

На правах рукописи

РУСАКОВ Александр Евгеньевич

**ВЛИЯНИЕ СОБСТВЕННОГО МАГНИТНОГО
МОМЕНТА НА ПОВЕДЕНИЕ КЛАССИЧЕСКИХ
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Специальность 01.04.02 — теоретическая физика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва – 2006

Работа выполнена на физическом факультете Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор П. А. Поляков

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
А. Е. Храмов
доктор физико-математических наук,
М. А. Степович

Ведущая организация: Институт проблем управления РАН
им. В. А. Трапезникова

Защита состоится «19» октября 2006 г. в 16 час. на заседании Диссертационного Совета К 501.001.17 при Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова по адресу: 119992, ГСП-2, г. Москва, Воробьевы горы, МГУ, физический факультет, ауд. СФА.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке физического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова.

Автореферат разослан «19» октября 2006 г.

Ученый секретарь
Диссертационного Совета К 501.001.17

д. ф.-м. н.

П.А. Поляков

Общая характеристика работы

Актуальность темы диссертации обусловлена как фундаментальными проблемами теории спинового упорядочения электродинамических сред, так и наличием конкретных приложений в исследуемой области, например резонансного поведения плотной высокотемпературной плазменной среды, задачи анализа закономерностей возникновения и развития коллективных спиновых структур в ферромагнитных материалах, определения условий существования стационарного спинового упорядочения. Среди прикладных задач можно выделить создание и улучшение носителей информации большого объема (накопители на магнитных дисках и лентах), построение твердотельных запоминающих устройств на основе магнитных доменов, неразрушающий магнитный анализ различных объектов (дефектоскопия, магнитная энцефалоскопия, анализ магнитных неоднородностей в атмосфере и литосфере и др.), разработка миниатюрных датчиков магнитного поля, элементов радиофизических СВЧ-устройств (фильтры, вентили, спиновые транзисторы, резонаторы, поглотители).

Цель работы. Построение теории, описывающей влияние объектов, обладающих собственным магнитным моментом на поведение электродинамических систем в рамках классического подхода.

Научная новизна. В диссертационной работе установлено, что задача определения положения и ориентации магнитного диполя в пространстве с помощью двух троек датчиков не может быть решена для произвольного положения диполя, а именно: в некоторых областях шестимерного пространства координат и ориентаций диполя малые погрешности в определении магнитного поля могут повлечь за собой существенные отклонения в определении координат диполя и его магнитного момента. На основе анализа якобианов отображения определен вид этих областей.

Разработан метод, позволяющий без существенных вычислительных затрат проводить моделирование эволюции одномерных и двумерных доменных структур в ферромагнитной пленке.

Впервые получены дисперсионные кривые для релятивистской плазмы с анизотропным распределением электронов по скоростям с учетом влияния собственного магнитного момента для волн, распространяющихся перпендикулярно внешнему магнитному полю.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Обоснование возможности определения положения магнитного диполя с помощью двух троек датчиков.
2. Построение численного метода моделирования доменной структуры в тонкой ферромагнитной пленке.

3. Теория изменения формы дисперсионной ветви, обусловленной влиянием спина, в магнитоактивной плазме при релятивистских температурах.

Научная и практическая значимость. Результаты настоящей диссертации могут быть использованы в экспериментальных и теоретических исследованиях магнитных систем и плотных плазменных сред, при создании устройств на ферромагнитных элементах, для разработки устройств, использующих дистанционное определение положения объектов.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, приложения и списка литературы, включающего 104 наименования. Общий объем текста — 102 машинописных страницы. Работа содержит 14 рисунков.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 30 печатных работ, в том числе 17 статей в журналах и сборниках и 13 тезисов докладов на конференциях, список которых приведен в конце автореферата.

