

ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

УЛЬЯНОВ Николай Владимирович



СПИНОВЫЕ ВОЛНЫ В НЕФЕРРОМАГНИТНЫХ МЕТАЛЛАХ
С КВАЗИЛОКАЛЬНЫМИ СОСТОЯНИЯМИ ЭЛЕКТРОНОВ

01.04.07 - физика твердого тела

01.04.11 - магнетизм

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

ХАРЬКОВ - 1995



00755644 (V) *дирекція рукописів*

Робота виконана в Харківському державному університеті

АВ 33.805

Научный руководитель - доктор физ.-мат. наук, профессор
Ермолаев Александр Михайлович

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук, профессор
Вакай Александр Степанович
(ННЦ ХФТИ, г.Харьков)

доктор физ.-мат. наук, профессор
Вланк Александр Яковлевич
(Радиоастрономический институт
НАН Украины, г.Харьков)

Ведущая организация: Институт радиопизики и электроники
НАН Украины (г.Харьков)

Защита состоится "16" февраля 1996 г. в 16⁰⁰ часов на
заседании специализированного совета Д 02.02.15
Харьковского государственного университета (310077,
г.Харьков, пл.Свободы, 4, ауд. им. Синельникова).

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной
библиотеке ХГУ.

Автореферат разослан "15" февраля 1996 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

В.П.Пойда

Актуальность темы и степень исследования тематики диссертации. Квазилокальные состояния электронов на примесных атомах оказывают существенное влияние на свойства спиновых волн в неферромагнитных металлах в магнитном поле. На возможность распространения спиновых волн в таких металлах без квазилокальных состояний указал В.П.Силин в 1958 г. В 1967 г. они были обнаружены экспериментально в щелочных металлах.

Причиной существования спиновых волн в неферромагнитных металлах в магнитном поле является обменное взаимодействие коллективизированных носителей. Эти волны существуют за счет спинового резонанса электронов проводимости, образующих вырожденную ферми-жидкость. Другие резонансы приводят к новым ветвям спектра коллективных возбуждений спиновой системы металла. Например, вблизи частот резонансных переходов электронов между спиноворасщепленными магнитопримесными уровнями и уровнями Ландау существуют слабозатухающие колебания спиновой намагниченности, названные магнитопримесными спиновыми волнами. Физической причиной существования этих волн является стимулированная магнитным полем локализация электронов на изолированных примесных атомах. Локализация ослабляет диссипативные процессы и приводит к возможности распространения новых типов спиновых волн, которые в чистых образцах отсутствуют.

Волны такого типа должны существовать и в том случае, когда локализация электронов обусловлена лишь примесными атомами и не связана с магнитным полем. Предсказать такие спиновые волны, исследовать их свойства и разработать методы экспериментального обнаружения этих волн - актуальная задача физики твердого тела.

Цель работы и основные задачи исследования. Целью работы было выяснение того, как квазилокальные состояния электронов на примесных атомах в неферромагнитных металлах влияют на характеристики спиновых волн при наличии магнитного поля. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- методом температурных функций Грина, который использу-

ется для расчета характеристик квазилокальных состояний и спиновых волн в металлах, найти новые резонансные вклады в компоненты тензора динамической спиновой восприимчивости электронов с квадратичным изотропным и анизотропным законом дисперсии;

- предсказать новые ветви спектра спиновых волн в неферромагнитных металлах с квазилокальными состояниями электронов в магнитном поле;

- предложить магнитное рассеяние нейтронов на этих волнах в качестве метода экспериментального обнаружения новых типов спиновых волн.

