Uzbek Journal of Physics

Vol.20(№1) 2018 PP.66-68

ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ

МАГНИТНЫЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В СВЕРХПРОВОДНИКАХ

Н.А. Тайланов[1], С.А. Саттаров[2], У.Ю. Юлдашев[2], Б.И. Хамдамов[2], М.Х. Самадов[3]

[1]Джизакский педагогический институт, Джизак, Узбекистан
[2]Джизакский политехнический институт, Джизак, Узбекистан
[3]Национальный университет РУз, Ташкент, Узбекистан samadov.maqsud@mail.ru
(Получена 06.10.2017)

Ўта-ўтказгичларда магнит оқимининг кириш динамикаси вольт-ампер характеристиканинг ночизиқли ҳолати учун назарий жиҳатдан ўрганилган. Ўта-ўтказувчан намуна параллел магнит майдонида жойлашган деб фараз қилиниб, магнит оқимининг ўта-ўтказгичга кириш формуласи ҳосил қилинган. Фазо ва вакт бўйича эволюция жараенинини ифодаловчи аниқ ечим олинган.

В работе рассматривается диффузионная задача о проникновении магнитного потока в сверхпроводник с учетом нелинейной вольтамперной характеристики сверхпроводников, справедливой в области малых полей и в режиме крипа потока. Получено точное аналитическое решение, описывающее пространственную и временную эволюции проникновения магнитного поля в сверхпроводник.

In this work the theoretical investigation of dynamics of magnetic flux prenetration into superconductors with nonlinear voltage-current characteristics and in conditions of creeping flow has been presented. The exact analytical solution describing the spatial and temporal prenetration of magnetic field in superconductors is obtained.

Изучение динамики проникновения магнитного потока в глубь сверх-проводника с нелинейной вольтамперной характеристикой в режиме крипа потока является важной задачей технической сверхпроводимости. Математически задача может быть сформулирована на основе системы нелинейных эволюционных уравнений для электромагнитного поля с учетом нелинейного соотношения между полем и током в сверхпроводнике [1-5].

В данной работе рассматривается диффузионная задача о проникновении магнитного потока в сверхпроводник с учетом нелинейной вольтамперной характеристики сверхпроводников, справедливой в области малых эклектических полей и в режиме крипа потока. Получено точное аналитическое решение, описывающее пространственную и временную эволюцию проникновения магнитного и электрического полей и плотность тока.

Для моделирования процесса эволюции возмущений электромагнитного поля в пространстве и времени используется система уравнений макроскопической электродинамики [1]. Взаимосвязь между магнитной индукцией $\vec{B}$, электрическим полем $\vec{E}$ и плотностью транспортного тока $\vec{j}$ устанавливается уравнениями Максвелла:

$$\mathrm{rot}\,\vec{B}=4\pi\vec{j}/c\,, \tag{1}$$

$$\mathrm{rot}\vec{E}=-(1/c)(d\vec{B}/dt)\,. \tag{2}$$

Движение вихревых нитей со скоростью v приводит к возникновению электрического поля

$$\vec{E}=v\vec{B}/c\,. \tag{3}$$

Согласно теории Андерсона [5], термоактивационное движение вихрей может быть описано соотношением

$$v=v_0\exp(-U/k_BT)\,, \tag{4}$$

где v_0 – скорость вихрей при $T=0$; U – энергия активации при тепловом движении вихрей, которая зависит от механизма пиннинга; T – температура и k_B – постоянная Больцмана. Энергия активации $U=U(\vec{j},\vec{B},T)$ зависит от температуры T, индукции магнитного поля $\vec{B}$ и плотности тока. Феноменологическое равенство для функции $\vec{E}(\vec{j})$ может быть выбрано в виде

$$\vec{E}=v_0|B|\left|\vec{j}/j_c\right|^n\vec{j}\,.$$

При n=1 последнее уравнение описывает режим вязкого течения потока. При достаточно больших значениях n последнее определяет критическое состояние Бина $j_B=j_c(B_e)$ [1]

$$j_c(B)=j_0(B_0/B)^{\gamma}\,, \tag{5}$$

где j_0 и B_0 – характеристические значения плотности тока и индукции магнитного поля; γ – безразмерный параметр, характеризующий пиннинг; $0<\gamma<1$.

Из концепции критического состояния непосредственно следует параллельность плотности тока и электрического поля $\vec{j}\parallel\vec{E}$. Для такой геометрии пространственная и временная эволюции индукции магнитного поля $\vec{B}$ описываются следующим диффузионным уравнением

$$\frac{db}{dt}=\frac{d}{dt}\left[b^{\gamma n+1}\left|\frac{db}{dt}\right|^{n-1}\frac{db}{dt}\right], \tag{6}$$

где мы ввели следующие безразмерные параметры: $b=B/B_0$, $x_p=\mu_0 j_0x/B_0$, $t=t/\tau_0$, $j=j/j_0$, $\varepsilon=E/v_0j_0$, $B_0=\mu_0j_0v_0\tau$. Для решения задачи (1)-(4) будем использовать инварианты вида

$$b(x,t)=t^{\alpha}f(x/t^{\beta})\,. \tag{7}$$

Здесь параметры α и β удовлетворяют соотношению $\alpha+1=\beta+\alpha(\gamma n+1)+\alpha n+\beta n$. Подставляя решение (7) в уравнение (6), получим следующее дифференциальное уравнение для новой функции $f(z)$

$$\frac{d}{dz}\left[f^{\gamma n+1}\left|\frac{df}{dz}\right|^n\right]+\frac{1}{2n+\gamma n+1}\frac{d}{dz}\left[z\frac{df}{dz}\right]=0\,. \tag{8}$$

Дальнейшее интегрирование уравнения (8) с учетом граничных условий (7) приводит к следующему решению задачи

$$f(z)=f(z_0)\left[1-(z/z_0)^{(n+1)/n}\right]^{1/(\gamma+1)}, \tag{9}$$

где

$$f(z_0)=\left[n\frac{\gamma+1}{n+1}\left(\frac{z_0^{n+1}}{2n+\gamma n+1}\right)^{1/n}\right]^{1/(\gamma+1)}.$$

Полученное решение (9) описывает проникновение магнитного потока в глубь сверхпроводника в интервале $0 < x < x_p$ в режиме крипа потока со степенной вольтамперной характеристикой. Таким образом, мы изучали задачу о проникновении магнитного поля в высокотемпературный сверхпроводник второго рода, который находится в режиме крипа потока во внешнем магнитном поле. Показано, что магнитное поле на границе сверхпроводника возрастает с течением времени в режиме с обострением.

ЛИТЕРАТУРА

1. C.P. Bean, Phys. Rev. Lett. **8**, 250 (1962).
2. P.W. Anderson, Y.B. Kim, Rev. Mod. Phys. **36**, 3456 (1964).
3. L.D. Landau, E.M. Lifshitz. Fluid Mechanics (Pergamon, Oxford, 1987).
4. J. Gilchrist, C.J. Van der Beek, Physica C **27**, 231 (1994).
5. Samarskii, V.A. Galaktionov, S.P. Kurdjumov, and A.S. Stepanenko. Peaking Regimes for Quasilinear Parabolic Equations (Nauka, Moskow, 1987).