

Поскольку неравенство $2\pi(\varepsilon_{i,j} + \varepsilon_{j,i}) \ll \sqrt{\varepsilon_{i,i}\varepsilon_{j,j}}$ всегда имеет место, то приближенно можно написать

$$W \approx \sum_{i=1}^n (|\vec{A}_i|^2 + |\vec{A}_i^*|^2),$$

откуда и следует, что процессы, описываемые комплексно-сопряженными амплитудами \vec{A} и \vec{A}^* , можно считать независимыми. Тогда матрицу Φ коэффициентов системы (7) можно представить в виде

$$\Phi = \begin{bmatrix} \Phi_1 & 0 \\ 0 & \Phi_2 \end{bmatrix},$$

где $\Phi_1 = \|\Phi_{i,j}\|$, при $i, j = 1, 2, \dots, n$; $\Phi_2 = \|\Phi_{i,j}\|$ при $i, j = |n+1|, |n+2|, |n+3|, \dots, 2n$. В свою очередь $\Phi_{i,j} = ik \frac{\chi_{i,j}}{2}$, а $\Phi_{i,i} = ik \left(1 + \frac{\chi_{i,i}}{2}\right)$. Отсюда получаем систему линейных дифференциальных уравнений, определяющих амплитуды \vec{A} ;

$$\frac{d\vec{A}}{dz} = \Phi_1 \vec{A}. \quad (8)$$

Аналогичная система может быть выписана для комплексно-сопряженных амплитуд \vec{A}^* . Система уравнений (8) является выражением принципа динамического обмена при одновременной дифракции нескольких пучков рентгеновского излучения в кристаллах.

Для решения системы (8) в каждом конкретном случае должны быть установлены граничные условия.

Формулировка принципа динамического обмена в виде системы связанных дифференциальных уравнений может оказаться наиболее полезной при решении дифракционных задач в структурах, где диэлектрическая проницаемость произвольным образом зависит от координат.

Автор благодарит Р. Н. Кузьмина за полезное обсуждение работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Darwin C. G. Phil. Mag., 27, 675, 1914.
2. Ewald P. P. Ann. Phys. Lpz., 54, 519, 1917.
3. Von Laue M. Ergebn. exakt. Naturwiss., 10, 133, 1931.

Поступила в редакцию
16.5 1969 г.

Кафедра
физики твердого тела

УДК 538.214

В. Б. БРАГИНСКИЙ, Н. Б. БРАНДТ, В. И. ОСИКА

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ ВЯЗКОСТИ ДИА- И ПАРАМАГНЕТИКОВ

Крутильный маятник на тонкой кварцевой нити, помещенный в вакуум, обладает весьма малым затуханием. Время релаксации маятника, имеющего период τ_0 колебаний несколько секунд, порядка 10^5 сек и более. Если на тонкой кварцевой нити подвесить исследуемый образец из непроводящего вещества и измерять время механической релаксации такого маятника при наличии постоянного магнитного поля H , то можно наблюдать увеличение затухания, связанное с запаздыванием вектора намагниченности $M = \chi VH$, вызванного комплексностью магнитной восприимчивости χ .

Уравнение, описывающее колебания образца при наличии магнитного поля перпендикулярного нити, имеет вид

$$\ddot{\varphi} + 2\delta_0 \dot{\varphi} + \omega_0^2 \varphi = - \frac{\chi VH^2}{l} \alpha, \quad (1)$$

где δ_0 — декремент затухания, вызванный потерями в нити и газовым трением, ω_0 — частота собственных крутильных колебаний маятника, I — момент инерции маятника, $\alpha = \varphi \tau_{\text{рел}}$ — угол запаздывания намагниченности, $\tau_{\text{рел}}$ — интегральное время магнитной релаксации вещества образца. Таким образом, с включением магнитного поля декремент затухания δ' колебательной системы станет равным

$$\delta' = \delta_0 + \frac{\chi V H^2}{2 \cdot I} \tau_{\text{рел}}. \quad (2)$$