Научная новизна работы. В ходе выполнения диссертационной работы впервые получен ряд новых научных результатов:

- рассчитаны компоненты тензора динамической спиновой восприимчивости электронов проводимости в неферромагнитных металлах с квазилокальными состояниями носителей на примесных атомах в магнитном поле, которые содержат новые резонансные вклады, обусловленные переходами электронов между квазилокальными уровнями и уровнями Ландау, индуцированными переменным магнитным полем;

- обнаружены новые резонансные вклады у компонент тензора динамической спиновой восприимчивости нормальных металлов с квазилокальными состояниями электронов, поверхность Ферми которых имеет вид эллипсоида вращения. Эти вклады зависят от угла между направлением вектора напряженности магнитного поля, в которое помещен металл, и осью вращения эллипсоида;

- при исследовании процессов распространения волн в неферромагнитных металлах с квазилокальными состояниями электронов на примесных атомах в магнитном поле предсказаны новые ветви в спектре поперечных спиновых волн. Полосы прозрачности этих волн лежат вблизи частот резонансных переходов электронов между квазилокальными уровнями и уровнями Ландау, сопровождающихся перебросом спина. Вычислены характеристики новых типов волн: поляризация, спектр, декремент затухания;

- впервые исследовано влияние квазилокальных состояний электронов на спектр и затухание квантовых спиновых волн в неферромагнитных металлах в магнитном поле. Показано, что в этом случае происходит перестройка спектра спиновых волн в

области пересечения дисперсионной кривой спиновой волны с частотой резонансных переходов электронов между квазилокальными уровнями и уровнями Ландау, сопровождающихся перебро- сом спина. В окнах прозрачности появляются новые ветви кван- товых спиновых волн. Вычислены спектр и затухание этих волн; - в энергетическом спектре неупругого магнитного рассея- ния нейтронов на спиновых волнах в нормальных металлах с квазилокальными состояниями электронов в магнитном поле об- наружены новые резонансные особенности. Впервые вычислено дифференциальное сечение магнитного рассеяния нейтронов с возбуждением спиновых волн нового типа.

Теоретическая и практическая ценность работы. Результаты, изложенные в диссертации, расширяют представления о коллек- тивных спиновых возбуждениях в неферромагнитных металлах с квазилокальными состояниями электронов на примесных атомах в магнитном поле и дают вклад в развитие теории спиновых волн в твердых телах. Практическое значение работы определяется возможностью использования развитых в ней положений о новых ветвях спектра спиновых волн, распространяющихся в неферро- магнитных металлах, при разработке принципов создания новых функциональных материалов с заданными свойствами для твердо- тельной микроэлектроники.

НА ЗАЩИТУ ВНОСЯТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ:

1. Динамическая спиновая восприимчивость электронов про- водимости в неферромагнитных металлах с квазилокальными сос- тояниями носителей на примесных атомах в магнитном поле име- ет резонансные особенности на частотах переходов электронов между квазилокальными уровнями и уровнями ландау, индуциро- ванных переменным магнитным полем.

2. Резонансный вклад в тензор динамической спиновой вос- приимчивости электронов с квазилокальными состояниями в ме- таллах, поверхность Ферми которых имеет вид эллипсоида вра- щения, зависит от ориентации вектора напряженности магнитно- го поля относительно оси вращения эллипсоида.

3. В неферромагнитных металлах с квазилокальными состоя- ниями электронов в магнитном поле существуют новые ветви

спектра поперечных спиновых волн. Их частоты лежат в полосах прозрачности вблизи частот резонансных переходов локализованных электронов на уровни Ландау, сопровождающихся перебро-сом спина. Характеристики этих волн (закон дисперсии, декремент затухания, поляризация) зависят от параметров квазилокальных состояний.

4. Квазилокальные состояния электронов в поле примесных атомов влияют на спектр и затухание квантовых спиновых волн в неферромагнитных металлах в магнитном поле. В области пересечения дисперсионной кривой спиновой волны с частотой резонансных переходов электронов между квазилокальными уровнями и уровнями Ландау происходит перестройка спектра квантовых спиновых волн. Вместо одной ветви в каждом окне прозрачности существуют две ветви спектра волн.

5. Неупругое магнитное рассеяние нейтронов в неферромагнитных металлах с квазилокальными состояниями электронов на примесных атомах в магнитном поле приводит к возбуждению спиновых волн, которые слабо затухают в полосах прозрачности вблизи частот резонансных переходов электронов между квазилокальными уровнями и уровнями Ландау. Расчет дифференциального сечения магнитного рассеяния нейтронов этими волнами показывает, что в энергетическом спектре рассеянных нейтронов присутствует серия лоренцевских сателлитов, которые расположены симметрично относительно несмещенной линии.

