ЭЛЕКТРОФИЗИКА

Ф.Ф. МЕНДЕ

доктор техн. наук, директор НИИ Криогенного приборостроения Физико-технический институт низких температур им Б.И. Веркина НАН Украины Харьков, Украина E-mail: mende_fedor@mail.ru

НОВЫЙ ТИП КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ И ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ОБМОТОК И ТОРОВ

В статье рассмотрено новое физическое явление – электротоковая контактная разность потенциалов, величина которой зависит от тока, текущего по проводнику. К сожалению, расчетные значения электротоковой контактной разности потенциалов оказались значительно ниже потенциалов, наблюдаемых в эксперименте. Проведенные эксперименты и расчеты показали, что обнаруженная электризация сверхпроводящих обмоток и торов находит свое объяснение в концепции скалярно-векторного потенциала, разработанной автором. Эта концепция предполагает зависимость скалярного потенциала заряда от скорости.

Ключевые слова: контактная разность потенциалов, законы индукции, скалярно-векторный потенциал.

F.F. MENDE

Doctor of Techn. Sciences, Director Research institute for cryogenic instrument engineering B.I. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering NAS Ukraine Kharkov, Ukraine E-mail: mende_fedor@mail.ru

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

In the article is examined new physical phenomenon the electrocurent contact potential difference, whose value depends on the current, which flows along the conductor. Unfortunately, the computed values of electrocurent contact a potential difference proved to be considerably lower than the potentials, observed in the experiment. The carried out experiments and calculations showed that the discovered electrization of the superconductive windings and tori finds its explanation in the concept of scalar-vector potential, developed by the author. This concept assumes the dependence of the scalar potential of charge on its relative speed.

Key words: contact potential difference, laws of induction, scalar-vector potential.

1. Электротоковая контактная разность потенциалов

Контактная разность потенциалов возникает между находящимися в электрическом контакте проводниками в условиях термодинамического равновесия. В результате этого между проводниками происходит обмен электронами до тех пор, пока уровень Ферми в обоих проводниках не уравняется. Установившаяся контактная разность потенциалов равна разности работа выхода проводников, отнесенной к заряду электрона. Но от внимания исследователей ускользнул еще один тип контактной разности потенциалов, который имеет место при течении тока через сверхпроводники.

Величина пондеромоторной силы, действующей на единичный квадрат поверхности проводника, определяется соотношением

$$F_{\Box}=\frac{1}{2}\mu_0H^2,$$

где *H* – магнитное поле на поверхности проводника; μ_0 – магнитная проницаемость.

Эта сила приложена к движущимся электронам и пытается сжать электронный поток. Чтобы уравновесить указанную силу, вблизи поверхности сверхпроводника образуется положительно заряженный слой, обедненный электронами Электростатическое поле этого слоя уравновешивает пондеромоторую силу (рис. 1).

Если проводник, по которому течет ток, привести в контакт с другим проводником, то часть электронов из этого проводника перейдет в обедненный слой и между проводниками образуется контактная разность потенциалов. Для образования слоя, обедненного электронами, расходуется энергия магнитного поля, и для вычисления контактной разности потенциалов следует приравнять энергию магнитного поля и электростатическую энергию обедненного слоя.

Для круглого проводника контактная разность потенциалов составляет

$$\Delta \varphi = \frac{\mu_0 I^2}{2(\pi d)^2 en}.$$
(1)

2. Экспериментальное исследование электризации сверхпроводящих обмоток и торов

Для ввода тока в сверхпроводящую обмотку был использован трансформатор с железным сердечником, охлаждаемый до гелиевых температур Используя в качестве вторичной обмотки трансформатора сверхпроводящую обмотку, соединенную с внешним сверхпроводящим контуром, можно без наличия гальванических контактов вводить ток в такой контур. С целью уменьшения индуктивности внешнего контура он выполнен в виде бифилярная обмотки (далее малоиндуктивная обмотка). В трансформаторе использовался кольцеобразный сердечник из трансформаторной стали с поперечным сечением 9 см². Первичная и вторичная обмотки трансформатора намотаны ниобий-титановым проводом с медным покрытием и содержали 150 и 10 витков соответственно. Таким образом, трансформатор имеет коэффициент трансформации равный 15. Диаметр проволоки составлял 0,25 мм. Вторичная обмотка трансформатора соединена последовательно с малоиндуктивной обмоткой, которая намотана бифилярно и содержит 2448 витков