Апробация. Результаты диссертации докладывались на XVII–XX Международных школах-семинарах «Новые магнитные материалы микроэлектроники» (Москва, 2000 г., 2002 г., 2004 г., 2006 г.), XXVIII и XXX Звенигородских конференциях по физике плазмы и УТС (Звенигород, 2001 г., 2003 г.), Международных конференциях студентов и аспирантов по фундаментальным наукам «Ломоносов-2001» и «Ломоносов-2002» (Москва, 2001 г., 2002 г.), 1-ой Российской конференции молодых ученых по физическому материаловедению (Калуга, 2001 г.), VIII и X Всероссийских школах-семинарах по физике микроволн (Звенигород, Московская обл., 2001 г., 2005 г.), VIII и X Всероссийских школах-семинарах «Волновые явления в неоднородных средах» (Красновидово, Московская обл., 2002 г.; Звенигород, Московская обл., 2006 г.), XI и XIII Международной конференции по спиновой электронике и гировекторной электродинамике (Фирсановка, Московская обл., 2002 г., 2004 г.), XL Всероссийской конференции по проблемам математики, информатики, физики и химии (Москва, 2004 г.), Международной конференции МСС-04 «Трансформация волн, когерентные структуры и турбулентность» (Москва, 2004 г.), Moscow International Symposium on Magnetism (MISM-2005) (Москва, 2005 г.), III Международной конференции «Фундаментальные проблемы физики» (Казань, 2005 г.).

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, формулируется основная цель работы, представлен обзор современного состояния исследований по теме диссертации. Приводится структура и краткое содержание глав диссертации.

В первой главе диссертации проведено исследование задачи магнитной локации — определения положения намагниченного тела или нескольких тел посредством измерения

магнитного поля в некоторых точках пространства. Рассмотрен частный случай: определение положения магнитного диполя с помощью двух троек датчиков, каждый из которых определяет одну компоненту магнитного поля. Искомые значения координат диполя и его магнитного момента определяются следующей системой нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} \vec{H}_1 = \frac{3\vec{r}(\vec{r}\vec{p})}{r^5} - \frac{\vec{p}}{r^3} \\ \vec{H}_2 = \frac{3(\vec{r} - \vec{\Delta})(\vec{r} - \vec{\Delta})\vec{p}}{|\vec{r} - \vec{\Delta}|^5} - \frac{\vec{p}}{|\vec{r} - \vec{\Delta}|^3} \end{cases} \quad (1)$$

где $\vec{\Delta} = \{a, 0, 0\}$ — радиус-вектор второй тройки датчиков (первая тройка находится в начале координат), $\vec{r} = \{x, y, z\}$, $\vec{p} = \{p_x, p_y, p_z\}$, $\vec{H}_1 = \{H_{1x}, H_{1y}, H_{1z}\}$, $\vec{H}_2 = \{H_{2x}, H_{2y}, H_{2z}\}$. Как известно, однозначность такого отображения определяется якобианом

$$\begin{aligned} J &= \frac{\partial(H_{1x}, H_{1y}, H_{1z}, H_{2x}, H_{2y}, H_{2z})}{\partial(x, y, z, p_x, p_y, p_z)} = \\ &= \frac{a^3}{27r^{15}r_1^{15}} \left\{ p_x r^4 \left[2(p_y^2 + p_z^2)r^2 - (\vec{r}_1\vec{p})^2 + (\vec{r}_1\vec{p})(yp_y + zp_z) \right] + \right. \\ &\quad + r^2(\vec{r}\vec{p}) \left[x(\vec{r}_1\vec{p})^2 - 11p_x r^2(yp_y + zp_z) + p_x(\vec{r}_1\vec{p})(5r^2 - x^2) \right] - \\ &\quad - (\vec{r}\vec{p})^2 \left[5p_x r^2(3x^2 - r^2) + (\vec{r}_1\vec{p})((6r^2 - x^2)(2x - a) + 11xr^2) \right] + \\ &\quad + (\vec{r}\vec{p})^3 \left[r_1^2(7x - 2a) + r^2(27x - 10a) - 6(2x - a)(y^2 + z^2) \right] + \\ &\quad \left. + p^2 r^2 \left[(\vec{r}\vec{p})(2x - a)(r^2 + 2r_1^2 + x^2) - (\vec{r}_1\vec{p})(2x - a)(r^2 + x^2) - r^2 p_x(3r^2 + x^2) \right] \right\}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\vec{r}_1 = \vec{r} - \vec{\Delta}$. Полученное выражение представляет собой кубический многочлен относительно p_x, p_y, p_z . Следовательно, задавая произвольные значения x, y, z, p_x, p_y можно всегда найти хотя бы одно такое действительное значение p_z , которое бы обращало значение якобиана в нуль. Наличие точек, в которых якобиан равен нулю, не означает, что задача не имеет однозначного решения, но это указывает на то, что в окрестности указанных точек малые отклонения в определении значений напряженности магнитного поля могут повлечь за собой большие ошибки расчета координат диполя и его магнитного момента.

