической энергии. Только этот закон позволяет получить связь между координатами и скоростями заряженных квазичастиц в двух разных точках траектории их движения, причем нет необходимости в анализе закона движения квазичастицы во всех промежуточных точках.

Согласно (12), изменение полной энергии движения n отрицательно заряженных частиц по замкнутому контуру механической системы при переходе из одного состояния в другое равно работе, совершенной внешними неконсервативными силами, т.е. силами индукции магнитного поля высокой или сверхвысокой частоты. Если эти силы отсутствуют, то из (12) следует, что

$$d(E_{\text{к}} + E_{\text{п}}) = 0\,, \tag{13}$$

откуда полная энергия системы квазичастиц останется величиной постоянной (неизменной)

$$E_{\text{к}} + E_{\text{п}} = W = \text{const}\,. \tag{14}$$

Равенство (14) описывает закон сохранения энергии квазичастиц в материале (веществе), согласно которому сумма кинетической и потенциальной энергии отрицательно заряженных квазичастиц материала механической системы замкнутого типа, в которой действуют только консервативные силы, остается постоянной.

Таким образом, энергия заряженных квазичастиц консервативной системы замкнутого типа не изменяется в процессе их движения.

Если на заряженные квазичастицы материала (вещества) механической системы замкнутого типа действуют непотенциальные (консервативные) силы, например, силы вихревого электрического поля, то в этом случае изменение полной энергии заряженных квазичастиц равно работе неконсервативных сил, действующих на эти квазичастицы:

$$\Delta W_{\text{к}} + \Delta W_{\text{п}} = \sum_{i=1}^{n} A_{i\text{н}}\,, \tag{15}$$

где индекс «н» — первая буква слова «неконсервативные».

Равенство (15) выражает закон изменения полной энергии движущихся заряженных квазичастиц в механической системе замкнутого типа, т.е. представляет собой своего рода закон сохранения энергии движения квазичастиц при действии на них неконсервативных сил.

Для того, чтобы убедиться в справедливости утверждений о том, что переход движущихся заряженных квазичастиц механической системы замкнутого типа из одного состояния в другое состояние осуществляется за счет работы, совершаемой внешними неконсервативными силами (силовым действием импульсного электромагнитного поля высокой или сверхвысокой частоты), необходимо создать условия для обнаружения и объективного (визуального) определения числового значения совершаемой работы. Для этого используется закон электромагнитной индукции Фарадея.

2.4. ***Закон электромагнитной индукции Фарадея***

В 1831 г. английским физиком М.Фарадеем было открыто явление электромагнитной индукции. Оно проявляется в возникновении электрического тока в замкнутом проводящем контуре при изменении во времени магнитного потока, пронизывающего контур. Им экспериментально было установлено, что при изменении магнитного потока в проводящем контуре возникает ЭДС индукции Э, равная скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную контуром, взятой со знаком минус [19]:

$$Э = -d\Phi/dt\,, \tag{16}$$

где Ф — магнитный поток, описываемый уравнением величин

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha\,; \tag{17}$$

S — площадь поверхности контура, пронизываемая магнитным потоком; B — модуль вектора магнитной индукции; α — угол между вектором $\mathbf{B}$ и нормалью $\mathbf{n}$ к плоскости контура.

Уравнение величин (17) описывает закон электромагнитной индукции Фарадея. Позднее, в 1833 году, Э. Ленцем было сформулировано следующее правило: «индукционный ток, возбуждаемый в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, всегда направлен так, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающего индукционный ток.

Д. Максвелл в 1861 году в своей работе «О физических силовых линиях» обратил внимание на тот факт, что закон Фарадея в одном уравнении (14) описывает два разных явления: «двигательную ЭДС», генерируемую действием магнитной силы на движущиеся квазичастицы, и «трансформаторную ЭДС», генерируемую действием электрической силы вследствие изменения магнитного поля. .

В этом случае закон Фарадея формулируется следующим образом [20]: «циркуляция вектора напряженности сторонних сил (неэлектрического происхождения) равна ЭДС, действующей в замкнутой цепи приемного контура (алгебраической сумме ЭДС)».

В качестве сторонних сил неэлектрического происхождения используются силы, обусловленные составляющей вектора магнитной индукции, полученной за счет движения заряженных квазичастиц в электрическом поле вещества (материала), и составляющей вектора индукции магнитного поля, полученной за счет движения заряженных квазичастиц по замкнутому приемному колебательному контуру,

В этом случае закона Фарадея запишется в виде

$$\oint_L (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot dl = \oint_L \mathbf{E} \cdot dl + \oint_L (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot dl = \int_S \frac{d\mathbf{B}}{dt} d\mathbf{S}\,, \tag{18}$$

где dl — весьма малый по значению и независимый от времени элемент контура L кривой, ограничивающей неизменную во времени поверхность S; dS — весьма малый по значению элемент поверхности S. Согласно теореме Кельвина – Стокса [20] имеем:

$$\oint_L \mathbf{E} \cdot \partial l = -\oint_S \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{B} \cdot dS\,, \tag{19}$$

т.е. циркуляция векторного поля вдоль замкнутого контура $\partial\Sigma$ равна потоку ротора (вихря) поля через поверхность S, ограниченную этим контуром.