Рис. 1. Сжатие электронного потока, текущего по проводнику

такого же провода. Общая длина намотки составляет 910 м. Концы малоиндуктивной обмотки и вторичной обмотки трансформатора сварены при помощи лазерной сварки. Малоиндуктивная обмотка намотана на каркасе из фторопласта. Внутренний и внешний диаметр малоиндуктивной обмотки составляет 35 и 90 мм, ширина намотки 30 мм. К средней точке малоиндуктивной обмотки подключен центральный провод коаксиала, выходящего наружу криостата, такой же коаксиал подключен и к экрану, окружающему малоиндуктивную обмотку. Конструкция малоиндуктивной обмотки и элементов ее крепления показана на рисунке 2.

Малоиндуктивная обмотка намотана на фторопластовом каркасе 8, который заключен в алюминиевый каркас 1. Снаружи соленоид окружен медным экраном 7. К каркасу 1 при помощи болта 6 и фторопластовой втулки 2 крепится фторопластовый диск 3, на котором смонтирована скоба 4. Витки вторичной обмотки трансформатора охватывают скобу 4, через которую проходит магнитопровод трансформатора. Вся конструкция крепится к трансформатору посредством стоек 5. Трансформатор совместно с малоиндуктивной обмоткой размещается в баке гелиевого криостата.

Схема подключения коаксиалов к малоиндуктивной обмотке и экрану ее окружающему показана на рисунке 3.

Сопротивление между заземленными элементами, экраном и малоиндуктивной обмоткой составляет ~1014 Ом. Элементы, используемые в конструкции, имеют следующие емкости относительно земли: коаксиал 3 – 44 пФ, коаксиал 4 – 27 пФ,



Рис. 2. Конструкция сверхпроводящей малоиндуктивной обмотки с элементами крепления: 1 – алюминиевый каркас; 2 – фторопластовая втулка; 3 – фторопластовый диск; 4 – скоба; 5 – стойки; 6 – болт; 7 – медный экран; 8 – фторопластовый каркас.

	Таблица		
7	8		

1

I(A)	1	2	3	4	5	6	7	8
$I_1(A)$	15	30	45	60	75	90	105	120
$H\left(\frac{A}{m}\right) \cdot 10^4$	1,91	3,82	5,73	7,64	9,55	11,5	14,6	15,3
$-U_2$ (mB)	_	2	6	10	15	21	27	35
$-U_1(\text{mB})$	_	7	20	34	50	71	90	117
$\frac{U}{I_{3\phi}^{2}}\left(\frac{mB}{A}\right)$	_	1,75	2,22	2,13	2,00	1,94	1,84	1,83

емкость экран по отношению к земле составляет – 34 пФ, емкость экран по отношению к соленоиду составляет – 45 пФ. В качестве электрометра использовался емкостной вибрационный электрометр с входной емкостью 60 пФ и входным сопротивлением ~ 1014 Ом.

При измерениях электрометр подключался к малоиндуктивной обмотке при помощи коаксиал 3. Ток в первичную обмотку трансформатора вводился от источника постоянного тока, показания электрометра при этом не зависели от направления тока. При величинах вводимого тока ~ 9 А происходил сброс показаний электрометра. Это означает, что ток в обмотке соленоида достигал своего критического значения, и обмотка переходила в нормальное состояние.

Экспериментальная зависимость разности потенциалов показана на рисунке 4. Значения разности потенциалов на рисунке указаны с обратным знаком.

Экспериментальные данные приведены в таблице 1.



Рис. 3. Схема соединения малоиндуктивной обмотки и экрана с коаксиалами: 1 – малоиндуктивная обмотка; 2 – экран малоиндуктивной обмотки; 3, 4 – коаксиалы; 5 – общий экран, которым является гелиевый бак.