Далее в той же главе показано, что для двумерного случая якобиан отображения пространства решений на пространство исходных данных отличен от нуля во всех точках, но в точках размещения датчиков стремится к бесконечности. Доказано, что решение двумерной задачи может быть сведено к нахождению корней многочлена, однако при этом находится несколько решений; для отбора правильного необходимо использовать дополнительную информацию. В качестве такой дополнительной информации может

выступать модуль дипольного момента или его предыдущие положения (если известно, что за время между последовательными измерениями диполь сдвинулся лишь на малое расстояние).

Ограничение области поиска диполя также может решить проблему некорректности задачи. На основе численного анализа показано, что количество существенных ошибок, возникающих вследствие некорректности задачи, зависит от конкретного выбора этой области. Получено, что область, удаленная от датчиков на расстояние порядка расстояния между ними, является оптимальной с этой точки зрения: на меньших расстояниях существенно возрастает количество грубых ошибок, а на больших — сильно снижается величина магнитного поля, создаваемого диполем, что требует использования более чувствительных датчиков для сохранения точности измерений.

Для решения описанных выше двумерной и трехмерной задач магнитной локации были построены численные алгоритмы, позволяющие в реальном времени находить положение магнитного диполя. Эти алгоритмы позволяют определять положение и ориентацию диполя с удовлетворительным количеством существенных ошибок за времена порядка 20 мс (для трехмерной задачи) и 2 мс (для двумерной задачи) на персональных компьютерах, оснащенных процессором с частотой 1 ГГц.

Во второй главе описываются методы моделирования доменных структур в магнитных пленках. В первом параграфе рассматривается процесс перемагничивания тонкой ферромагнитной пленки. Непосредственное численное моделирование на основе решения уравнения Ландау — Лифшица требует больших вычислительных затрат, поэтому в данной диссертации была предпринята попытка упрощения теоретической модели, используя сеточную модель, подобную модели Изинга, позволившую провести эффективный расчет перемагничивания пленки с одноосной анизотропией. Пленка представляется в виде ряда ячеек, каждая из которых считается однородно намагниченной. Для перемагничивания ячейки необходимо, чтобы противоположно направленное самосогласованное поле действовало в течение некоторого времени $t_1 = t_0/H_{\parallel}$, зависящего от величины поля, где t_0 — некоторая постоянная (масштаб по времени), H_{\parallel} — проекция магнитного поля на ось легкого намагничивания; для ячеек внутри домена это время также зависит от величины эффективных полей анизотропии и обменного взаимодействия:

$$t_2 = t_0 \frac{\ln \frac{H_k + \sqrt{H_k^2 - M_x^2}}{M_x}}{H_{\parallel} - H_{обм} - N_c/M_x}, \quad (3)$$

где $H_{обм}$ — эффективное поле обменного взаимодействия, N_c — некоторый минимальный момент сил, который требуется для преодоления сил анизотропии, H_k — эффективное поле

анизотропии, $M_x = \frac{H_{\perp}}{\sqrt{H_k^2 - H_{\perp}^2}}$ — компонента вектора намагниченности, перпендикулярная оси анизотропии.