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 14 работах.

Личный вклад соискателя. Лично соискателю принадлежит следующее: расчет тензора динамической спиновой восприимчивости неферромагнитных металлов с квазилокальными состояниями электронов на примесных атомах в магнитном поле; обнаружение резонансных особенностей компонент этого тензора на частотах переходов электронов между квазилокальными уровнями и уровнями Ландау; расчет тензора динамической спиновой восприимчивости металлов с анизотропной поверхностью Ферми с учетом квазилокальных состояний электронов; предсказание новых ветвей спектра спиновых волн в неферромагнитных металлах с квазилокальными состояниями электронов в магнитном поле; расчет характеристик новых типов спиновых волн - поляриза-

ции, закона дисперсии, декремента затухания, ширины полос прозрачности; исследование свойств квантовых спиновых волн в металлах с квазилокальными состояниями электронов в магнитном поле; расчет дифференциального сечения магнитного рассеяния нейтронов на новых спиновых волнах; обнаружение новых максимумов сечения рассеяния в энергетическом спектре рассеянных нейтронов.

Апробация работы. Материалы диссертации доложены и обсуждены на следующих научных конференциях:

"Физические явления в твердых телах", Харьков, 1993; к 40-летию физического факультета Львовского госуниверситета, Львов, 1993; "Physics in Ukraine", Киев, 1993; EPS 9 "Trends in Physics", Флоренция, 1993; "Применение персональных компьютеров в научных исследованиях и учебном процессе", Харьков, 1994; GSCMD 14, Мадрид, 1994; "Теория конденсированного состояния", Харьков, 1994; "Физика магнитных явлений", Донецк, 1994; ICM-94, Варшава, 1994; "Физические явления в твердых телах", Харьков, 1995.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из четырех глав, заключения и списка литературы. Она содержит 146 страниц машинописного текста, включая 12 рисунков, библиографию из 84 наименований и 2 приложения.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определена цель работы, обсуждаются научная новизна полученных результатов и их практическое значение, сформулированы выносимые на защиту положения.

В первой главе "Резонансные состояния электронов и спиновые волны в ферми-жидкости неферромагнитных металлов" сделан краткий обзор исследований, посвященных изучению проблем физики квазилокальных и магнитоприменных состояний на примесных атомах в металлах, а также рассматриваются свойства разных типов спиновых волн, распространяющихся в неферромагнитных металлах в магнитном поле. Так, в первом параграфе развивается теоретическое описание квазилокальных состояний электронов в проводниках с малой концентрацией примесей, ос-

нованное на использовании удобного математического аппарата - метода температурных, или мацубаровских, функций Грина. На основе этого метода сделан ряд важных для дальнейшего физического описания свойств спиновых волн в неферромагнитных металлах заключений о характеристиках квазилокальных уровней - положениях и ширинах резонансов, вычетах амплитуды рассеяния электронов примесным атомом в полюсах. Показано, какие изменения вносят резонансы электронов проводимости в плотность электронных состояний. В частности, при малой величине плотности состояний чистого образца электрон и примесь могут образовывать "связанное состояние", которое обладает положительной энергией и, комбинируя с состояниями сплошного спектра с той же энергией, приводит к образованию квазилокального уровня, имеющего за счет этого процесса некоторую ширину Γ . Можно считать, что электроны захватываются на какое-то время на квазилокальный уровень, а затем испускаются.

Параллельно с квазилокальными рассматриваются магнитопримесные электронные состояния. Физической причиной образования этих резонансных состояний в металлах является локализация электронов на изолированных примесных атомах, стимулированная магнитным полем.