В первой графе таблицы указаны значения тока I, вводимого в первичную обмотку. Во второй графе указаны значения тока І, в малоиндуктивной обмотке, рассчитанные исходя из значения коэффициента трансформации равного 15. При этом предполагается, что во всем диапазоне вводимых токов намагниченность сердечника остается пропорциональной току. В третьей графе указаны значения магнитных полей на поверхности сверхпроводящих проводов малоиндуктивной обмотки. В четвертой графе указаны показания электрометра. В пятой графе указаны эффективные значения разности потенциалов. Эти значения соответствуют величине потенциала между малоиндуктивной обмоткой и экраном до подключения к экрану суммарной емкости коаксиала и электрометра. В шестой графе указан коэффициент $k = \frac{U_{3\phi}}{I^2}$, указывающий на отклонение полученной зависимости от квадратичного закона. Среднеквадратичное отклонение коэффициента k от своего среднего значения составляет 0,13, что соответствует среднеквадратичной погрешности ~7 %. Таким образом, зависимость между током и потенциалом очень близка к квадратичному закону. Из таблицы также видно, что при значениях тока в малоиндуктивной обмотке ~120 А напряженность поля на поверхности ее



проводов достигает своего критического значения,

Рис. 4. Зависимость разности потенциалов на малоиндуктивной обмотке от тока в первичной обмотке трансформатора

которое для используемого сверхпроводника составляет 1,5·10⁵ А/м. С этим и связан сброс показаний электрометра, который происходит при переходе сверхпроводящей обмотки в нормальное состояние и приводит к затуханию сверхпроводящего тока.

Измерения разности потенциалов проводилось и по схеме, когда электрометр подключался к экрану при помощи коаксиала 4, а малоиндуктивная обмотка никуда не подключалась. В этом случае была получена зависимость аналогичная той, которая изображена на рисунке 4, но амплитуда напряжения была примерно в два раза меньше. Интересно отметить, что указанная зависимость сохраняется даже в том случае, когда малоиндуктивная обмотка заземлена. Это указывает на то, что электрические поля, индуцирующие потенциал в экране, создаются зарядами, движущимися в малоиндуктивной обмотке. Эти результаты не могут объяснить существующие законы электродинамики, т.к. полученный результат указывает на то, что заряд не является инвариантом скорости.

Сообщение об электризации сверхпроводящих обмоток, в которые вводился постоянный ток, опубликовано в статье [1]. В дальнейшем подобные исследования были выполнены авторами данной статьи [4...10].

Важным обстоятельством является то, что при измерении потенциала экрана *I*, в котором размещена малоиндуктивная обмотка, ход зависимости, приведенной на рисунке 4 повторяется. Подобные результаты были получены и в экспериментах с ниобиевым сверхпроводящим тором. Схема эксперимента показана на рисунке 5. Внутри проводящего экрана размещался второй проводящий экран, в котором располагался сверхпроводящий тор, выполненный из ниобия, а электрометр



Рис. 5. Схема эксперимента со сверхпроводящим тором

подключался между этими экранами. В эксперименте, в качестве наружного экрана *I*, использовалось ярмо трансформатора, выполненное из трансформаторной стали. На центральном стержне ярма располагалась первичная обмотка 2, намотанная ниобий-титановым проводом и содержащая 1860 витков. На этом же стержне располагался торообразный металлический экран 3, выполненный из меди. Внутри этого экрана был расположен тор 4, выполненный из ниобия. Наружный диаметр тора составлял 76 мм, а внутренний 49 мм. Трансформатор размещался в баке гелиевого криостата и охлаждался до гелиевой температуры, ярмо трансформатора и гелиевый бак заземлялись. При введении постоянного тока в первичную обмотку трансформатора в сверхпроводящем торе индуцировался ток, и электрометр фиксировал появление между экраном 3 и ярмом трансформатора разность потенциалов U. Это означает, что ниобиевый тор, расположенный внутри экрана 3, перестает быть электронейтральным. Величина постоянного тока в сверхпроводящем торе в 1860 раз превышает ток, вводимый в первичную обмотку трансформатора.