На рис. 1 показан результат моделирования эволюции доменной структуры при наличии переменного внешнего поля (которое изменяется линейно от $2M_s \frac{d}{h}$ до $-2M_s \frac{d}{h}$, в начальный момент времени (кадр 1) намагниченность сонаправлена внешнему полю). На начальном этапе (кадр 2) происходит зарождение полосовой структуры с периодом $(1,5 \div 2)h$. При этом первые домены возникают на небольшом расстоянии от края пленки (поскольку горизонтальная составляющая магнитного поля больше у края пленки), а последующие — примерно на том же расстоянии от предыдущих. В течение короткого времени после возникновения новые домены вырастают до ширины, соответствующей внешнему полю, а дальнейшее их изменение обусловлено только изменением внешнего поля. Период доменной структуры в процессе зарождения практически не изменяется, и движения возникших доменов не происходит. По мере уменьшения поля ширина доменов, направленных в сторону, противоположную внешнему полю (показаны светло-серым цветом), увеличивается, и при нулевом значении внешнего поля (кадр 3) ширина всех доменов принимает примерно одно и то же значение. Далее, при увеличении поля в противоположном направлении изменяется только соотношение ширины доменов без изменения периода. По мере того, как внешнее поле достигает максимальной величины, доменная структура исчезает почти одновременно во всей пленке.

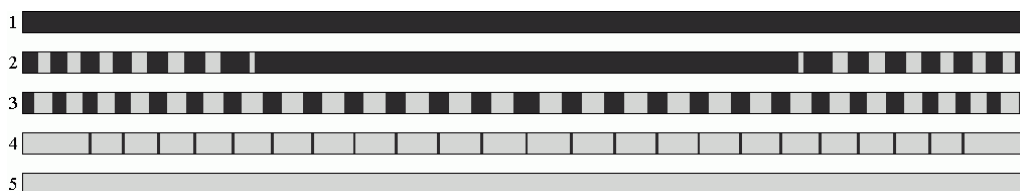


Рис. 1. Эволюция доменной структуры при наличии переменного внешнего магнитного поля.

Таким образом, получаем, что в однородном ферромагнетике доменная структура зарождается путем последовательного появления новых доменов в местах, определяемых периодом равновесной доменной структуры; в процессе эволюции доменной структуры движения доменов не происходит.

Следует заметить, что подобный механизм зарождения и исчезновения доменной структуры возможен лишь в идеально чистом ферромагнетике в отсутствие дисперсии анизотропии. На практике в пленке имеется большое количество неоднородностей

(примесей, дефектов кристаллической структуры), вносящих соответствующий вклад в самосогласованное поле. Эффективно это будет приводить к возникновению новых источников зарождения доменной структуры, каковыми в идеальном случае являются края пленки.

Во втором параграфе второй главы проведено моделирование доменной структуры с использованием двумерной сетки на основе метода, подобного описанному выше. Рассмотрен случай релаксации полосовой доменной конфигурации в пленке конечных размеров. Было получено, что полосовая структура, являющаяся неустойчивой в ограниченной пленке, сохраняется лишь в центральной ее части, а на краях возникают лабиринтные доменные структуры.

В третьем параграфе проведен расчет квазистатической доменной конфигурации, представляющей собой цилиндрический домен внутри полосовой доменной структуры. Подобный расчет проводился ранее, и было достигнуто удовлетворительное согласие с экспериментальными результатами.¹ Однако, как нами было установлено, при этом не учитывался наклон оси анизотропии, что приводило к ошибке в определении искривления полосового домена, достигающей десятков процентов. В настоящей диссертации приведено обобщение на случай наклонной оси анизотропии.