Второй параграф посвящен рассмотрению свойств спиновых волн в неферромагнитных образцах без квазилокальных состояний. Эти волны могут распространяться за счет обменного взаимодействия коллективизированных электронов. На основе исследования решений кинетического уравнения для векторной спиновой плотности электронов удается найти характеристики спиновых волн - закон дисперсии, декремент затухания, поляризацию. Например, предельная частота поперечных волн с "правой" круговой поляризацией равна $\Omega_0(1 - \beta_0)$, где Ω_0 - частота спинового резонанса электронов, а β_0 - константа, которой аппроксимируется функция взаимодействия квазичастиц ферми-жидкости. Декремент затухания этих волн пропорционален частоте релаксации спиновой намагниченности электронов.

Вторая глава "Тензор динамической спиновой восприимчивости металлов с квазилокальными состояниями электронов в магнитном поле" посвящена исследованиям высокочастотных свойств

электронной ферми-жидкости нормального проводника с малой концентрацией примесных атомов при наличии квантующего магнитного поля. Компоненты тензора динамической спиновой восприимчивости электронов, имеющего особенность на частоте парамагнитного резонанса, выписаны в первом параграфе. Квазилокальные состояния носителей в работах, обзор которых дан в этом параграфе, учтены не были. В этом разделе приведено дисперсионное уравнение для спектра спиновых волн в приближении случайных фаз:

$$1 - \frac{\Gamma}{2\mu^2} \chi_-(\vec{q}, \omega) = 0, \quad (1)$$

где Γ - константа ферми-жидкостного взаимодействия, μ - магнитный момент электрона, χ_- - циркулярная компонента динамической спиновой восприимчивости электронов, зависящая от волнового вектора \vec{q} и частоты ω .

Во втором параграфе рассматривается влияние квазилокальных состояний электронов на компоненты тензора динамической спиновой восприимчивости неферромагнитного металла в магнитном поле. Впервые обнаружены резонансные вклады в эти компоненты на частотах резонансных переходов электронов между квазилокальным уровнем и уровнями Ландау, индуцированных переменным магнитным полем. Например, на частоте таких переходов с перебросом спина $\downarrow \rightarrow \uparrow$, равной

$$\omega_{zn} = \omega_0 + \Omega_0 + n\Omega \quad (2)$$

($\hbar\omega_0$ - расстояние между квазилокальным уровнем и ближайшим к нему уровнем Ландау, который лежит выше, \hbar - постоянная Планка, Ω - циклотронная частота, $n = 0, 1, 2, \dots$ - номер резонанса), резонанс имеет компонента χ_- . Вблизи резонанса она содержит вклад:

$$\delta\chi_- = \chi_p a_n^-(q) i \left(\frac{\omega_{zn}}{\omega - \omega_{zn} + i\frac{\Gamma}{\hbar}} \right)^{\frac{1}{2}},$$

где χ_p - восприимчивость Паули. Силы осцилляторов резонансных переходов электронов в пренебрежении простран-

венной дисперсией ($q = 0$) равны

$$a_n^- = \frac{\pi \hbar \Omega \tau_i n_i}{2 (\hbar \omega_n)^2 (\epsilon_F \hbar \omega_{zn})^{1/2}} \left[f(\epsilon_{z\uparrow}) - f(\epsilon_{z\downarrow} + \hbar \omega_{zn}) \right].$$

Здесь τ_i - вычет амплитуды рассеяния электронов примесным атомом в полюсе, n_i - концентрация примесей, $\omega_n = \omega_0 + n\Omega$, ϵ_F - энергия Ферми, $\epsilon_{z\uparrow}$ - положение квазилокального уровня со спином "вниз", $f(\epsilon)$ - функция Ферми. Закон дисперсии электронов при этом считается изотропным и квадратичным.

В третьем параграфе исследуются проводники, в которых поверхность Ферми имеет вид эллипсоида вращения. В результате оказывается: анизотропия энергетического спектра носителей приводит к тому, что резонансные компоненты тензора динамической спиновой восприимчивости электронов с квазилокальными состояниями на примесных атомах зависят от угла между вектором напряженности магнитного поля, в которое помещен образец, и осью вращения эллипсоида.