Зависимость разности потенциалов U от тока I, вводимого в первичную обмотку трансформатора, показана на рисунке 6.

Полученные значения разности потенциалов, по сравнению со случаем сверхпроводящей проволочной обмотки, оказались значительно меньшими. Это связано с тем, что поверхность тора значительно меньше поверхности проволоки соленоида. Вид зависимости разности потенциалов от вводимого тока также сильно отличается. Квадратичный участок наблюдается только на небольшом начальном участке вплоть до значений токов ~2 А, вводимых в первичную обмотку. Далее эта зависимость становится практически линейной с небольшим углом наклона. Сброс показаний электрометра не наблюдался.



Рис. 6. Зависимость разности потенциалов межу экраном 3 и ярмом трансформатора от тока, вводимого в первичную обмотку трансформатора

В проводах малоиндуктивной обмотки сверхпроводящий ток равномерно распределен по поверхности проволоки и достигает своего критического значения на всех ее участках одновременно. С этим и связан переход всей обмотки соленоида в нормальное состояние, при достижении в проволоке критического значения тока.

В торе процесс установления сверхпроводящего тока на его поверхности происходит подругому. Вводимый в тор постоянный ток очень неравномерно распределен по его поверхности. Максимальные плотности тока наблюдаются на внутренней поверхности тора, а на периферии они значительно меньше. С этим связано то, что внутренние поверхности тора начинают переходить в нормальное состояние раньше, чем наружные. В процессе перехода тора в нормальное состояние нормальная фаза начинает перемещаться от внутренних областей тора к наружным областям. Процесс длится до тех пор, пока весь тор не перейдет в нормальное состояние. При переходе тора в нормальное состояние не происходит сброс тока, как это имеет место в случае проволочной обмотки. Это связано с тем, что ниобий является сверхпроводником второго рода, и у него имеется значительная область плотностей токов, при которых он находится в смешанном состоянии. При этом внутри массивного сверхпроводника образуются

вихри Абрикосова, которые представляют сверхпроводящие вихревые токи и оказывают влияние на электризацию тора.

Если изменить направление тока в первичной обмотке трансформатора, то зависимость, подобная изображенной на рисунке 6, повторяется, однако, наблюдается сильный гистерезис. Это связано с тем, что вихри, проникшие вглубь сверхпроводника, закрепляются на дефектах кристаллической решетки, попадая в потенциальные ямы, что и приводит к гистерезису.

Электризация сверхпроводящих обмоток и торов не находит объяснения в рамках классической электродинамики, эти результаты не находят объяснение и в рамках специальной теории относительности. Пока единственной теорией, которая способна объяснить полученные результаты, является концепция скалярно-векторного потенциала, которая предполагает зависимость скалярного потенциала заряда от его скорости [4, 7...10].

3. Результаты других авторов и обсуждение полученных результатов

Тщательное исследование электризации сверхпроводящих обмоток проведено в работе [1]. При этом также использовалась бифилярная обмотка (малоиндуктивная обмотка) из ниобийтитанового провода, покрытого медью. Длина



Рис. 7. Схема экспериментальной установки

провода составляет 701 м, а диаметр провода равен 0,128 мм. Схема экспериментальной установки показана на рисунке 7, а ее состав и элементы показаны на рисунке 8.

В установке кроме механических ключей имеется тепловой ключ S4, который позволяет переводить часть сверхпроводящего замкнутого контура в нормальное состояние. В цепи контура имеется сопротивление R, которым зашунтирована малоиндуктивная обмотка и соленоид L. Соленоид имеет небольшое количество витков и используется для измерения тока в малоиндуктивной обмотке. Измерение проводится при помощи датчика Холла, измеряющего магнитное поле соленоида. Сопротивление теплового ключа R_p подобрано таким образом, чтобы выполнялось условие R_p R. При выполнении этого условия после включения теплового ключа ток малоиндуктивной обмотки течет через сопротивление R. Это дает возможность при помощи электрометра, подключенного к контуру наблюдать поведение потенциала на контуре в процессе затухания тока в малоиндуктивной обмотке. Контур и тепловой ключ находятся в латунном экране. Внутри экрана на тефлоновой стойке крепятся контакты, через которые вводится ток в малоиндуктивную обмотку. Эти контакты укреплены на пружинах, к контактам присоединены провода малоиндуктивной обмотки.