Была решена задача минимизации функционала магнитостатической энергии и получены следующие выражения для формы доменной границы:

$$y(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\infty} \frac{A(t) \cos(tx) dt}{\ln\left(1 + \frac{h^2}{4a^2}\right) + K_0(t\beta_1) - K_0\left(t\sqrt{\beta_1^2 + h^2}\right) + K_0(t\beta_2) - K_0\left(t\sqrt{\beta_2^2 + h^2}\right)}, \quad (4)$$

где $\beta_1 = b - a = y(0)$, $\beta_2 = b + a = y(0) + 2a$,

$$A(t) = \int_0^{\infty} \cos(t\xi) d\xi \iint_S K_{\Delta}(\xi - x', a - y) dx' dy, \quad (5)$$

$$K_{\Delta}(\Delta x, \Delta y) = K\left(\Delta x - \frac{\Delta}{2}, \Delta y\right) + K\left(\Delta x + \frac{\Delta}{2}, \Delta y\right), \quad K(\Delta x, \Delta y) = \frac{1}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}} - \frac{1}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + h^2}}, \quad S —$$

область, занимаемая доменом, возмущающим полосовую структуру (в рассматриваемом случае ЦМД это круг с радиусом R), $2a$ — равновесная ширина невозмущенного полосового домена, h — толщина пленки, $\Delta = h \operatorname{tg} \theta$, θ — угол наклона оси анизотропии. Рассчитанная максимальная величина искривления доменной границы для пленки с параметрами $a = 8$ мкм, $h = 13$ мкм, $R = 6.75$ мкм, $\theta = 30^\circ$ составляет 3.6 мкм. Расчет без учета наклона оси

¹ Акимов М. Л., Поляков П. А., Усманов Н. Н. Смешанная доменная структура в пленках феррит-гранатов // ЖЭТФ, 2002. — Т. 121, № 2. — С. 347–353.

анизотропии ($\theta = 0^\circ$) дает значение 5.1 мкм. Экспериментально наблюдается искривление в 3.9 мкм. Таким образом, учет наклона оси анизотропии позволил уменьшить ошибку определения искривления доменной границы с 30 до 8%.

Глава III посвящена анализу влияния собственного магнитного момента на поведение релятивистских плазменных систем, находящихся в однородном магнитном поле. Анализ влияния спина на поведение плазменных систем уже проводился ранее, в том числе другими авторами, однако при этом рассматривалась либо нерелятивистская плазма в рамках гидродинамического и кинетического подходов, либо анализ дисперсионных свойств релятивистской плазмы ограничивался случаем распространения волн параллельно внешнему магнитному полю. В настоящей диссертационной работе приводится исследование распространения волн перпендикулярно внешнему магнитному полю, которое показывает, что наличие спина приводит к появлению новой дисперсионной ветви в окрестности циклотронной частоты, что подтверждает результаты предыдущих работ. Вместе с тем, использованное в этих работах приближение на основе разложения функций Бесселя может использоваться лишь в области больших длин волн, поэтому расчеты предельных значений при $k_x \rightarrow \infty$ дают неверный результат. Расчет без использования указанного приближения показывает, что область частот, в которой располагается обнаруженная ветвь, слабо зависит от температуры в изотропной плазме, а в анизотропной может расти и при определенных значениях параметров перекрываться с областью частот бернштейновской моды.

Также в последней главе приведен анализ распространения волн перпендикулярно внешнему магнитному полю в релятивистской плазме с одномерным разбросом скоростей электронов. Доказано, что, хотя ветвь гибридного резонанса сужается при релятивистских температурах, гибридный резонанс существует при любых значениях параметров. Получена асимптотическая формула для частоты гибридного резонанса при ультрарелятивистских температурах:

$$\omega_0 \approx \Omega + \frac{\pi^2 \alpha^2 \omega_p^4}{8\Omega^3}, \quad (6)$$

где ω_p и Ω — электронные плазменная и циклотронная частоты, $\alpha = m_e c^2 / \Theta$ — температурный фактор.