В третьей главе "Спиновые волны в неферромагнитных металлах с квазилокальными состояниями электронов в магнитном поле" рассматриваются колебания спиновой намагниченности в нормальных металлах с малой концентрацией примесных атомов, приводящих к образованию квазилокальных состояний электронов, существующих и в отсутствие магнитного поля. Если в дисперсионном уравнении для спиновых волн (1) учесть квантование Ландау и квазилокальные состояния электронов, а также ферми-жидкостные эффекты, то вблизи частот резонансных переходов электронов между квазилокальными уровнями и уровнями Ландау, сопровождающихся перебросом спина, удастся предсказать новые ветви спектра спиновых волн. Свойства поперечных спиновых волн нового типа исследуются в первом параграфе. Тут же рассчитаны их характеристики - закон дисперсии, декремент затухания, поляризация. Например, вблизи частот (2) предсказаны новые ветви поперечных спиновых волн с "правой" круговой поляризацией. Их спектр имеет вид

$$\omega_n(q) = \omega_{zn} \left\{ 1 - \left[a_n^- v_n \frac{\omega_n / \omega_{zn}}{1 + \frac{b_n}{3} \left(\frac{qv_F}{\omega_n} \right)^2} \right]^2 \right\},$$

а декремент затухания -

$$\gamma_n(q) = \frac{\Gamma_n}{\hbar} + 2v_z (a_n^-)^2 v_n^3 \frac{\Omega_0 \omega_n}{\omega_{zn}^2} \times$$

$$\times \left[1 + \frac{b_n}{3} \left(\frac{qv_F}{\omega_n} \right)^2 \right]^{-3}. \quad (3)$$

Здесь

$$v_n = \frac{\omega_{zn} |B_0|}{\omega_n + \Omega_0 |B_0|}$$

v_F - скорость электронов на границе Ферми, а v_z - частота релаксации спиновой намагниченности. Волны слабо затухают в полосах прозрачности ширины

$$\Delta \omega_n = \omega_{zn} \left(a_n^- v_n \frac{\omega_n}{\omega_{zn}} \right)^2.$$

Во втором параграфе выяснено, как характеристики новых типов спиновых волн зависят от угла между вектором напряженности магнитного поля и направлением распространения волны. Показано, что существует критический угол, при котором нормальная дисперсия волн сменяется аномальной.

В третьем параграфе третьей главы исследуется влияние квазилокальных состояний электронов на изолированных примесных атомах в неферромагнитных металлах в квантующем магнитном поле на свойства медленных поперечных квантовых спиновых волн, фазовая скорость которых не превышает скорости фермиевских электронов на последней заполненной трубке Ландау. Показано, что в области пересечения дисперсионной кривой квантовой спиновой волны с частотой резонансных переходов электронов между квазилокальными уровнями и уровнями Ландау возникает кроссовая ситуация, сопровождающаяся перестройкой спектра волн. Показано, что дисперсия волн нормальная, а де-

кремент определяется шириной квазилокального уровня и частотой релаксации спиновой намагниченности электронов.

Изучению процессов неупругого магнитного рассеяния нейтронов спиновым током коллективизированных электронов в нормальных металлах посвящена четвертая глава "Магнитное рассеяние нейтронов в неферромагнитных металлах с квазилокальными состояниями электронов".

В первом параграфе сделан обзор работ, в которых рассматривается связь сечения магнитного рассеяния нейтронов с тензором динамической спиновой восприимчивости носителей.

Во втором параграфе рассматривается также рассеяние медленных нейтронов коллективными возбуждениями спиновой системы неферромагнитного металла - новыми типами спиновых волн, изученных в третьей главе. Обнаружены новые симметричные максимумы сечения. Вблизи частот (2) величина η -го максимума пропорциональна

$$h_n = \frac{2}{(\Gamma g_F)^2 a_n} \left(\frac{\Delta \omega_n}{\omega_{zn}} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{\Delta \omega_n}{\gamma_n}, \quad (4)$$

где g_F - плотность электронных состояний на границе Ферми. Ширина максимума совпадает с декрементом затухания волн (3).