Экспериментально можно легко зарегистрировать добавку к δ_0 порядка $1 \cdot 10^{-2}$. Оценим обнаружимое при этом $\tau_{\text{рел}}$ для обычных параметров крутильного маятника: $\delta_0 = 10^{-5} \text{ сек}^{-1}$; $\tau_0 = 10 \text{ сек}$; $\chi = 1 \cdot 10^{-6}$; $I = 0,1 \text{ г см}^2$; $V = 1 \text{ см}^3$ и $H = 10^3 \div 10^4 \text{ эрст}$;

$$\tau_{\text{рел}} = 1 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{2I \cdot \delta_0}{\chi V H^2} = (10^{-8} \div 10^{-10}) \text{ сек}.$$

Измерения интегральной магнитной вязкости с помощью предложенной методики для некоторых веществ проделаны на установке, схема которой приведена на рис. 1. При проведении измерений с охлажденным образцом вакуумная колба помещалась в дуар с жидким гелием. Измерены времена механической релаксации крутильных маят-

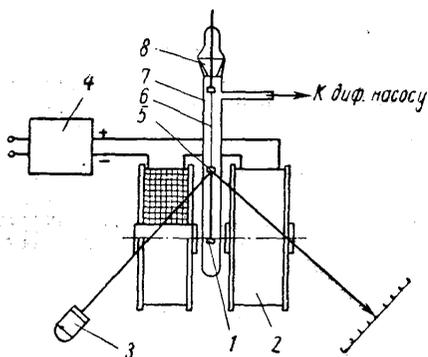


Рис. 1. Экспериментальная установка для измерения магнитной вязкости. 1 — исследуемый образец, 2 — электромагнит, 3 — осветитель, 4 — источник питания электромагнита, 5 — зеркальце, 6 — тонкая кварцевая нить $\varnothing 10 \text{ мк}$, 7 — стеклянная колба, 8 — пробка-шлифт

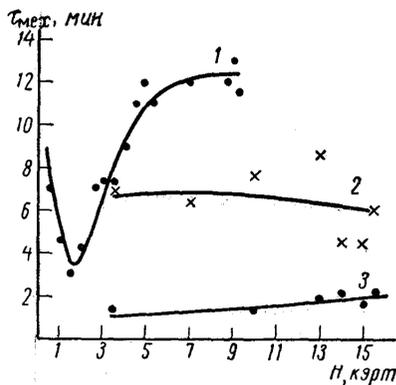


Рис. 2. Зависимость времени механической релаксации $\tau_{\text{мех}}$ крутильного маятника от напряженности магнитного поля H (для образцов из кварца высокой чистоты): 1 — обр. 1, $T=300^\circ \text{ К}$, $\tau_0=8,9 \text{ сек}$, при $H=0$ $\tau_{\text{мех}}=19 \text{ ч}$; 2 — обр. 2, $T=300^\circ \text{ К}$, $\tau_0=18,2 \text{ сек}$, при $H=0$ $\tau_{\text{мех}}=2 \text{ ч}$; 3 — обр. 2, $T=10^\circ \text{ К}$

ников в зависимости от напряженности магнитного поля и температуры. В качестве примера на рис. 2 приведены результаты измерений $\tau_{\text{мех}}$ для одного из образцов плавяного кварца высокой частоты. По измеренным временам механической релаксации было вычислено $\tau_{\text{рел}}$ кварца с помощью соотношения [2] (см. рис. 3).

Для всех исследованных образцов кварца полученные времена релаксации вещества лежат в пределах $10^{-3} \div 10^{-6} \text{ сек}$, причем они уменьшаются с увеличением приложенного магнитного поля. Охлаждение образца до температуры $\sim 10^\circ \text{ К}$ приводит к увеличению времен релаксации примерно в 6 раз.

Возможность перекачки энергии из высокочастотной крутильной степени свободы в другие низкочастотные степени свободы исключена большой разницей собственных частот. Для оценки затухания добротной системы, вызванного перекачкой энергии, нужно иметь данные о связанности двух степеней свободы. Коэффициент связанности можно оценить по небольшому изменению периода колебаний добротной системы в зависимости от величины магнитного поля. Такой расчет дает

$$\delta_{\text{перекачки}} = 2\delta_{\text{низкодобр}} \cdot (\omega_{\text{крутильн}}/\omega_{\text{низкодобр}})^4.$$

Подставляя типичные значения $\delta_{\text{низкодобр}} \approx 3 \cdot 10^{-3} \text{ 1/сек}$, $\omega_{\text{низкодобр}}/\omega_{\text{крутильн}} \sim 40$, получаем мажорирующую оценку $\delta_{\text{перекачки}} = 10^{-9} \text{ 1/сек}$. Влияние же токов Фуко в кварце для исследовавшихся образцов пренебрежимо мало.