Уравнение величин (19) описывает явление электромагнитной индукции (закон Фарадея) и устанавливает количественную связь между электрическими и магнитными полями: переменное электрическое поле порождает переменное магнитное поле. В этом физический смысл уравнения величин (19) [19, 20].

Подставляя правую часть равенства (19) в (18), окончательно получим аналитическое выражение закона Фарадея в общем виде:

$$\oint_L (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot dl = -\frac{d}{dt} \oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} + \oint_L (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot dl = \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} d\mathbf{S}\,. \tag{20}$$

При определении ЭДС выбор пути $L(t)$, связанного со временем движения квазичастиц с конечной скоростью, должен осуществляться при выполнении следующих условий:

Первое, — путь движения квазичастиц должен быть замкнутым, поскольку только в механических системах замкнутого типа проявляется действие закона сохранения энергии движущихся заряженных квазичастиц.

Второе, — путь должен охватывать относительное движение всех квазичастиц материала, из которого выполнен контур механической системы.

Третьим, весьма важным условием, которым зачастую пренебрегают физики, является условие, что «путь должен совпадать с направлением течения тока». В противном случае получают ЭДС, которая, «возможно, будет не той (природы) ЭДС, которую вызывает ток». Причем результат определения ЭДС может быть получен с погрешностью, обусловленной не совпадением направлений течения основных и сторонних токов по контуру материала механической системы замкнутого типа.

Четвертым условием высокоточного определения ЭДС является неизменность траектории (постоянство пути) движения отрицательно заряженных квазичастиц материала.

Пятым — условие зеркальной симметрии механической системы замкнутого типа, т.е. выполнение ее, например, в виде двух идентичных плоских пассивных колебательных контуров. Это необходимо для обеспечения одинаковых условий переноса и приема энергии отрицательно заряженных квазичастиц, т.е. повышения точности определения ЭДС.

2.5. *Второй закон Ньютона*

При описании явления передачи энергии и информации важная роль отводится второму закону Ньютона, связывающему силу F_e, действующую на квазичастицу, с ускорением a_e. Согласно [21], в

инерциальных системах отсчета ускорение, приобретаемое квазичастицей, прямо пропорционально вызывающей его силе, не зависит от её природы, совпадает с ней по направлению и обратно пропорционально массе квазичастицы.

В описываемом явлении передачи энергии и информации на отрицательно заряженные квазичастицы действует импульсное магнитное поле в течение нечетных полупериодов электрического тока высокой или сверхвысокой частоты (типа меандр). В течение четных полупериодов квазичастицы с массой m_e движутся по инерции. Согласно второму закону Ньютона это движение является равноускоренным, так как имеет место экспериментально проверяемое утверждение Ньютона о пропорциональности ускорения вызывающей его силе, т.е. о линейности соотношения «сила-ускорение» ($a_e = F_e/m_e$). [21]. С другой стороны, по второму закону Ньютона можно определить значение инертной массы, характеризующей динамические свойства квазичастицы, через отношение силы к ускорению ($m_e = F_e/\ a_e$).

2.6. *Сила Лоренца и сила Ампера*

Вектором напряженности электрического поля называется сила, действующая на единичный электрический заряд [19, 22]:

$$\mathbf{F}_э = q_1\mathbf{E}\,, \qquad (21),$$

где q_1 — единичный электрический заряд, взаимодействующей с электрическим полем, Кл;

Следует помнить, что этот заряд не должна искажать электрическое поле. Для определения напряженности электрического поля необходимо, чтобы минимальная по значению сила, действующая на пробный электрический заряд (квазичастицу), была нормированной и определяемой, с заданной точностью, по измерительному прибору.

Согласно (21), вектор напряженности электрического поля воздействует на любой заряд. Это дает возможность использовать электрическое поле для увеличения или уменьшения скорости движения потока отрицательно заряженных квазичастиц по замкнутому контуру механической системы.

Вектором магнитной индукции называется сила, действующая на единичный электрический заряд, движущийся с единичной скоростью:

$$\mathbf{F}_м = q_1[\mathbf{v}_1 \times \mathbf{B}]\,, \qquad (22),$$

где $\mathbf{v}_1$ — вектор единичной скорости движения заряженной квазичастицы, м/с; $\mathbf{B}$ — вектор магнитной индукции, Т.

Следует помнить, что электрическое поле действует на любые заряды, — движущиеся и неподвижные, а магнитное — только на движущиеся.

На электрический заряд, находящийся в электромагнитном поле, действует сила Лоренца:

$$\mathbf{F}_L = q\mathbf{E} + q[\mathbf{v}, \mathbf{B}]\,, \qquad (23)$$

где q — электрический заряд (например, заряд квазичастицы), взаимодействующей с электрическим полем, Кл; $\mathbf{v}$ — вектор скорости движения заряженной квазичастицы, м/с.

Сила Лоренца всегда перпендикулярна скорости движения заряда и не совершает работы, поскольку не изменяет скорость заряда и его кинетическую энергию [23, 24].

Макроскопическим проявлением силы Лоренца является сила Ампера. Аналитическое выражение для силы Ампера $d\mathbf{F}$, с которой магнитное поле действует на элемент объёма dV проводника (материала) с плотностью тока $\mathbf{J}$, находящегося в магнитном поле с индукцией $\mathbf{B}$, имеет вид: $d\mathbf{F} = \mathbf{J} \times \mathbf{B} dV$ [23].