Выводы

В заключение сформулируем основные результаты, полученные в диссертации:

1. На основе анализа якобиана получена оценка доли объема области существования однозначного решения задачи определения положения и ориентации магнитного диполя в трехмерном пространстве по известным значениям векторов напряженности магнитного поля в двух точках (задачи магнитной локации). С помощью численного моделирования установлено, что эта область не превышает 5% всего пространства исходных данных.
2. На основе развитой теории реализовано устройство, осуществляющее магнитную локацию с помощью двух троек датчиков. Экспериментально подтверждены выводы развитой теории при достаточно малом количестве существенных ошибок.
3. Найден эффективный способ поиска решений двумерной задачи магнитной локации.
4. На основе численного моделирования одномерной ферромагнитной пленки показан механизм зарождения доменной структуры в однородном ферромагнетике.
5. Разработан вариант метода крупных магнитных частиц, позволяющий моделировать динамические двумерные доменные структуры в однородной ферромагнитной пленке.
6. Найдены аналитические выражения для формы доменной границы полосового домена, внутри которого создан цилиндрический домен, учитывающие наклон оси анизотропии; получено согласие рассчитываемых на основе этих выражений результатов с экспериментом.
7. Показано, что при гидродинамическом учете влияния собственного магнитного момента на распространение волн в магнитоактивной плазме с изотропным распределением электронов по скоростям появляется новая (спиновая) дисперсионная ветвь, спектральная ширина которой не меняется с температурой.
8. Показано, что наличие анизотропии распределения скоростей электронов при некоторых значениях параметров приводит к увеличению области частот, занимаемой спиновой модой, и при достаточной температуре эта область может достигать циклотронной частоты.
9. Показано, что в замагниченной релятивистской плазме гибридный резонанс существует при любых температурах, получена оценка его ширины в ультрарелятивистском пределе.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Болтасова Ю. В., Поляков П. А., Русаков А. Е. Релятивистское вырождение гибридного резонанса магнитоактивной плазмы // Известия РАН. Серия Физическая. — 2001. — Т. 65, № 12. — С. 1723–1725.
2. Болтасова Ю. В., Курпичев С. Б., Поляков П. А., Русаков А. Е. Релятивистские особенности электромагнитного отклика плазменной среды // Радиотехника и электроника. — 2003. — Т. 48, №6. — С. 731–736.
3. Касаткин С. И., Поляков О. П., Поляков П. А., Русаков А. Е. Возможности реализации аппаратно-программного комплекса трехмерной мыши на основе решения обратной задачи магнитной локации // Датчики и системы. — 2005. — №8. — С. 33–36.
4. Ким Н. Е., Поляков П. А., Русаков А. Е. Коллективные спиновые эффекты в классических плазменных системах // Нелинейный мир. — 2005. — №3. — С. 155–162.
5. Вагин Д. В., Ким Н. Е., Поляков П. А., Русаков А. Е. Особенности распространения электромагнитных волн в горячей магнитоактивной плазме с учетом спина электронов // Известия РАН. Серия Физическая. — 2006. — Т. 70, № 3. — С. 443–447.
6. Kasatkin, S. I., Polyakov, O. P., Rusakova, N. E., Rusakov, A. E. On uniqueness of solution of a reverse problem of magnetic location // J. Magn. Magn. Mater. — 2006. — V. 305, issue 2. — P. 361–364. — [doi:10.1016/j.jmmm.2006.01.027](https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2006.01.027).
7. Акимов М. Л., Русаков А. Е., Поляков П. А. Форма полосовой доменной структуры при наличии двумерной магнитной неоднородности // Труды XVII Международной школы-семинара «Новые магнитные материалы микроэлектроники» (20–23 июня 2000 г., Москва). — М.: Физический факультет МГУ, 2000. — С. 444–446.
8. Акимов М. Л., Русаков А. Е., Поляков П. А. Форма полосовой доменной структуры при наличии двумерной магнитной неоднородности в виде эллипса // Труды XVIII Международной школы-семинара «Новые магнитные материалы микроэлектроники» (24–28 июня 2002 г., Москва). — М.: Физический факультет МГУ, 2002, с. 360–362.
9. Поляков П. А., Русаков А. Е. Динамика неравновесных доменных структур в одноосных ферромагнитных пленках // Сборник трудов XIX международной школы-семинара «Новые магнитные материалы микроэлектроники» (28 июня — 2 июля 2004 г., Москва). — М.: Физический факультет МГУ, 2004. — С. 818–820.
10. Вагин Д. В., Ким Н. Е., Поляков О. П., Поляков П. А., Русаков А. Е. Циклотронные моды в релятивистской плазме с нерелятивистским поперечным разбросом температур // Труды ИЭИ. 2004. Вып. 4. — С. 496–502.

