

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РСФСР
КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ

K 537
X 55

Р.Г.Хлебоброс

На правах рукописи

ВЛИЯНИЕ СОБСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ И МАГНИТОСТРИКЦИИ НА ДВИЖЕНИЕ МАГНИТНОГО
МОМЕНТА

1 +
M-805454

Автореферат
диссертации на соискание
ученой степени кандидата
Физико-математических наук

КРАСНОЯРСКАЯ
ПРАВДА
БИБЛИОТЕКА
Красноярск 1967 г.

Диссертация выполнена в Институте физики СО АН СССР.
Диссертация содержит 100 стр. машинописного текста,
иллюстрирована 7 рисунками. Список литературы составляет
44 названия.

Диссертация состоит из следующих разделов: Введение
(4 стр.), глава I. Реакция собственного излучения в длинно-
волновом приближении (14 стр.), глава II. Реакция излучения
в образцах, соизмеримых с длиной электромагнитной волны
(22 стр.), глава III. Однородный магнитострикционный резонанс
(26 стр.), Заключение (5 стр.), Приложения (26 стр.),
Литература (3 стр.).

НАУЧНЫЕ РУКОВОДИТЕЛИ: кандидат физико-математических
наук А.М.Родичев, кандидат физико-математических наук
В.А.Игнатченко.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ: доктор физико-математических
наук, старший научный сотрудник Института физики полу-
проводников АН СССР В.Л.Гуревич,

кандидат физико-математических наук, зав. кафедрой
теоретической физики Красноярского Государственного педа-
гогического института, доцент В.С.Черкашин.

Защита состоится на Ученом Совете Красноярского
Государственного педагогического института " 29/XI "
1967 года.

Отзывы просим присылать по адресу : г.Красноярск,
пр.Мира,83,Педагогический институт,Ученому секретарю.

Дата отправления автореферата " 24/X "1967г.

Ученый секретарь КГПИ доцент Д.М.ЛЕКАРЕНКО

Диссертация посвящена теоретическому исследованию взаимодействия спиновой системы ферромагнетика с полем собственного электромагнитного излучения и упругой системой. Анализ проводится в рамках феноменологической теории.

1. а) В ферромагнетике при определенных условиях может быть возбуждена однородная прецессия намагниченности (ФМР), длинноволновые неоднородные колебания намагниченности (магнитостатические моды) и коротковолновые неоднородные колебания (спин-волновой резонанс). При движении намагниченности, как и при движении электрического заряда имеет место самодействие: прецессирующая намагниченность становится источником электромагнитного излучения, которое, взаимодействуя со спиновой системой, может влиять на характер ее движения.

Впервые реакция собственного излучения магнитного момента малого в сравнении с длиной электромагнитной волны шарика-спина свободной элементарной частицы исследовалась Гинзбургом [1]. В отличие от поля самодействия электрического заряда, которое содержит временные производные заряда, начиная с третьей производной и выше, поле самодействия магнитного момента начинается с члена, пропорционального второй производной момента по времени. Гинзбург назвал этот член инерционным или консервативным. В дальнейшем [2-5 и др.] теория была распространена на макроскопические магнетики. При этом был исследован предельный случай $R \gg \lambda$ (R - размер ферромагнетика, λ - длина

электромагнитной волны) - взаимодействие спиновых и электромагнитных волн в бесконечном ферромагнетике. Взаимодействие обуславливает деформацию соответствующих дисперсионных ветвей. Учет конечности размеров тела существенно усложняет задачу, так как приближение плоских волн ($R \gg \lambda$) вообще говоря, становится неприемлемым. В литературе рассмотрен и другой предельный случай $R \ll \lambda$ - магнитодипольное приближение. Реакция излучения в этом случае трактовалась как малое возмущение. Инерционный член в реакции излучения проявляется в сдвиге собственной частоты прецессии.

В диссертации исследуются эффекты запаздывания в ферромагнетиках при соизмеримых R и λ и анализируются ситуации, в которых реакция излучения существенно меняет характер движения намагниченности.

б) Благодаря магнитоупругому взаимодействию прецессирующая намагниченность является также источником упругих колебаний ферромагнетика, которые, взаимодействуя со спиновой системой, могут влиять на характер ее движения. После открытия магнитоупругого резонанса Ахизером, Барьяхтаром и Пелетминским [6] основное внимание в теоретических и экспериментальных исследованиях было уделено различным ситуациям, при которых осуществляется преобразование спиновых волн в упругие и наоборот.