Модуль силы Ампера находится согласно уравнению величин:

$$F_A = I \cdot B \cdot L \cdot \cos\alpha\,, \qquad (24)$$

где α — угол между вектором магнитной индукции и направлением, вдоль которого течёт ток.

Сила Ампера — сила, действующая на находящийся в магнитном поле материал, по замкнутому контуру которого течет ток (движется поток отрицательно заряженных квазичастиц). Эта сила максимальна при расположении указанного материала перпендикулярно линиям магнитной индукции ($\alpha = 90^o$):

2.7. *Понятие соленоидального векторного поля*

Решение задачи переноса энергии и информации через материал (вещество) не возможно без формирования соленоидального магнитного поля. Рассмотрим сущность данного понятия и его математическую интерпретацию.

Согласно [25, 26], векторное *поле* $\mathbf{a}$ называется соленоидальным или вихревым, если через любую замкнутую поверхность S его поток равен нулю, т.е. $\int_S \mathbf{a} \cdot \mathbf{dS} = 0$. Соленоидальное поле — это трубчатое поле направленного действия (векторное), теоретически не имеющее ни источников, ни стоков. Дивергенция вектора $\mathbf{a}$ соленоидального поля равна нулю во всех его точках ($\mathrm{div}\mathbf{a} = 0$).

Соленоидальное магнитное поле — трубчатое векторное поле с нулевой расходимостью входящего и исходящего потоков. Примером является магнитное поле внутри бесконечно длинного соленоида. Для него $\mathrm{div}\,\mathbf{B} = 0$, где $\mathbf{B}$ — вектор магнитной индукции. Равенство дивергенции нулю означает, что соленоидальное поле свободно от источников. Соленоидальное магнитное поле — вихревое векторное поле,

которое характеризуется так называемым векторным потенциалом — функцией (**A**) такой, что $\mathbf{B} = \mathrm{rot}\,\mathbf{A}$.

Для соленоидального магнитного поля справедлив принцип сохранения интенсивности трубчатого векторного поля («векторной трубки»): в соленоидальном магнитном поле потоки трубчатого векторного поля через различные его поперечные сечения (сечения «векторной трубки») равны между собой по интенсивности (сохраняют постоянное значение).

Известно, что энергия магнитного поля равна работе, которую затрачивает ток на создание этого поля [27]. Действительно, если по контуру с индуктивностью L_0 течет ток I_x, то магнитный поток, сцепленный с данным контуром, опишется уравнением величин $\Phi_x = L_0 I_x$. Изменение тока на dI_x приводит к изменению магнитного потока на $d\Phi_x = L_0 dI_x$. При этом будет совершена работа $dA_x = I_x \cdot d\Phi_x = L_0 I_x dI_x$. Полная работа по созданию магнитного потока Φ_x определяется согласно уравнению величин

$$A_x = \int_0^{I_x} I_x \cdot d\Phi_x = \int_0^{I_x} L_0 I_x dI_x = \frac{L_0 I_x^2}{k_2}, \tag{25}$$

где $k_2 = 2$.

Следовательно, энергия магнитного поля равна

$$W_x = \frac{L_0 I_x^2}{k_2}. \tag{26}$$

Выразим энергию однородного магнитного поля внутри длинного соленоида через величины, характеризующие это поле в окружающем пространстве.

Индуктивность соленоида определяется согласно уравнению величин [27]:

$$L_0 = \mu\mu_0 N^2 \frac{S_0}{l_0}, \tag{27}$$

где S_0 и l_0 — соответственно площадь поперечного сечения соленоида и его длина.

В этом случае энергия магнитного поля соленоида определяется по уравнению величин

$$W_x = \frac{\mu\mu_0}{k_2} \frac{N^2 I_x^2}{l_0} S_0. \tag{28}$$

Исследования магнитополевых измерений показали целесообразность формирования и использования в контуре соленоида тока высокой частоты и прямоугольной формы, т.е. типа меандр. Такой ток описывается уравнением величин

$$I_x(t) = I_m \left(\frac{1}{k_2} + \frac{k_2}{n} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(k_2 n - 1)\omega_0 t}{k_2 n - 1} \right), \tag{29}$$

где $k_2 = 2$, ω_0 — частота следования прямоугольных импульсов заданного значения, $k_2 n - 1$ — число гармоник.

В этом случае индукция импульсного магнитного поля соленоида описывается уравнением величин

$$B_x(t) = \frac{\mu\mu_0}{k_2} \frac{N}{l_0} I_m \left(\frac{1}{k_2} + \frac{k_2}{n} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(k_2 n - 1)\omega_0 t}{k_2 n - 1} \right). \tag{30}$$

Ее значение пропорционально амплитуде тока через контур, числу витков соленоида и обратно пропорционально длине соленоида.

Вектор магнитной индукции $\mathbf{B}_x$ является фундаментальной характеристикой магнитного поля. Именно он определяет силу действия магнитного поля на движущиеся заряженные квазичастицы и токи и может быть непосредственно измерен. Уравнение величин (30) используется при описании процесса передачи энергии и информации по замкнутому контуру механической системы, выполненной из металлов и их сплавов.