Сходные зависимости времен релаксации от магнитного поля получены для корунда и тефлона.

Возможной причиной anomalно больших значений $\tau_{\text{рел}}$ при малых магнитных полях (до 1 кэ) является наличие ферромагнитных доменных включений в образце. На присутствие ферромагнитных доменных включений указывает отступление от зависимости $\tau_{\text{мех}} \sim \frac{1}{H^2}$ для полей больших $\sim 600 \text{ эрст}$ и насыщение зависимости $\tau_{\text{мех}}$ от

магнитного поля. Таким образом, обсуждаемый метод может быть использован также для обнаружения весьма малых ферромагнитных доменных примесей в образцах. Если предположить, что затухание механической системы в поле до $(2 \div 5) \cdot 10^3 \text{ эрст}$ в основном связано с доменными ферромагнитными включениями, то минимально обнаружимое количество ферромагнетика в виде доменов в образце в нашем эксперименте составляет $\frac{\Delta V}{V} \sim 10^{-8}$.

Вклад парамагнитных примесей в эффект интегральной магнитной вязкости должен быть очень мал. Известно (см. [1, 2]), что при комнатных температурах времена парамагнитной релаксации $\tau_{\text{рел}} \leq 10^{-6} \text{ сек}$. Полагая количество парамагнитных примесей в образце $\sim 0,1\%$ для не очень чистого кварца, получим, что их вклад в магнитную восприимчивость образца χ и, следовательно, в затухание крутильного маятника в магнитном поле не превышает $0,1\%$.

В магнитных полях, больших чем $5 \cdot 10^3 \text{ эрст}$, основной вклад в интегральную магнитную вязкость может дать эффект диамагнитной вязкости, которая, насколько известно, до настоящего времени не измерялась.

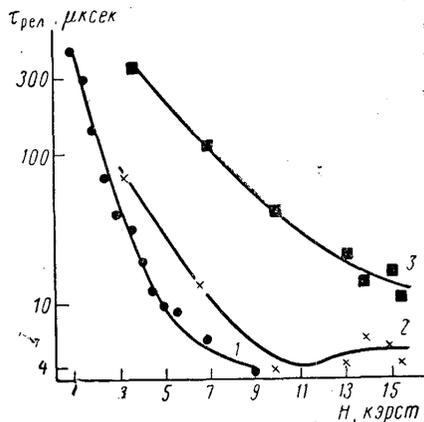


Рис. 3. Зависимость интегрального времени магнитной релаксации от напряженности магнитного поля H при $T=330$ и $T=10^\circ \text{ К}$: 1 — обр. 1, $T=300^\circ \text{ К}$, 2 — обр. 2, $T=300^\circ \text{ К}$, 3 — обр. 2, $T=10^\circ \text{ К}$

ЛИТЕРАТУРА

1. Гортер К. Парамагнитная релаксация. М., ИЛ, 1949.
2. Пейк Дж. Парамагнитный резонанс. М., ИЛ, 1963.

Поступила в редакцию
1.6 1969 г.

Кафедра
физики колебаний

УДК 621.378.1.01:631.372.413

Д. Г. АФОНИН, Ю. А. ПИРОГОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ РЕЗОНАТОРОВ СО СФЕРИЧЕСКИМИ ЗЕРКАЛАМИ В ДВУХМИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

В связи с возможностью широкого использования открытых резонаторов в интервале частот от миллиметрового до светового диапазонов в последние годы ведется систематическое изучение свойств этих перспективных резонансных систем. Вследствие ряда преимуществ (малые дифракционные потери, простота юстировки) наиболее интенсивно исследуются открытые резонаторы со сферической формой отражающих поверхностей [1—7].

Настоящая работа посвящена исследованию открытых резонаторов со сферическими зеркалами в двухмиллиметровом диапазоне длин волн ($\lambda=1,65 \div 2,53 \text{ мм}$). Исследовался характер изменения добротности резонаторов с различной апертурой зеркал при раздвижении зеркал и наблюдалось изменение радиусов каустических поверхностей колебаний вблизи поверхностей зеркал. Результаты эксперимента сравниваются с теоретическими данными [1].