

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКСОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

53

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ
И АСТРОНОМИИ АКАДЕМИИ НАУК СССР
(21 января 1971 г.)**

21 января 1971 г. в конференц-зале Физического института им. П. Н. Лебедева состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

1. С. И. Сыроватский, Токовые слои в космической и лабораторной плазме.

2. Г. С. Кричак, Оптика ферромагнетиков.

Ниже публикуется краткое содержание прочитанных докладов.

С. И. Сыроватский. Токовые слои в космической и лабораторной плазме

Динамика плазмы в магнитном поле, даже при гидродинамическом описании, несравненно богаче обычной газодинамики в отношении многообразия типов движения. Этот круг вопросов еще мало изучен, и иногда нас ставят в тупик по существу довольно простые явления. Дело в том, что исследование общей магнитогидродинамической задачи весьма сложно, и обычно рассматриваются те или иные приближения.

Часто используется приближение слабого поля, когда магнитные натяжения ($\sim H^2/8\pi$) малы по сравнению с кинетическим (nkT) и динамическим ($\rho v^2/2$) давлением плазмы. В этом приближении рассматриваются, например, задачи о генерации и усилении поля магнитогидродинамическим динамо-процессом или турбулентностью. Однако с точки зрения динамики эти задачи не выходят за рамки обычной газодинамики, так как пренебрегается обратным влиянием магнитных полей.

Специфически новые эффекты возникают в противоположном предельном случае сильного поля ($H^2/8\pi \gg nkT$, $\rho v^2/2$), который допускает формально вполне строгое рассмотрение, позволяет выработать интуицию в этом новом круге задач и дает ряд конкретных результатов для физики лабораторной и космической плазмы. Область применимости этого приближения — атмосферы звезд и планет, лабораторная плазма при сильноточных разрядах.

Рассматриваются плоские, двумерные задачи, когда напряженность магнитного поля может быть выражена через единственную компоненту $A(x, y, t)$ вектор-потенциала. В нулевом приближении сильное поле потенциальное, т. е. $\Delta A = 0$ и A — гармоническая функция, что позволяет для отыскания поля по заданным внешним источникам использовать аппарат теории функций комплексного переменного. При найденном таким образом поле задача полностью решается, если мы используем условие вмороженности ($dA/dt \equiv \frac{\partial A}{\partial t} + \mathbf{v}\nabla A = 0$) и условие поперечности ускорения (т. е. отсутствия сил вдоль магнитных силовых линий: $d\mathbf{v}/dt \parallel \nabla A$). Исключение составляют особые нулевые точки магнитного поля, в которых $|\mathbf{H}| = |\nabla A| = 0$, но электрическое поле $\mathbf{E} = -\frac{\partial A}{c\partial t} \neq 0$; в этих точках уравнения противоречивы, а именно, не может быть выполнено уравнение вмороженности.

Проблема решается при допущении, что особые нулевые точки генерируют области неаналитичности решения. Показано, что эти области должны представлять собой разрезы на плоскости комплексного переменного, т. е. токовые слои в плазме. Дается правило проведения разрезов и метод вычисления поля вне разрезов.

Предлагаемый метод применяется для случая изолированной нулевой точки (см. рис. 1 и 2), и обсуждаются результаты эксперимента по течению плазмы в окрестности нулевой линии, выполненного А. Г. Франк и А. З. Ходжаевым.

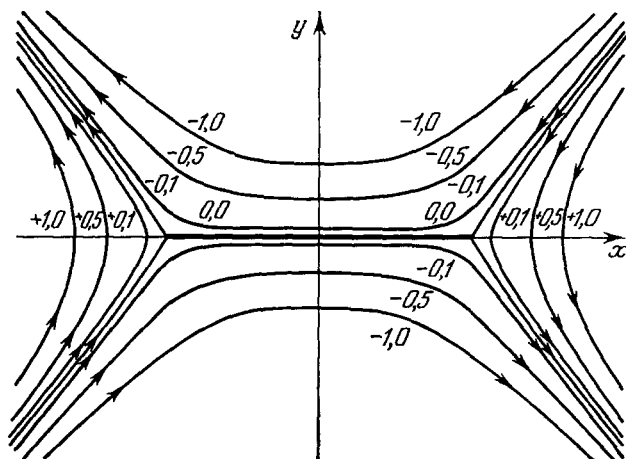


Рис. 1. Магнитное поле в окрестности токового слоя (жирная линия) при отсутствии обратных токов.