В диссертации рассматривается связь упругой системы ферромагнетика с однородной прецессией намагниченности. В отличие от взаимодействия магнитного момента с полем излу-

чения, реакция упругой системы ферромагнетика при однородной прецессии существенно нелинейна. При этом с ростом однородных магнитных колебаний проявляется как нелинейность самой спиновой системы, так и магнитоупругая нелинейность. В имеющейся литературе по упругим неустойчивостям, возникающим при однородной прецессии, внимание сосредоточено в основном на анализе процессов, обусловленных линейной связью упругой системы с однородными спиновыми модами, которые возникают при однородной прецессии в результате нелинейности спиновой системы.

В работе анализируются случаи, когда проявляется непосредственная связь однородной прецессии с упругой системой.

2. При классическом подходе анализ взаимодействия спиновой системы с упругой, электромагнитной и т.д. основан на совместном решении уравнения Ландау-Лифшица для движения намагниченности, уравнений Максвелла, уравнения упругости и т.д. с соответствующими граничными условиями. В ряде случаев эту систему удобно свести к одному уравнению для движения намагниченности в эффективном магнитном поле, представляющем собой сумму членов, обусловленных магнитострикцией, электромагнитным излучением и т.д. Как показал Родичев [8], в функциональной зависимости эффективного поля $\vec{H}^{\text{эф}}(\vec{M})$ (\vec{M} — намагниченность) высшие члены разложения по временным производным $\dot{\vec{M}}$ для различного рода взаимодействий могут быть проанализированы на основе вариационного принципа. При исследовании определенного

вида взаимодействия обычно абстрагируются от остальных процессов, т.е. оставляют в эффективном поле лишь соответствующие члены. Таким методом и решаются задачи диссертации.

3. В главе I в приближении $R \ll \lambda$ интегральным методом Грина исследуется взаимодействие движения намагниченности с собственным полем излучения для ферромагнетиков различной формы в свободном пространстве. Наиболее существенным инерционным член оказывается при однородной прецессии намагниченности, с ростом номера K спиновой моды инерционное поле падает $\sim \frac{1}{K}$. Проведен анализ для однородной прецессии и вычисляется эффективное поле и сдвиг частоты прецессии в диске, уточняются известные из литературы выражения для них в шаре. В длинноволновом приближении, радиационное трение мало, сдвиг частоты отрицательный, а инерция положительна. Показано, что в принципе сдвиг частоты может быть сравним или больше, чем собственная частота прецессии без учета инерции. Сделан вывод о принципиальной возможности резонансного взаимодействия магнитного момента не только с циркулярнополяризованной вправо, но и с левополяризованной электромагнитной волной. Такой резонанс назван левым резонансом.

Поскольку инерция обусловлена токами смещения, то левый резонанс должен проявляться лишь при соизмеримых энергиях электрического и магнитного полей. Показано, что в силу особенностей доменной структуры в существующих ферромагнетиках в длинноволновом приближении ситуация левого резонанса

не реализуется.

4. В главе II исследуется реакция собственного поля излучения в ферромагнетиках, соизмеримых с длиной электромагнитной волны, в свободном пространстве и резонаторе. Решаются задачи, в которых имеется эллиптическая симметрия граничных условий. В этом случае "сливаются" известные точные решения вне и внутри образца.

Для удлиненного ферродиелектрического шара при соизмеримых R и λ найдены общие выражения для поля излучения однородной прецессии и вычислены собственные частоты правого и левого резонанса. Полученное точное решение электродинамической задачи определения полей и собственных частот сферического резонатора с ферродиелектрическим шаром в центре использовано для анализа собственного излучения однородной прецессии ферродиелектрического шара в резонаторе при соизмеримых R и λ . для малого образца в резонаторе инерционное поле на частоте резонатора практически остается таким же как и для образца в свободном пространстве. Значительно возрастает радиационное трение.