При использовании механической системы, выполненной из диэлектрика, в расчетах используется понятие напряженность магнитного поля H, Поскольку $B = \mu\mu_0 H$, то, с учетом (27), запишем

$$H_x(t) = \frac{N}{k_2 l_0} I_m \left(\frac{1}{k_2} + \frac{k_2}{n} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(k_2 n - 1)\omega_0 t}{k_2 n - 1} \right). \tag{31}$$

Напряжённость магнитного поля обычно рассматривают как вспомогательную величину, которую проще рассчитать, например, в статическом режиме. В этом и состоит её ценность. С другой стороны, напряженность магнитного поля создают так называемые свободные токи, которые сравнительно легко непосредственно измерить. В то же время не учитываются трудно измеряемые связанные токи, т. е. молекулярные токи и т. п.

С учетом $B = \mu\mu_0 H$ и (31), уравнение величин для энергии магнитного поля соленоида, выраженное через параметры соленоида и индукцию магнитного поля, примет вид:

$$W_x = \frac{[B_x(t)]^2}{k_2\mu\mu_0} = \frac{\mu\mu_0}{k_2}\frac{NV_0}{l_0}B_m^2\left(\frac{1}{k_2} + \frac{k_2}{n}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\sin(k_2 n - 1)\omega_0 t}{k_2 n - 1}\right)^2, \quad (32)$$

где B_m — амплитуда импульсов магнитной индукции (— силовой характеристики магнитного поля); $V_0 = S_0 l_0$ — объем соленоида.

Следует помнить, что в уравнение величин (32) включена не только энергия собственного поля соленоида, но и энергия, затраченная на поляризацию среды. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D0%BF%D1%80%D1%8F%D0%B6%D1%91%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8F - cite_note-1

При учете энергии, затраченной на поляризацию материала или вещества, на которые воздействует импульсное магнитное поле, полная энергия магнитного поля описывается, через его напряженность и магнитную проницаемость, уравнением величин

$$W_x = \mu\mu_0\frac{H_m^2}{k_2}\left(\frac{1}{k_2} + \frac{k_2}{n}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\sin(k_2 n - 1)\omega_0 t}{k_2 n - 1}\right)^2 V_0, \quad (33)$$

где H_m — амплитуда импульсов напряженности магнитного поля, т.е. пропорционально квадрату напряженности магнитного поля и линейно зависит от магнитной проницаемости материала или вещества.

3. *Три проявления явления переноса (и приема) энергии и информации*

Открытый нами магнитополевой эффект [28] описывает явление переноса энергии и информации. В настоящее время выделено три проявления явления переноса (и приема) энергии и информации:

1) перенос через проводящую вещественную среду (материал или вещество) энергии и информации о физическом свойстве определенного материального объекта, процесса, физического явления, ее преобразование на приемной стороне и получение в количественном выражении в виде постоянного тока или напряжения;

2) перенос информации о скрытой энергии Ферми любых материалов или веществ микро- и макромира и ее представление на приемной стороне в количественном выражении в виде электрического тока или напряжения;

3) передача информации о дискретных энергетических уровнях Ландау проводящих и слабо проводящих материальных сред (материалов или веществ) микро- и макромира и оценивание дискретных значений энергий этих материалов, с учетом полосы неопределённости, в моменты времени излучения радиоимпульса.

Установлено, что реализация третьего проявления явления передачи информации отличается от первых двух необходимостью выполнения дополнительных требований к изготовлению механической системе с излучающим колебательным контуром (антенной) и к способу излучения энергии магнитного поля высокой частоты.

Первооснову (предтечу) явления переноса информации материалом или веществом составляет магнитополевой эффект, который проявляется в движении квазичастиц и модуляции скорости их движения под действием импульсного магнитного поля высокой частоты.

4. *Проблемы измерения энергий Ферми и Ландау*

Выделим основные проблемы измерения энергий Ферми и Ландау простых и сложных веществ микро- и макромира, — металлов и неметаллов, органических и неорганических веществ [29]:

1. Проблема установления физического принципа (явления или эффекта), который может быть положен в основу метода измерения скрытой внутренней энергии Ферми исследуемых образцов[1] (ИО) материалов, а также энергии дискретных энергетических уровней Ландау (сокращенно — энергий Ферми и Ландау) при нормальных условиях эксплуатации этих материалов.

2. Проблема использования известного явления или эффекта, обеспечивающего управляемое целенаправленное силовое воздействие на заряженные квазичастицы ИО материала. Эффект должен обеспечивать перенос, например, энергии отрицательно заряженных квазичастиц ИО материала из одной части его объема в другую или изменение их объемной концентрации внутри материала.

3. Проблема создания такого магнитополевого воздействия, при котором происходит формирование линейного дискретно движущегося (шаг за шагом) потока заряженных квазичастиц, создаваемого определенные виды токов в ИО материала.

4. Проблема создания стандартных образцов (СО) материалов, нормированных по значению скрытой энергии Ферми и соответствующих стандартов на их конструкцию, форму, типоразмер, способ изготовления и т.д.

[1] в том числе и из биоматериалов

В рассматриваемом случае СО — средство измерений, изготовленное определенным способом из материала известной марки, структуры, шероховатости, конфигурации, формы и типоразмеров, предназначенное для воспроизведения и хранения физической величины — «энергии Ферми» заданного размера (числового значения), характеризующей общие энергетические свойства этого материала.

5. Проблема создания государственных стандартов, руководящих технических материалов и требований по изготовлению механических систем из ИО материалов разного вида или марки. Эти образцы должны иметь заданное количество электронов в единице объема и значение их подвижности, иметь определенную конфигурацию, толщину, чистоту обработки (шероховатость поверхности) и т.д., в зависимости от решаемой измерительной задачи.