Цифрами указаны значения потенциала A на соответствующих силовых линиях. В этом случае полный ток в слое при заданной ширине токового слоя максимален.

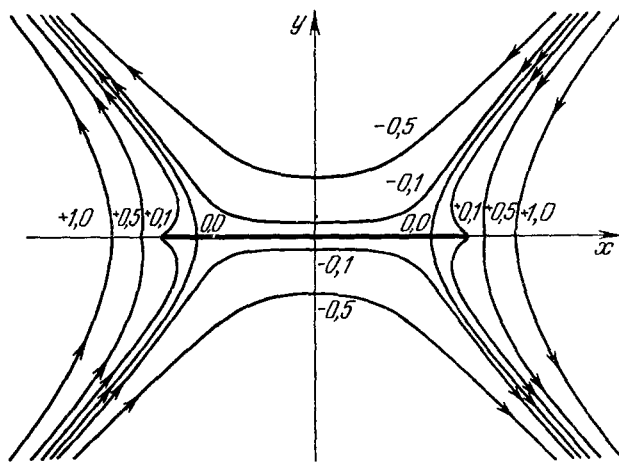


Рис. 2. То же, что и на рис. 1, в присутствии обратных токов. Полный ток составляет 0,2 от максимального при фиксированной ширине разреза.

Указаны возможные применения к физике Солнца и магнитосферы: структура корональных лучей и племов на Солнце, структура поля при солнечных вспышках, двумерная модель магнитосферы Земли.

Основные результаты работы будут опубликованы в ЖЭТФ.

Г. С. Кричик. Оптика ферромагнетиков

В докладе на трех конкретных примерах демонстрируется эффективность применения оптических методов для исследования ферромагнетиков.

1. Модель электронной структуры ферромагнитного никеля с обратным порядком уровней. В физике ферромагнетизма сейчас на переднем плане стоит задача количественного определения зонной структуры ферромагнитных металлов. Наиболее широкому экспериментальному

и теоретическому изучению подвергается ферромагнитный никель. Первые попытки состояли в построении моделей электронной структуры никеля по аналогии с медью. Однако на основании магнитооптического исследования никеля в работах¹ была предложена модель с обратным по отношению к меди порядком d - и p -зон в L -точке зоны Бриллюэна. Следствиями из этой модели являются: характерные частоты межзонных переходов, исчезновение дырочных карманов в L -точке, появление области сильной гибридизации d - и p -зон в окрестности уровня Ферми, своеобразное поведение дырочных карманов в X -точке и т. д. В настоящее время модель с обратным порядком уровней подтверждена прямыми теоретическими расчетами² и независимыми экспериментами³ и является общепринятой.

2. Ориентационный магнитооптический эффект. Поскольку орбитальные моменты в ферромагнитных d -металлах «заморожены», а ориентация спинового момента — намагниченности насыщения I — может изменяться внешним магнитным полем, поворот I приводит к значительным (порядка $0,1 \text{ эв}$) изменениям зонной структуры ферромагнитного металла за счет спин-орбитального взаимодействия. Появляется принципиальная возможность наблюдать эти изменения оптическими методами на частотах межзонных переходов. В работе⁴ был экспериментально обнаружен указанный магнитооптический эффект изменения электронной структуры ферромагнитного металла при повороте I , который в⁵ был назван ориентационным магнитооптическим эффектом (ОМЭ). ОМЭ представляет изменение интенсивности отраженного света, квадратичное по составляющей намагниченности, перпендикулярной к плоскости падения света⁵. ОМЭ сопоставим по порядку величины с обычным нечетным экваториальным магнитооптическим эффектом Керра (ЭЭК). В работе⁶ показано, что ОМЭ резко анизотропен при полной изотропии ЭЭК. ОМЭ отличается своеобразной частотной зависимостью с многократным изменением знака, характерной спин-орбитальной тонкой структурой максимумов и т. д.⁶.

В работе⁷ рассмотрены три типа изменений зонной структуры, которые могут приводить к ориентационным эффектам: 1) спин-орбитальное расщепление вырожденных d -зон в окрестности определенных линий симметрии; 2) спин-орбитальное снятие случайного вырождения пересекающихся зон; 3) образование или исчезновение дырочных карманов под влиянием спин-орбитального взаимодействия. Третий механизм является хотя и очень сильным, но экзотическим. Конкретное рассмотрение показывает, что при фиксированной частоте межзонные переходы для изменений типа 2) происходят в значительно большей по объему области зоны Бриллюэна, чем для типа 1).