Рис. 8. Состав и элементы экспериментальной установки

Ток к контактам подводится при помощи current rod. Когда current rod поднимают вверх, контакты размыкаются.

В процессе проведения экспериментов было осуществлено два режима работы.

В первом режиме ток вводился в контур, а затем включался тепловой ключ. В этом режиме происходило экспоненциальное затухание тока в малоиндуктивной обмотке, и при помощи электрометра наблюдалось поведение электрического потенциала на контуре.

Полученные зависимости представлены на рисунке 9.

Из представленных зависимостей видно, что большим значениям тока соответствуют большие абсолютные значения потенциалов, что совпадает с результатами экспериментов, представленных на рисунке 4. Амплитуда изменения потенциала составляет ~10 мВ. Зависимость между потенциалом и током в малоиндуктивной обмотке соответствует квадратичному закону.

Особый интерес представляют результаты эксперимента, когда электрометр подключался непосредственно к латунному экрану (Faraday Cage), а контур никуда не подключен. Этот эксперимент описан в разделе В. Variation II. Для осуществления этого эксперимента из состава контура был исключен тепловой ключ. Ток в малоиндуктивной обмотке вводился при помощи current rod, который после ввода тока поднимался вверх и источник тока отключался от контура. В этот же момент к bras shields подключался электрометр. Схема этого эксперимента представлена на рисунке 10.

Экспериментальные результаты эксперимента представлены на рисунке 11.

Видно, что изменение тока в малоиндуктивной обмотке приводит к возникновению потенциала на контуре, находящемся в Faraday Cage. Этот результат противоречит существующим законам электродинамики, т.к. дает основание полагать, что заряд не является инвариантом скорости. Подобные результаты были получены и автором статьи в экспериментах со сверхпроводящими обмотками и торами, описанными в предыдущем разделе.

Пока единственной теорией, которая может объяснить указанные явления, является разработанная автором концепция скалярно-векторного потенциала, в которой скалярный потенциал заряда зависит от его скорости [4, 7...10].

Эта концепция предполагает, что скалярный потенциал определяется соотношением

$$\varphi'(r,v_{\perp}) = \frac{e \ ch \frac{v_{\perp}}{c}}{4\pi\varepsilon r} = \varphi(r)ch \frac{v_{\perp}}{c},$$

где *с* – скорость света; *v*₁ – нормальная составляющая скорости электрона к вектору, соединяющему движущийся заряд и точку наблюдения; $\phi(r)$ – скалярный потенциал неподвижного заряда.

Электрическое поле движущегося электрона будет определяться соотношением:



Рис. 9. Зависимость потенциала контура от тока в нем

ИНЖЕНЕРНАЯ ФИЗИКА № 2. 2015.

$$E'(r,v_{\perp}) = \frac{ech\frac{v_{\perp}}{c}}{4\pi\varepsilon r^2}.$$

Если имеется плоский слой электронов, движущихся со скоростью v, толщина которого λ , то величина электрического поля, нормального к поверхности слоя, составит:

$$E_{\perp v} = \frac{ne\lambda}{\varepsilon_0} ch \frac{v}{c},$$

где $E_{\perp} = \frac{ne\lambda}{\varepsilon_0}$ – электрическое поле неподвижного

слоя; *n* – плотность электронов.