6. Проблема высокоточной передачи энергии неоднородного высокочастотного электромагнитного поля, созданного в результате движения отрицательно заряженных частиц по замкнутому контуру механической системы, в приемный колебательный контур.

Эта проблема связана с высокоточным преобразованием электрических токов переноса (проводимости, конвекции), обусловленных движением несвязанных отрицательно заряженных квазичастиц в механической системе замкнутого типа, а также токов смещения, обусловленных смещением взаимосвязанных заряженных частиц (молекул, гидроксильных групп и т. п.) в соответствующие магнитные поля.

7. Проблема высокоточного съёма информации об энергиях Ферми и Ландау, связанная с корректным воспроизведением явления электромагнитной индукции и учета нелинейности силовых линий магнитного поля.

Ее решение возможно при использовании симметричной и идентичной по параметрам приемной части контура механической системы замкнутого типа по отношению к его передающей части.

8. Проблема разработки универсального способа измерения энергий Ферми и Ландау, т.е. способа, инвариантного к физической природе материалов, — будь-то: металлы или диэлектрики, материалы с разной структурой, наноматериалы, композитные материалы и другие.

9. Проблема обеспечения единства измерений, повторяемости и качества измерений.

В этой связи актуальна задача исключения влияния внешних магнитных полей на искусственно созданные, задача подготовки образцов исследуемого материала с нормированными геометрическими размерами и чистотой обработки поверхности (если не ставится задача измерения шероховатости материала), задача установления оптимальных параметров импульсного магнитного поля высокой или сверхвысокой частоты, задача линеаризации передаточной функции и др.

10. Проблема формирования радиоимпульса и передачи его энергии в открытое пространство.

Переход электронов с одного дискретного энергетического уровня на другой осуществляется мгновенно в момент времени превышения энергии $E_{п2}$ второго дискретного энергетического уровня энергии $E_{п1}$ первого энергетического уровня (индекс «п» — первая буква слова «пороговый»). При этом переходе происходит излучение возбужденными атомами электромагнитной волны. Как известно [30], атом излучает лишь тогда, когда электрон скачком переходит из одного состояния с большей энергией в другое, с меньшей энергией. При этом частота излучения $i-$го свободного электрона определяется уравнением величин: $\nu_i = \dfrac{E_{mi} - E_{ni}}{h}$ при $E_{mi} > E_{ni}$. При каждом переходе электрона имеет место излучение определенной частоты. Однако для k отрицательно заряженных квазичастиц (электронов), переходящих с одного дискретного энергетического уровня Ландау на другой, спектр излучения атомов представляет собой не набор спектральных линий, а сплошной (полосовой) спектр, отличающийся начальным и конечным значениями частот одной или нескольких полос. Это объясняется тем, что в жидких и твердых телах, где частицы сильно взаимодействуют друг с другом, энергия каждой частицы включает в себя и энергию ее взаимодействия с другими частицами. Поскольку энергия взаимодействия квазичастиц может иметь самые разные значения, то вместо отдельных энергетических уровней образуются сплошные полосы возможных энергетических состояний.

Интенсивность излучения может быть самой различной; спектр излучения получается сплошным и полосовым. Причем атомы поглощают только такие электромагнитные волны (лучи), которые могут сами испускать [24]. Следовательно, для k электронов, переходящих с одного дискретного энергетического уровня Ландау на другой, спектр излучения атомов представляет собой не линии, а набор спектральных полос в диапазоне частот.

С помощью антенны, которая представляет собой контур ударного возбуждения, формируется и излучается радиоимпульс, суммарная энергия и спектр которого определяются: а) энергией излучения каждого атома материала при переходе его из возбужденного состояния в исходное, когда все свободные электроны с одного энергетического уровня переходят на другой и 2) параметрами приемо-передающей антенны, являющейся элементом связи физической системы замкнутого типа с окружающей средой;

5. *Условия решения проблемы измерений энергий Ферми и Ландау*

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что основными условиями решения проблемы измерения энергий Ферми и Ландау являются:

представление СО и ИО материалов в виде пассивных механических систем (в частном виде — в

виде волноводов, резонаторов, пассивных радиотехнических систем и т.д.). При этом, механическая система принципиально должна: представлять собой ИО материала определенного вида, конфигурации, типоразмеров, чистоты обработки поверхности и иметь нормированное значение концентрации примесей;

механическая система должна быть системой замкнутого типа и иметь несколько центров симметрии, например, два локальных и один общий;

при измерениях энергии Ферми механическая система должна представлять собой систему закрытого от действия внешних магнитных полей типа, т.е. иметь защитные магнитные экраны;

в случае измерения энергии дискретных энергетических уровней Ландау механическая система должна перестраиваться в систему открытого типа, обеспечивающую излучение энергии радиоимпульсов в открытое пространство.

Для решения задачи измерения энергий Ферми и Ландау необходимость выполнения указанных требований обусловлена тем, что замкнутые механические системы играют фундаментальную роль в изучении свойств материалов и обеспечивают чистоту эксперимента. Ведь под действием магнитного поля энергия движения квазичастиц в такой системе сохраняется на протяжении всего времени, в течение которого система являться замкнутой [18]. Только в механических системах замкнутого типа действует закон сохранения энергии.