11. *Ким Н. Е., Кирпичев С. Б., Поляков П. А., Русаков А. Е.* Неволновые особенности релятивистской магнитоактивной плазмы // Международная конференция МСС–04 «Трансформация волн, когерентные структуры и турбулентность» (23–25 ноября 2004 г., Москва). Сборник трудов. — М.: РОХОС, 2004. — С. 55–60.
12. *Ким Н. Е., Поляков П. А., Русаков А. Е.* О гидродинамической модели магнитоактивной плазмы // Сборник статей по материалам XIII Международной конференции по спиновой электронике и гировекторной электродинамике (3–5 декабря 2004 г., Фирсановка, Московская обл.). — М.: изд-во МЭИ, 2004. — С. 270–280.
13. *Д. В. Вагин, Н. Е. Ким, П. А. Поляков, А. Е. Русаков.* Особенности распространения электромагнитных волн в горячей магнитоактивной плазме с учетом спина электронов // Труды X Всероссийской школы-семинара "Физика и применение микроволн" (23–28 мая 2005 г., Звенигород, Московская обл.). Часть 3. — М.: Физический факультет МГУ. 2005. — С. 35–37.
14. *Вагин Д. В., Ким Н. Е., Поляков П. А., Русаков А. Е.* Особенности распространения электромагнитных волн в релятивистской плазме с учетом собственного магнитного момента электронов // Труды ИЭИ. — 2005. — Вып. 5.
15. *Акимов М. Л., Поляков П. А., Русаков А. Е., Усманов Н. Н.* Сложная доменная структура в магнитной пленке с наклонной анизотропией // Сборник трудов XX международной школы-семинара «Новые магнитные материалы микроэлектроники» (12–16 июня 2006 г., Москва). — М.: Физический факультет МГУ, 2006. — С. 504–506.
16. *Русаков А. Е.* Определение положения и ориентации магнитного диполя с помощью магниторезистивных датчиков // Сборник трудов XX международной школы-семинара «Новые магнитные материалы микроэлектроники» (12–16 июня 2006 г., Москва). — М.: Физический факультет МГУ. — 2006. — С. 450–452.
17. *Вагин Д. В., Поляков П. А., Русаков А. Е.* Вырождение мод Бернштейн в релятивистской плазме с нерелятивистским поперечным разбросом температур // Труды X Всероссийской школы-семинара «Волновые явления в неоднородных средах» (Звенигород, Московская обл., 22–27 мая 2006 г.). Секции 4–5. — М.: Физический факультет МГУ, 2006. — С. 55–57.
18. *Болтасова Ю. В., Поляков П. А., Русаков А. Е.* Трансформация колебательных мод в лазерной плазме при достижении температуры электронов релятивистских значений // XXVIII Звенигородская конференция по физике плазмы и УТС (19–23 февраля 2001 г., Звенигород, Московская обл.), сборник тезисов. — М., 2001. — С. 121.

