

05.2;09

©1993

РЕЗОНАНСНОЕ ОТРАЖЕНИЕ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ

Д.А.Усанов, А.В.Скрипаль, С.А.Ермолаев

Из результатов теоретического анализа следует, что динамическая магнитная восприимчивость магнитной жидкости χ имеет резонансную особенность на СВЧ [1,2]. При фиксированной частоте эта резонансная особенность должна проявляться при изменении величины напряженности магнитного поля H . Нами наблюдалась экспериментально характерная для теоретически описанного в работах [1,2] резонанса зависимость коэффициента отражения СВЧ излучения от магнитной жидкости. Коэффициент отражения R был выбран в качестве информационного параметра в связи с возможностью ослабить влияние частотных особенностей, связанных с явлением интерференции при воздействии СВЧ излучения со слоем магнитной жидкости, заполняющей отрезок прямоугольного волновода. Для этого толщина слоя магнитной жидкости выбиралась настолько большой, чтобы несмотря на малое поглощение СВЧ излучения, устранить влияние отражения от задней поверхности слоя на зависимость коэффициента отражения от величины магнитного поля. Магнитная жидкость удерживалась в волноводе с помощью прозрачных на СВЧ диэлектрических вставок. Волновод стандартного сечения (0.34×0.72) см² с жидкостью располагался между полюсами электромагнита. Результаты измерений зависимости R от приведенного магнитного поля $H_{\text{пр}} = \frac{\gamma H}{\omega}$, где γ — гидромагнитное отношение, ω — круговая частота СВЧ излучения, на частоте 27 ГГц приведены на рис. 1. Как следует из приведенных на этом рисунке результатов, зависимость $R(H_{\text{пр}})$ носит выраженный резонансный характер.

Если пренебречь влиянием на отражение мнимой части χ и не учитывать отражения от задней поверхности слоя жидкости, то выражение для R в результате сшивания решений для участков пустого волновода и волновода, заполненного магнитной жидкостью может быть записано в виде:

$$R = \frac{c - f}{c + f},$$

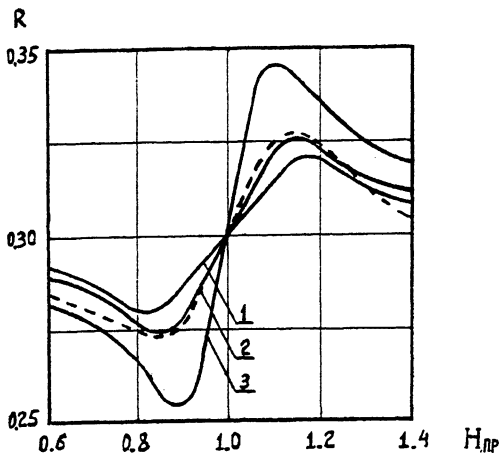


Рис. 1. Экспериментальная (пунктирная линия) и теоретические (сплошная) кривые зависимости R от $H_{\text{пр}}$: 1 — $d = 52 \text{ \AA}$, 2 — $d = 42 \text{ \AA}$, 3 — $d = 34 \text{ \AA}$.

где

$$c = \sqrt{k_0^2 - \frac{\pi^2}{a^2}}, \quad f = \sqrt{k_0^2 \varepsilon_L (1 + \chi') - \frac{\pi^2}{a^2}},$$

$k_0^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0$ — волновое число, ε_L — диэлектрическая проницаемость магнитной жидкости, ε_0 и μ_0 — диэлектрическая и магнитная проницаемости вакуума, a — размер широкой стенки волновода, χ' — действительная часть χ , равная:

$$\chi' = \frac{ML(\sigma)}{H} \frac{(1 + \eta^2)^2 H_{\text{пр}}^4 + (\eta^2 - 1) H_{\text{пр}}^2}{(1 + \eta^2)^2 H_{\text{пр}}^4 + 2(\eta^2 - 1) H_{\text{пр}}^2 + 1},$$

где

$$\sigma = \frac{\pi}{6} \cdot \frac{M d^3}{kT} H,$$

M — намагниченность насыщения магнитной жидкости, d — диаметр частиц магнитной жидкости, k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура, $L(\sigma)$ — функция Ланжевена, $\eta = \xi(L^{-1}(\sigma) - \sigma^{-1})$ — фактор затухания, ξ — постоянная затухания.