В заключении кратко резюмированы основные выводы и результаты диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации исследовано влияние квазилокальных состояний электронов в поле примесных атомов на свойства спиновых волн в неферромагнитных металлах в магнитном поле. Получены следующие результаты:

1. Квазилокальные состояния оказывают существенное влияние на компоненты тензора динамической спиновой восприимчивости электронов. В работе обнаружены корневые особенности восприимчивости на частотах переходов электронов между квазилокальными уровнями и уровнями Ландау, индуцированных переменным магнитным полем. Эти особенности обусловлены особенностями плотности состояний электронов на уровнях Ландау, участвующих в резонансных переходах.

2. Выполнен расчет тензора динамической спиновой восприимчивости металлов с анизотропной поверхностью Ферми с учетом квазилокальных состояний электронов. Показано, что характер особенностей восприимчивости сохраняется, но силы осцилляторов резонансных переходов зависят от ориентации магнитного поля относительно кристаллографических осей.

3. Предсказаны новые ветви в спектре спиновых волн в неферромагнитных металлах с квазилокальными состояниями электронов в магнитном поле. Соответствующие им поперечные спиновые колебания слабо затухают в полосах прозрачности, расположенных вблизи резонансных частот. Вычислены характеристики новых типов спиновых волн: поляризация, спектр, декремент затухания, ширины полос прозрачности.

4. Исследовано влияние квазилокальных состояний электронов на свойства квантовых спиновых волн в неферромагнитных металлах в магнитном поле. Показано, что квазилокальные состояния приводят к удвоению числа ветвей спектра квантовых спиновых волн в каждом окне прозрачности. Найдены характеристики новых ветвей спектра спиновых волн - поляризация, затухание, закон дисперсии.

5. Предложен метод обнаружения новых типов спиновых волн в опытах с медленными нейтронами. Вычислено дифференциальное сечение неупругого магнитного рассеяния нейтронов на предсказанных в работе спиновых волнах. В энергетическом спектре рассеянных нейтронов обнаружены новые максимумы сечения рассеяния.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В РАБОТАХ

1. Ермолаев А.М., Ульянов Н.В. Новый тип спиновых волн в нормальных металлах с квазилокальными состояниями электронов // ФНТ.- 1992.- Т.18, N 12.- С. 1375-1377.
2. Ермолаев А.М., Ульянов Н.В. Магнитное рассеяние нейтронов в нормальных металлах с квазилокальными состояниями электронов // ФТТ.- 1992.- Т.34, N 6.- С. 1676-1679.
3. Ермолаев А.М., Ульянов Н.В. К теории спиновых волн в неферромагнитных металлах с квазилокальными состояниями

- электронов // ФНТ.- 1993.- Т.19, N 7.- С. 812-815.
4. Ермолаев А.М., Ульянов Н.В. Спиновые волны в неферромагнитных металлах с квазилокальными состояниями электронов в квантующем магнитном поле // ФНТ.- 1994.- Т.20, N 4.- С. 366-370.
 5. Ермолаев А.М., Ульянов Н.В., Шурдук А.И. Электромагнитные и спиновые волны в проводниках с квазилокальными состояниями электронов // Физические явления в твердых телах. Материалы конференции 2-4 февраля 1993 г.- Харьков: ХГУ, 1993.- С.4.
 6. Ермолаев О.М., Ульянов М.В., Шурдук А.И. Новый тип электронных хвиль в металлах // Ювілейна наукова конференція, присвячена 40-річчю фізичного факультету. Тези доповідей 27-28 травня 1993 р.- Львів: ЛДУ, 1993.- С. 62.
 7. Ermolaev A.M., Shurduck A.I. and Ulyanov N.V. New type of electron waves in normal metals // Physics in Ukraine International Conference. Kiev, 22-27 June 1993. Proceedings Contributed Papers. Solid State Physics.- Kiev: Bogolyubov Institute for Theoretical Physics, 1993.- P. 59.
 8. Ermolaev A.M., Rashba G.I., Shurduck A.I. and Ulyanov N.V. The new type of waves in Fermi-liquid of nonferromagnetic metals // Trends in Physics. Firenze (Italy), 14-17 September, 1993. Abstracts.- Firenze: European Physical Society 9, 1993.- P. 143.
 9. Ермолаев А.М., Ульянов Н.В. К моделированию спиновых волн в неферромагнитных металлах с квазилокальными состояниями электронов // Применение персональных компьютеров в научных исследованиях и учебном процессе. Материалы конференции 18-20 января 1994 г.- Харьков: ХГУ, 1994.- С. 16.
 10. Ermolaev A.M. and Ulyanov N.V. New type of electron spin waves in nonferromagnetic metals with resonance electron states // GCCMD 14. Madrid (Spain), 28-31 March 1994. Abstracts.- Madrid: GCCMD 14, 1994.- P. 329.
 11. Ермолаев А.М., Ульянов Н.В. Квантовые спиновые волны в металлах с квазилокальными состояниями электронов // VII Международный семинар "Физика магнитных явлений". Тезисы