Из анализа поля излучения образцов, соизмеримых с длиной электромагнитной волны, следует, что инерция поля может быть как положительной, так и отрицательной, соответственно, сдвиг собственной частоты прецессии отрицателен или положителен. Этому можно сопоставить различные знаки деформации нижней и верхней дисперсионных спиновых ветвей, описывающих взаимодействие электромагнитных волн со спиновой системой бесконеч-

чного ферромагнетика. В тонком беконечном ферродиелектрическом слое для однородной прецессии вокруг нормали к слою инерция собственного излучения уже в длинноволновом приближении ($\sqrt{\epsilon_2} \frac{\omega}{c} d \ll 1$, d - толщина слоя, ϵ_{21} - диэлектрическая проницаемость внутри и вне слоя) может менять знак. Последнее объясняется запаздыванием поля радиационного трения, которое, вообще говоря, здесь немало. Если диэлектрическая проницаемость вне слоя много меньше, чем внутри его ($\epsilon_2 \ll \epsilon_1$), то радиационное трение мало, а инерция положительна. Поскольку размагничивающие поля могут быть скомпенсированы постоянным полем, электрическая энергия может быть сравнима с магнитной. В этом случае возможна реализация левого резонанса в существующих ферромагнетиках.

В диссертации исследовано влияние левого резонанса на состояние поляризации электромагнитной волны при ее взаимодействии с тонким ферродиелектрическим слоем. С изменением частоты волны ω (или постоянного поля H_0) имеет место двух или трехкратная смена направления вращения плоскости поляризации, в то время как при отсутствии левого резонанса направление вращения меняет знак только один раз.

5. В главе III при анализе непосредственной связи однородной прецессии с упругой системой учитывается лишь взаимодействие с модой упругих колебаний, наиболее близкой к однородной. Взаимный обмен энергией магнитной и упругой систем значительно возрастает, когда резонансно возбуждается эта упругая мода.

Рассмотрено эффективное поле упругих сил при однородном магнитоупругом резонансе для магнитных образцов различной формы вблизи $\omega = 2\Omega$ (ω, Ω — частоты прецессии и упругой моды). Поле носит резонансный характер и существенно при циклическом перемагничивании ферромагнитных дисков и мелких частиц (порошков).

Проанализирован механизм низкочастотных магнитоупругих неустойчивостей при несоизмеримых частотах ($\omega \gg \Omega$). Механизм проявляется, когда состояние магнитной системы резко меняется при деформации и имеет место запаздывание этого состояния относительно деформации. Показана необходимость учета этого эффекта при возбуждении однородного ферромагнитного резонанса. Проведенные оценки порога неустойчивости вибрации диска при возбуждении однородного ферромагнитного резонанса в параллельном поле дают основание предполагать возможность практического использования этого явления.

6. В заключении суммируются результаты и высказываются соображения о некоторых возможных путях дальнейших исследований.

Основные результаты диссертации докладывались на Всесоюзном симпозиуме по тонким ферромагнитным пленкам в Иркутске (1964 г.), Всесоюзной конференции по ферро- и антиферромагнетизму в Свердловске (1965 г.), Всесоюзном совещании по ферромагнитным пленкам в Киеве (1966 г.) и опубликованы в работах [9-13].

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.Л. Гинзбург, ЖЭФ, 13, 33, 1943.
2. В.М. Файн, ЖЭФ, 36, 798, 1959.
3. Г.В. Скродский, А.Л. Кокин, ЖЭФ, 37, 302, 1959.
4. *D. Polder, Phil. Mag.* 40, 400, 99, 1949.
5. А.В. Ахиезер, В.Е. Барьяхтар, М.И. Каганов, УИИ, 71, 583, 1961.
6. А.И. Ахиезер, В.Г. Барьяхтар, С.В. Пелетминский, ЖЭФ, 35, 228, 1958.
7. *V. Auld, Proc. J.R.E.* 53, 10, 1965.
8. А.М. Родичев, ЖЭФ, 48, 860, 1965.
9. А.М. Родичев, Р.Г. Хлебопрос, ФТТ, 8, 342, 1966.
10. В.А. Игнатченко, Л.В. Михайловская, Р.Г. Хлебопрос, Изв.АН СССР, сер. физ., 31, 498, 1967.
11. А.М. Родичев, Е.А. Хлебопрос, Р.Г. Хлебопрос, ЖЭФ, 50, 626, 1966.
12. А.М. Родичев, Р.Г. Хлебопрос, ФТТ, 7, 274, 1965.
13. А.М. Родичев, Р.Г. Хлебопрос, Изв.АН СССР, сер. физ., 30, 1966.