19. Болтасова Ю. В., Русаков А. Е. Особенности колебательного спектра релятивистской фемтосекундной магнитоактивной лазерной плазмы // Международная конференция студентов и аспирантов по фундаментальным наукам «Ломоносов–2001» (10–13 апреля 2001 г., Москва), секция «Физика», сборник тезисов. — М.: Физический факультет МГУ, 2001. — С. 168–170.
20. Болтасова Ю. В., Поляков П. А., Русаков А. Е. Релятивистское вырождение гибридного резонанса магнитоактивной плазмы // Труды VIII Всероссийской школы-семинара «Физика и применение микроволн» (26–30 мая 2001 г., Звенигород, Московская обл.). Часть 1. — М.: Физический факультет МГУ. 2001. — С. 38.
21. Болтасова Ю. В., Русаков А. Е. Поведение гибридного резонанса в релятивистской плазме, полученной в результате лазерного воздействия на вещество // 1-я Российская конференция молодых ученых по физическому материаловедению (4–7 октября 2001 г., Калуга), сборник тезисов. — Калуга: Манускрипт, 2001. — С. 155–156.
22. Болтасова Ю. В., Русаков А. Е. Особенности распространения волн в одномерной плазме при умеренном релятивизме // Международная конференция студентов и аспирантов по фундаментальным наукам «Ломоносов–2002» (9–12 апреля 2002 г., Москва), секция «Физика», сборник тезисов. — М.: Физический факультет МГУ, 2002.
23. Болтасова Ю. В., Кирпичев С. Б., Поляков П. А., Русаков А. Е. Релятивистские особенности электромагнитного отклика плазменной среды // Труды VIII Всероссийской школы-семинара «Волновые явления в неоднородных средах» (2002 г., Красновидово, Московская обл.). — М.: Физический факультет МГУ, 2002.
24. Болтасова Ю. В., Поляков П. А., Русаков А. Е. Слаборелятивистские коллективные спиновые эффекты в электродинамических системах с большим числом частиц // Сборник статей по материалам XI Международной конференции по спиновой электронике и гировекторной электродинамике (ноябрь 2002 г., Фирсановка, Московская обл.). — М.: изд-во МЭИ, 2002.
25. Ким Н. Е., Поляков О. П., Поляков П. А., Русаков А. Е. Циклотронный резонанс, обусловленный собственным магнитным моментом электронов в магнитоактивной плазме // XXX Звенигородская конференция по физике плазмы и УТС (24–28 февраля 2003 г., Звенигород, Московская обл.), сборник тезисов. — М., 2003. — С. 104.
26. Поляков П. А., Русаков А. Е. Моделирование динамики доменных структур в магнитных пленках с одноосной анизотропией // XL всероссийская конференция по проблемам математики, информатики, физики и химии (19–23 апреля 2004 г., Москва). Тезисы докладов. Секции физики. — М.: Изд-во РУДН, 2004. С. 49–52.

27. *S. I. Kasatkin, O. P. Polyakov, P. A. Polyakov and A. E. Rusakov*. On uniqueness of solution of a reverse problem of magnetic location // Moscow International Symposium on Magnetism (MISM-2005) (25–30 June 2005, Moscow). Book of Abstracts. — М.: Физический факультет МГУ, 2005. — P. 556–557.
28. *M. L. Akimov, N. E. Kim, P. A. Polyakov, A. E. Rusakov and N. N. Usmanov*. Domain structure screening of a local magnetic inhomogeneity // Moscow International Symposium on Magnetism (MISM-2005) (25–30 June 2005, Moscow). Book of Abstracts. — М.: Физический факультет МГУ, 2005. — P. 434.
29. *Ким Н. Е., Поляков П. А., Русаков А. Е.* Влияние собственного магнитного момента частиц на коллективные процессы в плотной плазме. // III Межд. конф. «Фундаментальные проблемы физики» (13–18 июня 2005 г., Казань). Сборник тезисов. — Казань, 2005. — С. 208.
30. *Вагин Д. В., Поляков П. А., Русаков А. Е.* Вырождение мод Бернштейн в релятивистской плазме с нерелятивистским поперечным разбросом температур. Тезисы доклада // Программа X Всероссийской школы-семинара «Волновые явления в неоднородных средах» (Звенигород, Московская обл., 22–27 мая 2006 г.). — М.: Физический факультет МГУ, 2006. — С. 17.