Изготовление образцов зеркально симметричных объектов исследований единой конфигурации и заданных размеров обусловлено существованием в природе принципа симметрии объектов, систем и описываемых их физических законов. Различным симметриям физических законов в природе соответствуют определенные законы сохранения, в частности, энергии. С другой стороны, симметрия относительно зеркального отражения означает, что физические законы не меняются при замене левого отражения на правое, а правого на левое [31].

Выполнение описанных условий и изготовление зеркально симметричных ИО и схемотехнических решений дало возможность реализовать метод измерений на новом физическом принципе, сохранить чистоту эксперимента, обеспечить единство измерений и сходимость результатов измерений.

Дополнительная защита ИО материалов от действия внешних магнитных полей необходима для обеспечения проявлений фундаментальных свойств материальных квазичастиц ИО материала, высокой разрешающей способности, заданной точности и достоверности измерений, а также исключение действия сторонних неконсервативных сил на механическую систему..

Проблема съема информации решается при разработке такого схемотехнического решения, при котором приемная часть не вносит затуханий (и потерь) в преобразуемый сигнал и является симметричной входному воздействию.

Проблема разработки универсального способа измерения энергий Ферми и Ландау безусловно является актуальной, поскольку направлена на решение важнейших проблем фундаментальной метрологии, которые еще не решены в теории и мировой практике приборостроения. Данная проблема связана и с трудностями создания высокоточных и стабильных сенсоров (датчиков) микротока.

Магнитополевые методы и средства измерений описываются в последующих публикациях.

Выводы. Рассмотрены явления движения заряженных квазичастиц, связанные с такими понятиям, как ток проводимости, ток переноса и ток смещения. Приведены их научные определения. В частности, например, утверждается, что в теории магнитополевых измерениях целесообразно использовать понятия «ток переноса» и «ток смещения».

Рассмотрена сущность явления переноса энергии и информации сквозь вещество и условия его осуществления.

Описаны фундаментальные законы магнетизма и электродинамики, положенные в основу явления переноса. энергии и информации.

Установлено шесть основных требований к материалам, используемым для передачи энергии и информации через них.

Показано, что явление передачи энергии отрицательно заряженных квазичастиц сквозь материал описывается с использованием законов сохранения энергии электромагнитного поля и закона сохранения энергии движения по замкнутому контуру *n* заряженных квазичастиц.

Показано, что только с помощью закона сохранения механической энергии устанавливается связь между координатами и скоростями движения заряженных квазичастиц в двух диаметрально противоположных (симметричных) точках траектории их движения по замкнутому контуру.

Отмечено важное значение закона электромагнитной индукции Фарадея для решения задачи определения работы, совершаемой движущимися отрицательно заряженными квазичастицами с использованием двух разных явлений: генерации ЭДС под действием магнитной силы на движущиеся заряженные квазичастицы и генерации трансформаторной ЭДС под действием электрической силы вследствие изменения магнитного поля.

Показано, что при описании явления передачи энергии и информации важная роль отводится второму закону Ньютона, связывающему силу, действующую на квазичастицу, с ее ускорением. Установлены условия проявления действия второго закона Ньютона при формировании токов переноса.

Выделено три проявления явления переноса (и приема) энергии и информации:

1) перенос через проводящую среду (материал или вещество) энергии и информации о физических

величинах и представление ее на приемной стороне в количественном выражении в виде тока или напряжения;

2) перенос информации о скрытой энергии Ферми через материал или вещество микро- и макромира;

3) перенос информации о дискретных энергетических уровнях Ландау через материал или вещество микро- и макромира и ее фиксация.

Сформулированы проблемы измерения энергии Ферми и Ландау и условия ее решения.

Таковы сущность явления переноса энергии и информации сквозь материал или вещество, условия и проблемы магнитополевых измерений. Полученные теоретические знания составляют первоосновы и основы магнитополевой теории измерений. Сущность магнитополевых методов будет описана в следующей публикации.