В случае 1) это приблизительно сфера объема $\frac{4\pi}{3} \delta^3$, а в случае 2) — торонд объемом $2\pi \cdot \delta^2$, т. е. отношение объемов порядка r/σ , причем $r \gg \delta$. Поэтому второй механизм, по-видимому, является основным в ОМЭ. Перспективность ОМЭ для изучения ферромагнетизма металлов можно характеризовать также следующим примером. В работе⁷ указан конкретный межзонный переход типа 2), который идентифицирован с максимумом ОМЭ при $\hbar\omega \approx 0,4 \text{ эв}$ и для которого независимо от деталей зонной структуры величина $\hbar\omega$ численно равна обменному расщеплению $3d$ -зоны. Таким образом, мы получаем прямой метод спектроскопического определения величины обменного расщепления, а также возможность изучать изменение этой важнейшей для ферромагнетиков величины под влиянием различных факторов в металлах и сплавах.

3. Магнитная восприимчивость ферромагнетиков на оптических частотах. В работах⁸ магнитооптические методы были использованы для того, чтобы впервые обнаружить и измерить эффект намагничивания светом ферромагнитных диэлектриков — ферритов-гранатов и ферромагнитного металла — железа. Магнитная восприимчивость этих ферромагнетиков к циркулярно поляризованному свету $\chi_{\pm}^{\text{опт}}$ оказалась равной 10^{-4} — 10^{-5} . Для прозрачных ферромагнетиков этот результат не вызывал сомнений и затем неоднократно подтверждался, но для ферромагнитных металлов было проведено еще одно измерение $\chi_{\pm}^{\text{опт}}$ ⁹, которое привело к завышенным примерно на два порядка величинам $\chi_{\pm}^{\text{опт}}$. Недавно в работе¹⁰ показана ошибочность⁹ и подтвержден результат, полученный в работе^{8б}. В связи с возможностью правильного определения $\chi_{\pm}^{\text{опт}}$ возникает вопрос об использовании этого эффекта. В прозрачных ферромагнетиках, измеряя $\chi_{\pm}^{\text{опт}}$, можно определять g -фактор магнитоактивных ионов^{8а}. В ферромагнитных металлах, измеряя зависимость $\chi_{\pm}^{\text{опт}}(\omega)$, можно надеяться обнаружить обменный резонанс — оптическую моду колебаний спинов^{1а}. В¹¹ предлагается использовать измерения $\chi_{\pm}^{\text{опт}}$ для обнаружения обменного резонанса в ферритах и локализованных магнитных мод на примесях. В работе¹² рассчитана интенсивность рассеяния инфракрасного света на спиновых волнах, концентрацию которых можно на несколько порядков увеличить подкачкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. а) Г. С. Криничик, *Optical Properties and Electronic Structure of Metals and Alloys*, Amsterdam, 1966, p. 484. б) Г. С. Криничик, Е. А. Ганьшина, *Phys. Lett.* **23**, 294 (1966).
2. J. W. D. Connolly, *Phys. Rev.* **159**, 415 (1967); E. I. Zornberg, *Phys. Rev.* **1B**, 244 (1971).
3. J. Hanus, J. Feinleib, W. J. Scouler, *Phys. Rev. Lett.* **19**, 116 (1967).
4. Г. С. Криничик, В. С. Гуштин, *Письма ЖЭТФ* **10**, 35 (1969).
5. Г. С. Криничик, Е. Е. Чепурова, *Письма ЖЭТФ* **11**, 105 (1970).
6. Г. С. Криничик, Е. А. Ганьшина, В. С. Гуштин, *ЖЭТФ* **60** (1), 209 (1971).
7. Г. С. Криничик, Доклад на Международном конгрессе по магнетизму в Гренобле, 1970, *J. de phys.* **32**, C1-1058 (1971).
8. а) Г. С. Криничик, М. В. Четкин, *ЖЭТФ* **41**, 673 (1961); *УФН* **98**, 3 (1969); б) Г. С. Криничик, Г. М. Нурмухамедов, **47**, 76 (1964).
9. J. Jauch et al., *Zs. Phys.*, **173**, 117, 135 (1963).
10. U. Buchenau, *Zs. angew. Phys.*, **26**, 51 (1969).
11. U. Buchenau, *Phys. Lett.* **31A**, 91 (1970).
12. Ф. Г. Басс, М. И. Каганов, *ЖЭТФ* **37**, 1390 (1959); H. Le Gall, Доклад на Международном конгрессе по магнетизму в Гренобле, 1970, *J. de phys.* **32**, C1-590 (1971).