На рис. 1 приведены результаты расчета зависимости R от $H_{\text{пр}}$, полученные с использованием приведенных выше соотношений для различных размеров частиц d . Из приведенных на этом рисунке результатов следует, что ход теоретической зависимости R от $H_{\text{пр}}$ качественно хорошо совпадает с ходом экспериментальной зависимости и существенным

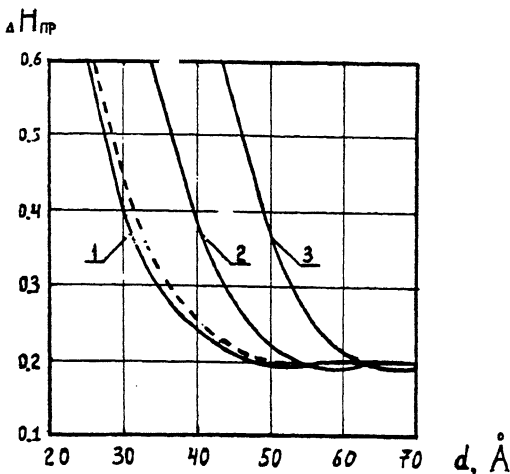


Рис. 2. Зависимости $\Delta H_{\text{пр}}$ от d рассчитанные по приближенной формуле на частоте 27 ГГц (пунктирная линия) и по строгим соотношениям на различных частотах (сплошная линия).

1 — $\omega = 27$ ГГц, 2 — $\omega = 16$ ГГц, 3 — $\omega = 8$ ГГц.

образом зависит от d . Записывая условие экстремума для зависимости R от $H_{\text{пр}}$ нетрудно убедиться, что оно совпадает с условием экстремума зависимости χ' от $H_{\text{пр}}$. Условие экстремума для зависимости χ' от $H_{\text{пр}}$ в предположении, что L и η можно считать независимыми от $H_{\text{пр}}$, дает следующее выражение:

$$\Delta H_{\text{пр}} = H_{\text{пр}2} - H_{\text{пр}1} = \frac{2\eta}{\sqrt{(1 + \eta^2)(1 - \eta^2)}},$$

где $H_{\text{пр}1}$, $H_{\text{пр}2}$ — приведенные магнитные поля, соответствующие минимуму и максимуму в зависимости χ' от $H_{\text{пр}}$.

При условии $\eta^2 \ll 1$, $\Delta H_{\text{пр}} \simeq 2\eta$. Полагая $\sigma \gg 1$, выражение для $L(\sigma)$ можно записать в виде:

$$L(\sigma) = 1 - \frac{1}{\sigma}.$$

Тогда

$$\Delta H_{\text{пр}} = 1\xi \left[1 + \frac{1}{(\sigma - 1)\sigma} \right].$$

На рис. 2 приведена зависимость $\Delta H_{\text{пр}}$ от d , рассчитанная с использованием строгих соотношений и по полученной выше приближенной формуле для частоты 27 ГГц. Видно,

что результаты расчета по приближенной формуле и результаты строгого расчета хорошо совпадают. На том же рисунке приведены аналогичные зависимости для различных значений частоты СВЧ излучения ω , полученные с использованием строгих соотношений численными методами. Из приведенных результатов следует, что с уменьшением ω , расширяется интервал значений d , для которого $\Delta H_{\text{пр}}$ существенным образом зависит от d .

Таким образом, показана возможность экспериментального наблюдения зависимости коэффициента отражения СВЧ излучения магнитной жидкости от величины напряженности магнитного поля, имеющей характерные резонансные особенности, совпадающие с резонансами в зависимости действительной части динамической магнитной восприимчивости от частоты. Показано, что разность резонансных частот существенным образом зависит от размеров частиц магнитной жидкости.

Список литературы

- [1] Рагер Ю.Л., Шлиомис М.И. // ЖЭТФ. 1974. Т. 67. С. 1064-1071.
- [2] Гелт Р.С., Игнатченко В.А., Рагер Ю.Л., Шлиомис М.И. // ЖЭТФ. 1976. Т. 70. С. 1300-1305.

Саратовский
государственный
университет

Поступило в Редакцию
15 июля 1993 г.