В металле, это поле компенсируется электрическим полем решетки. Следовательно, приращение электрического поля на поверхности металлического слоя составит

$$\Delta E_{\perp v} = \frac{ne\lambda}{\varepsilon_0} \left(ch \frac{v}{c} - 1 \right).$$

Разлагая гиперболический косинус в ряд и оставляя только первые два члена разложения, получаем

$$\Delta E_{\perp \nu} = \frac{ne\lambda \nu^2}{2\varepsilon_0 c^2}.$$
(3.1)

Величина $Q_{\mathbb{N}} = ne\lambda$ определяет удельный заряд слоя λ , а величина

$$\Delta Q_{\mathbb{H}} = \varepsilon_0 \Delta E_{\perp \nu} \tag{3.2}$$

определяет приращение удельного заряда поверхностного слоя, обусловленное движением электронов. Сравнивая соотношения (3.1) и (3.2), получаем приращение удельного заряда



Puc. 10. Изолированный контур размещенный в Faraday Cage

В сверхпроводнике глубина проникновения тока равна лондоновской глубине проникновения λ , поэтому это соотношение распространяется на сверхпроводники, если считать, что скорость движения электронов в поверхностном слое равна v.

Скорость движения электронов в поверхностном слое сверхпроводника связана с магнитным полем соотношением

$$v = \frac{H}{ne\lambda}.$$
(3.4)

Подставляя соотношение (3.4) в соотношение (3.3), получаем:

$$\Delta Q_{\mathbb{M}} = \frac{H^2}{2ne\lambda c^2} \tag{3.5}$$

Магнитное поле на поверхности сверхпроводника равно удельному току

$$H = I_0. \tag{3.6}$$

Если по круглому сверхпроводнику, диаметр которого равен d, течет ток I и его глубина проникновения равна λ , то удельный ток определяется из соотношения

$$I_0 = \frac{I}{\pi d}.$$
(3.7)

Учитывая соотношения (3.6) и (3,7) из соотношения (3.5) получаем:

$$\Delta Q_{\mathbb{M}} = \frac{I^2}{2(\pi d)^2 n e \lambda c^2}$$

Чтобы получить полное приращение заряда рассматриваемой поверхности, следует это соотношение умножить на площадь поверхности. Поскольку площадь поверхности круглого проводника связана с его длиной L и диаметром соотношением π dL, окончательно получаем:

$$\Delta Q_{\Sigma} = \frac{LI^2}{2\pi dne\lambda c^2}.$$

Если при помощи такого заряда зарядить конденсатор с емкостью *C*, то разность потенциалов на клеммах конденсатора будет равна

$$U = \frac{LI^2}{2C\pi dne\lambda c^2}.$$
(3.8)

Получена квадратичная зависимость между током, текущим через сверхпроводящую проволоку и потенциалом, что и наблюдается в рассмотренных экспериментах. В это соотношение входят известные табличные величины, параметры цепи и ток, текущий через сверхпроводящую обмотку. Если такой контур поместить в металлический экран, то электрические поля обмотки наведут на этом экране потенциал.

В первом разделе было получено соотношение (1.1), определяющее электротоковую разность потенциалов, но расчеты показали, что величина этой разности потенциалов на три порядка ниже, чем значения потенциалов, полученных в эксперименте. Поэтому указанную разность потенциалов можно не учитывать.

Соотношение (3.8) объясняет квадратичную зависимость между потенциалом и током, вводимом в малоиндуктивную обмотку током. Однако вычисленные при помощи этого соотношения абсолютные величины потенциалов оказываются в несколько раз большими, чем наблюдаемые в эксперименте.

Такие расхождения связаны с тем, что при расчетах мы считали, что электрические поля образуют заряды плоской поверхности не ограниченной в размерах. Это означает, что такие поля однородны вдоль плоскости и их величина не зависит от расстояния до поверхности. В действительности же электрические поля образуют кольцевые проводники разных диаметров, поэтому их электрические поля сильно зависят от расстояния от этих колец, с этим и связаны имеющиеся расхождения.

4. Заключение

В статье рассмотрено новое физическое явление электротоковая контактная разность



Рис. 11. Экспериментальные результаты, полученные по схеме Variation II

ИНЖЕНЕРНАЯ ФИЗИКА № 2. 2015.