Литература

1. Кондратов В.Т. Фундаментальная метрология. Магнитополевая теория измерений с использованием явления переноса энергии и информации сквозь материал или вещество. Часть 1. Философские аспекты теории / В.Т. Конд-ратов // Вісник Хмельницького національного університету : междунар. науч.-тех. журнал. – 2018. – № 4. – С. 222–232.
2. Кондратов В.Т. Фундаментальная метрология. Магнитополевая теория измерений с использованием явления переноса энергии и информации сквозь материал или вещество. Часть 2. Атрибуты магнитополевых эффектов / В.Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2018. – № 1. – С. 7–14.
3. Кондратов В.Т. Фундаментальная метрология. Магнитополевая теория измерений с использованием явления переноса энергии и информации сквозь материал или вещество. Часть 2.1. Условия проявления маг-нитополевых эффектов и явлений / В.Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2018. – № 1. – С. 15–31.
4. Физические явления [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.google.com.ua/search?q=%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5+%D1%8F%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F+%D1%8D%D1%82%D0%BE+%D1%85%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%8F&sa=X&ved=0ahUKEwiZ_ffIxN_cAhWiIJoKHadFBjEQ1QIIpgEoAQ&biw=700&bih=378.
5. Электрический ток переноса. Режим доступа. Режим доступа: https://technical_terminology.academic.ru/ 6614/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%82%D0%BE%D0%BA_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%B0.
6. Электрический ток переноса [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://studfiles.net/preview/ 1790395/page:5/.
7. Ток проводимости и ток смещения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://official.academic.ru/30225/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%82%D0%BE%D0%BA_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%B0.
8. Ток смещения (электродинамика) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D0%BA_%D1%81%D0%BC%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_(%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0).
9. Ток смещения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://edu.tltsu.ru/er/book_view.php?book_id=14d8&page_id=11998.
10. Кирильчук В.Б. Основы проектирования СВЧ интегральных схем. Часть 1. Основы теории электромагнитного поля [Электронный ресурс] / Кирильчук В.Б., Лихачевский Д.В. – Режим доступа : https://www.bsuir.by/m/12_100229_1_85510.pdf.
11. Четвертое уравнение Максвелла [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://studfiles.net/preview/1790395/page:7/.
12. Закон сохранения электромагнитной энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://know.sernam.ru/book_ter.php?id=29.
13. Теорема Умова – Пойнтинга для электромагнитного поля [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://studopedia.ru/3_ 43182 _teorema-umova-poytinga-dlya-elektromagnitnogo-polya.html.
14. Теорема Гаусса (постулат Максвелла) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://studfilesnet/preview/5909216/page: 5/.
15. Закон сохранения энергии в механике [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://poznayka.org/s80034t1.html.
16. Шероховатость поверхности. ГОСТ 2789-73 (СТ СЭВ 638-77) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.gosthelp.ru /text/GOST278973SHeroxovatostpo.html.

17. Закон сохранения механической энергии и импульса [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://osu.ru/docs/school/ physics/physics_3_energy.pdf.

18. Закон сохранения энергии в механике [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://studopedia.ru/4_12_zakon-sohraneniya-energii-v-mehanike.html.

19. Глава 1. Электродинамика. 1.20. Электромагнитная индукция. Правило Ленца [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https:// physics.ru/courses/op25part2/content/chapter1/section/paragraph20/theory.html

20. Закон электромагнитной индукции Фарадея [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%A4%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B5%D1%8F.

21. Второй закон Ньютона [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%82%D0%BED1%80%D0%BE%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D0%9D%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B0.

22. Описание электромагнитного поля [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://studfiles.net/preview/ 1790395/page:3/.

23. Закон Ампера [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D0%90%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0.

24. Сила Лоренца [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BB% D0%B0_%D0%9B%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B0.

25. Соленоидальное векторное поле [Электронный ресурс]. – Режим досупа : https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%B8%D0%B4%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B2%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5.

26. Соленоидальное поле [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_mathematics/5204/%D0%A1%D0%9E%D0%9B%D0%95%D0%9D%D0%9E%D0%98%D0%94%D0%90%D0%9B%D0%AC%D0%9D%D0%9E%D0%95.

27. Огурцов А.Н. Физика для студентов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.ilt.kharkov.ua/ bvi/ogurtsov/ lect4mag.pdf.

28. Кондратов В.Т. Магнитополевой эффект проф. Кондратова В.Т. / В.Т. Кондратов // Матеріали 17-ї МНТК «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних проце-сах», 8-13 червня 2017 р., м. Одеса (Затока). – С. 64–67.

29. Кондратов В.Т. Фундаментальная метрология: проблема измерения энергии Ферми / В.Т. Кондратов // Тезисы докладов 16-й междунар.науч.-техн. конф. «Вимірювальна та обчислювальна тех-ніка в технологічних процесах» (ВОТТП-15 — 2016), м. Одеса (Затока) 10–15 червня. – С. 27–30.

30. Излучение и поглощение энергии атомами [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://tehnar.net.ua/iz luchenie-i-pogloshhenie-energii-atomami/.

31. Краткая теория [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://cito-web.yspu.org/link1/metod/met71/ node19.html.

References

1. Kondratov V.T. Fundamental'naya metrologiya. Magnitopolevaya teoriya izmereniy s ispol'zovaniyem yavleniya perenosa energii i informatsii skvoz' material ili veshchestvo. Chast' 1. Filosofskiye aspekty teorii / V.T. Kondratov // Mezhdunar. nauch.-tekh. zhurnal «Vísnik Khmel'nits'kogo natsíonal'nogo uníversitetu».2018, №4. — S. 222–232.

2. Kondratov V.T. Fundamental'naya metrologiya. Magnitopolevaya teoriya izmereniy s ispol'zovaniyem yavleniya perenosa energii i informatsii skvoz' material ili veshchestvo. Chast' 2. Atributy magnitopolevykh effektov / V.T. Kondratov //Vimíryuval'na ta obchislyuval'na tekhníka v tekhnologíchnikh protsesakh. — 2018. — №1. — S. 7 – 14.

3. Kondratov V.T. Fundamental'naya metrologiya. Magnitopolevaya teoriya izmereniy s is-pol'zovaniyem yavleniya perenosa energii i informatsii skvoz' material ili veshchestvo. Chast' 2.1. Usloviya proyavleniya mag-nitopolevykh effektov i yavleniy / V.T. Kondratov // Vimíryuval'na ta ob-chislyuval'na tekhníka v tekhnologíchnikh protsesakh. — 2018. — №1. — S. 15 – 31.