- докладов 23-28 мая 1994 г. - Донецк: ДФТИ им. А.А.Галкина, 1994.- С. 121.
12. Ермолаев А.М., Ульянов Н.В. Медленные квантовые спиновые волны в неферромагнитных металлах с квазилокальными состояниями электронов // Теория конденсированного состояния (к 50-летию кафедры теоретической физики). Материалы конференции 24 мая 1994 г.- Харьков: ХГУ, 1994.- С. 41.
 13. Ermolaev A. and Ulyanov N. Quantum spin waves in metals with impurities //International Conference on Magnetism. Warsaw (Poland), 22-26 August 1994. Program and Abstracts.- Warsaw: ICM-94, 1994.- P. 106.
 14. Ермолаев А.М., Пилипченко О.В., Ульянов Н.В. Влияние резонансных состояний электронов на динамическую спиновую восприимчивость металлов с анизотропной поверхностью Ферми в магнитном поле // Физические явления в твердых телах. Материалы конференции 1-3 февраля 1995 г.- Харьков: ХГУ, 1995.- С. 10.

Ульянов М.В. Спінові хвилі у металі з квазілокальними станами електронів.

Дисертація у вигляді рукопису на здобуття наукового ступеню кандидата фізико-математичних наук за спеціальностями 01.04.07 - фізика твердого тіла та 01.04.11 - магнетизм, Харківський держуніверситет, Харків, 1996.

Захищається 14 наукових праць, що містять теоретичне дослідження впливу квазілокальних станів електронів на поширення спінових хвиль у неферромагнітних металах. Розглянуто вплив квазілокальних станів електронів на динамічну спінову сприйнятливість цих металів. Передбачено нові вітки спектру спінових хвиль, які зумовлено квазілокальними станами електронів. Розроблено метод експериментального виявлення нових типів спінових хвиль у дослідах з повільними нейтронами.

Ключові слова: домішкові атоми, квазілокальний стан, спінові хвилі, закон дисперсії, декремент загасання, переріз розсіювання, магнітне поле, магнітна сприйнятливість.

Ulyanov N.V. Spin waves in nonferromagnetic metals with quasilocal electron states.

The thesis in manuscript form for obtaining a candidate degree in physical and mathematical science in 01.04.07 - Solid State Physics and 01.04.11 - Magnetism specialities, Kharkov State University, Kharkov 1996.

14 scientific publications which contain the theoretical investigation of influence of quasilocal electron states on propagation of spin waves in nonferromagnetic metals are being defended. The effect of quasilocal states of electrons upon the dynamic spin susceptibility of these metals is considered. New branches of the spectrum of spin waves due to quasilocal electron states are predicted. The method of new wave type investigation in the experiments with slow neutrons is elaborated.

Key words: impurity atoms, quasilocal state, spin waves, dispersion law, damping decrement, scattering cross-section, magnetic field, magnetic susceptibility.