потенциалов, величина которой зависит от тока, текущего по проводнику. К сожалению, расчетные значения электротоковой контактной разность потенциалов оказались значительно ниже потенциалов, наблюдаемых в эксперименте. Проведенные эксперименты и расчеты показали, что обнаруженная электризация сверхпроводящих обмоток и торов находит свое объяснение в концепции скалярно-векторного потенциала, разработанной автором. Эта концепция предполагает зависимость скалярного потенциала заряда от скорости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Edwards W.F., Kenyon C.S., Lemon D.K. Continuing investigation into possible electric arising from steady conduction current. Phys. Rev. D 14, 922,1976.
- Roser W.G.V. Second-Order Electric Field due to a Conducting Curent. American Journal of Physics. 1962. Vol. 30. № 7.
- Don A. Baker. Second-Order Electric Field due to a Conducting Curent. American Journal of Physics. 1964. Vol. 32. № 2.
- Mende F.F. On refinement of equations of electromagnetic induction. Kharkov, deposited in VINITI. No 774 – B88 Dep. 1988.
- Mende F.F. On secondary electric fields excited at direct currents flowing through superconductors. Kharkov, deposited in VINITI 05.11.92. No. 3182 – B92. Dep., 1992.
- Mende F.F. Experimental corroboration and theoretical interpretation of dependence of charge velocity on DC flow velocity through superconductors. Proceedings International Conference «Physics in Ukraine». Kiev 22–27 June 1993.
- Менде Ф.Ф. Новая электродинамика. Революция в современной физике. Харьков: НТМТ, 2012, 172 с.
- 8. Mende F.F. On refinement of certain laws of classical electrodynamics. arXiv.org/abs/physics/0402084.

- Mende F.F. Conception of the scalar-vector potential in contemporary electrodynamics. arXiv.org/abs/ physics/0506083.
- Менде Ф.Ф. Новые подходы в современной классической электродинамике. Ч. II // Инженерная физика. 2013. № 2.

REFERENCES

- 1. Edwards W.F., Kenyon C.S., Lemon D.K. Continuing investigation into possible electric arising from steady conduction current. Phys. Rev. D 14, 922,1976.
- Roser W.G.V. Second-Order Electric Field due to a Conducting Curent. American Journal of Physics. 1962. Vol. 30. № 7.
- Don A. Baker. Second-Order Electric Field due to a Conducting Curent. American Journal of Physics. 1964. Vol. 32. № 2.
- Mende F.F. On refinement of equations of electromagnetic induction. Kharkov, deposited in VINITI. No 774 – B88 Dep. 1988.
- Mende F.F. On secondary electric fields excited at direct currents flowing through superconductors. Kharkov, deposited in VINITI 05.11.92. No. 3182 – B92. Dep., 1992.
- Mende F.F. Experimental corroboration and theoretical interpretation of dependence of charge velocity on DC flow velocity through superconductors. Proceedings International Conference «Physics in Ukraine». Kiev 22–27 June 1993.
- Менде Ф.Ф. Novaya elektrodinamika. Revolyutsiya v sovremennoy fizike [New electrodynamics. Revolution in the modern physics]. Kharkov: NTMT [Kharkov: Publishing house «NTMT»], 2012, 172 с.
- 8. Mende F.F. On refinement of certain laws of classical electrodynamics. arXiv.org/abs/physics/0402084.
- Mende F.F. Conception of the scalar-vector potential in contemporary electrodynamics. arXiv.org/abs/ physics/0506083.
- Mende F.F. Novie podhodi v sovremennoi klassicheskoi elektrodinamike [New approaches in contemporary classical electrodynamics. Part II]. Inchenernaj fizika [Engineering Physics]. 2013. № 2.

Сведения об авторе

Менде Федор Федорович, доктор техн. наук, директор E-mail: mende_fedor@mail.ru НИИ Криогенного приборостроения Физико-технический институт низких температур им. Б.И. Веркина НАН Украины 61103, Украина, Харьков, пр. Ленина, 47

Information about authors

Mende Fedor F., Doctor of Techn. Sciences, Director E-mail: mende_fedor@mail.ru Research institute for cryogenic instrument engineering B.I. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering NAS Ukraine 61103, Kharkov, Ukraine, Lenin Ave., 47