4. Fizicheskiye yavleniya. Rezhim dostupa: https://www.google.com.ua/search?q=%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5+%D1%8F%D0%B2%D0%BB%D0%D0%BD%D0%B8%D1%8F+%D1%8D%D1%82%D0%BE+%D1%85%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%8F&sa=X&ved=0ahUKEwiZ_ffIxN_cAhWiIJoKHadFBjEQ1QIIpgEoAQ&biw=700&bih=378.

5. Elektricheskiy tok perenosa. Rezhim dostupa. Rezhim dostupa: https://technical_terminology.academic.ru/6614/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%82%D0%BE%D0%BA_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%B0.

6. Elektricheskiy tok perenosa. Rezhim dostupa: https://studfiles.net/preview/ 1790395/page:5/.

7. Tok provodimosti i tok smeshcheniya. Rezhim dostupa: https://official.academic.ru/30225/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%82%D0%BE%D0%BA_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%B0.

8. Tok smeshcheniya (elektrodinamika). Rezhim dostupa: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%ED0%BA%D1%81%D0%BC%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_(%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0).

9. Tok smeshcheniya. Rezhim dostupa: http://edu.tltsu.ru/er/book_view.php?book_id=14d8&page_id=11998.

10. Kiril'chuk V.B., Likhachevskiy .D.V. Osnovy proyektirovaniya SVCH integral'nykh skhem. Chast' 1. Osnovy teorii elektromagnitnogo polya. Rezhim dostupa: https://www.bsuir.by/m/12_100229_1_85510.pdf.
11. Chetvertoye uravneniye Maksvella. Rezhim dostupa: https://studfiles.net/preview/1790395/page:7/.
12. Zakon sokhraneniya elektromagnitnoy energii. Rezhim dostupa: http://know.sernam.ru/book_ter.php?id=29.
13. Teorema Umova-Poytinga dlya elektromagnitnogo polya. Rezhim dostupa: https://studopedia.ru/3_43182 _teorema-umova-poytinga-dlya-elektromagnitnogo-polya.html.
14. Teorema Gaussa (postulat Maksvella). Rezhim dostupa: https://studfilesnet/preview/5909216/page: 5/.
15. Zakon sokhraneniya energii v mekhanike. Rezhim dostupa: http://poznayka.org/s80034t1.html.
16. Sherokhovatost' poverkhnosti. GOST 2789-73 (CT SEV 638-77). Rezhim dostupa: http://www.gosthelp.ru/text/GOST278973SHeroxovatostpo.html.
17. Zakon sokhraneniya mekhanicheskoy energii i impuld'sa. Rezhim dostupa: http://osu.ru/docs/ school/physics/ physics_3_energy.pdf.
18. Zakon sokhraneniya energii v mekhanike. Rezhim dostupa: https://studopedia.ru/4_12_zakon-sohraneniya-energii-v-mehanike.html.
19. Glava 1. Elektrodinamika. 1.20. Elektromagnitnaya induktsiya. Pravilo Lentsa. Rezhim dostupa: https://physics.ru/courses/op25part2/content/chapter1/section/paragraph20/theory.html.
20. Zakon elektromagnitnoy induktsii Faradeya. Rezhim dostupa: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%A4%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B5%D1%8F.
21. Vtoroy zakon N'yutona. Rezhim dostupa: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%82%D0%BED1%0%0%BE%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D0%9D%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B0.
22. Opisaniye elektromagnitnogo polya. Rezhim dostupa: https://studfiles.net/preview/ 1790395/page:3/.
23. Zakon Ampera. Rezhim dostupa: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0% BE%D0%BD_%D0%90%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0.
24. Sila Lorentsa. Rezhim dostupa: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BB% D0%B0_%D0%9B%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B0.
25. Solenoidal'noye vektornoye pole. Rezhim dosupa: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%B8%D0%B4%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B2%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5.
26. Solenoidal'noye pole. Rezhim dostupa: https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_mathematics/5204/%D0%A1%D0%9E%D0%9B%D0%95%D0%9D%D0%9E%D0%98%D0%94%D0%90%D0%9B%D0%AC%D0%9D%D0%9E%D0%95.
27. Ogurtsov A.N.. Fizika dlya studentov. Rezhim dostupa: http://www.ilt.kharkov.ua/ bvi/ogurtsov/lect4mag.pdf.
28. Kondratov V.T. Magnitopolevoy effekt prof. Kondratova V.T. / V.T.Kondratov //Materíali 17-í MNTK «Vimíryu-val'na ta ob-chislyuval'na tekhníka v tekhnologíchnikh protse-sakh», 8-13 chervnya 2017 r., m. Odesa (Zatoka). 2017 – S. 64-67.
29. Kondratov V.T. Fundamental'naya metrologiya: problema izmereniya energii Fermi / V.T. Kondratov // Tezisy dokladov 16-y mezhdunar.nauch.-tekhn. konf. «Vimíryuval'na ta obchislyuval'na tekh-níka v tekhnologíchnikh protsesakh» (VOTTP-15 — 2016), m. Odesa (Zatoka) 10-15 chervnya. — S. 27-30.
30. Izlucheniye i pogloshcheniye energii atomami. URL: http://tehnar.net.ua/iz luchenie-i-pogloshhenie-energii-atomami/.
31. Kratkaya teoriya. URL: http://cito-web.yspu.org/link1/metod/met71/ node19.html.

Рецензія/Peer review : 14.9.2018 р. Надрукована/Printed : 18.9.2018 р.
Статтю представляє Кондратов В.Т.