

ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՐ ԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՈՒՍՈՒՄԵԱՍԻՐՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱՐ
ՄՅՈՍԲԱՈՒԵՐՅԱՆ ՍՊԵԿՏՐՆԵՐԻ ՖՈՒՐՅԵ-ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ
ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ ՀԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա. Բ. ՄԿՐՏՅԱՆ, Ա. Զ. ՀԱՅԱԳՈՐԾՅԱՆ, Գ. Ն. ՆԱԶԱՐՅԱՆ, Ն. Մ. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ

Էքսպերիմենտալ դամա-ռեզոնանսային կլանման սպեկտրների թվային մոդելավորման միջոցով ուսումնասիրված է մյուսբաուերյան միջուկների միջին բառակուսային շեղման ժամանակային կախումը տարրեր տիպի դիֆուզիոն շարժումների առկայության դեպքում: Միջին բառակուսային շեղման հարաբերական սխալի ժամանակային կախման վերլուծության հիման վրա որոշված են համապատասխան փորձի իրագործման համար անհրաժեշտ պարամետրների ամենաբարենպաստ արժեքների տիրույթները և տրված են այն ժամանակահատվածների մեծությունները, որտեղ մյուսբաուերյան միջուկների շարժման կորելյացիոն ֆունկցիաներն հնարավոր է որոշել նախորդ տրված (տվյալ դեպքում $\pm 10\%$) ճշտությամբ:

FOURIER EXPANSION OF MÖSSBAUER SPECTRA AND
POSSIBILITY OF ITS APPLICATION IN THE STUDY
OF MOLECULAR DYNAMICS

A. R. MKRTCHYAN, A. Z. ATSAGORTSYAN, T. N. NADZHARYAN,
N. M. GASPARYAN

Numerical modelling of experimental spectra of gamma resonance absorption was used for the investigation of time dependence of mean square displacement of Mössbauer nuclei for their limited and unlimited diffusion. Based on the analysis of time dependence of the relative error of mean square displacement, optimal conditions for the corresponding experiment were obtained and time intervals were calculated, within which the time correlation functions of the motion of Mössbauer nuclei may be determined with given (in this case $\pm 10\%$) accuracy.

Изв. АН Армянской ССР, Физика, т. 23, вып. 5, 279—282 (1988)

УДК: 538.22

РЕЛАКСАЦИЯ ВНУТРИДУБЛЕТНЫХ ПЕРЕХОДОВ
 Cr^{3+} В ИЗУМРУДЕ

М. О. МАНВЕЛЯН, Р. М. МАРТИРОСЯН

Институт радиофизики и электроники АН АрмССР

(Поступила в редакцию 30 июля 1987 г.)

Экспериментально исследована спин-решеточная релаксация внутридублетных переходов 1—2 и 3—4 ионов Cr^{3+} в изумруде. Из температурной зависимости скорости релаксации определены концентрационно-зависящие механизмы релаксации для этих переходов.

Известно, что в разбавленных парамагнитных кристаллах, в которых взаимодействиями между отдельными магнитными центрами (МЦ) можно пренебречь, основным механизмом спин-решеточной релаксации (СРР) при низких температурах является прямой процесс Ван-Флека с непосред-

ственной передачей энергии спин-системы в решетку со слабой температурной зависимостью ($W \sim \text{cth} \hbar \nu / 2kT$). В релаксации внутридублетных переходов в зависимости от температуры решетки большую роль могут играть двухфононные переходы через другие уровни энергии [1—3] с зависимостью $W \sim [\exp(\Delta/kT) - 1]^{-1}$.

В восстановлении равновесной населенности уровней энергии в концентрированных кристаллах существенными становятся взаимодействия между МЦ. По современным представлениям температурная зависимость концентрационно-зависящего механизма (КЗМ) релаксации определяется механизмом взаимодействия между МЦ с зависимостью $W \sim T^n$. Для мультипольных взаимодействий с энергией $E \sim r^{-m}$ (r — расстояние между МЦ) $n = 3(1 - 1/m)$. А при обменных взаимодействиях $4 > n > 0$ и зависимости от концентрации примеси и отношения kT/J (J — обменный интеграл) [4]. Последнее при $kT/J > 10^{-2}$ можно представить зависимостью $W \sim \exp(-2J/kT)$.

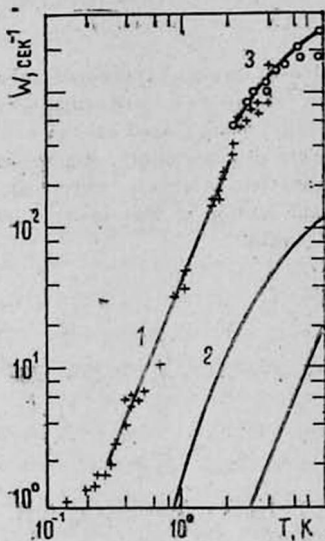


Рис. 1.

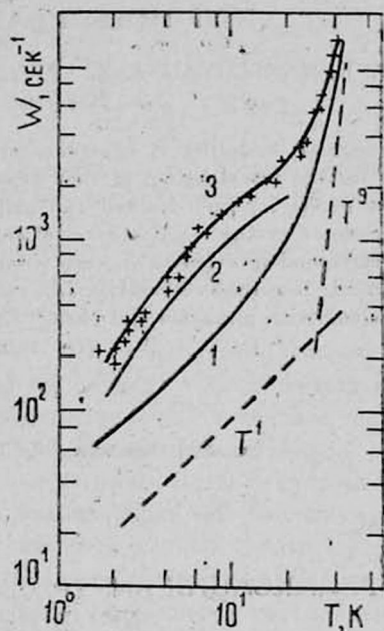


Рис. 2.

Рис. 1. Скорость релаксации перехода 1—2 Cr^{3+} в изумруде: 1) $\nu = 9,2$ ГГц, $\theta = 90^\circ$; 2) расчетная кривая; 3) $\nu = 35$ ГГц, $\theta = 65^\circ$.

Рис. 2. Скорость релаксации перехода 3—4 при $\nu = 22,2$ ГГц и $\theta = 0$: 1) $C \approx 0,03\%$; 2) разностная кривая, 3) $C \approx 0,8\%$.

В настоящей работе обсуждаются результаты измерений температурных зависимостей скорости СРР внутридублетных переходов 1—2, и 3—4 иона Cr^{3+} в концентрированном образце изумруда ($C \approx 0,8\%$, $N \geq 4,7 \times 10^{19}$ спин/см³), проведенных методом импульсного насыщения на разных частотах и ориентациях (θ) оптической оси кристалла по отношению к внешнему магнитному полю. Использование сильноконцентрированных образцов позволяет уменьшить вклад прямых процессов релаксации и определить КЗМ с большой достоверностью.

На рис. 1 приведены температурные зависимости скорости СРР перехода 1—2. Кривая 1 представляет результаты измерения на частоте $\nu = 9,2 \text{ ГГц}$ ($\theta = 90^\circ$). При $0,2 \text{ К} \leq T \leq 2,5 \text{ К}$ она описывается зависимостью $W \sim T^{2,4}$, что, согласно вышесказанному, можно приписать и обменным [4], и электрическим квадруполь-квадрупольным [5] взаимодействиям. В данном случае приписать ее обменным взаимодействиям не представляется возможным: минимальные расстояния $r = 4,6$ и $5,3 \text{ \AA}$ между ионами Cr^{3+} в изумруде с соответствующими величинами обменных интегралов $J_{11} = 67,8 \text{ ГГц}$ и $J_{22} = 5,85 \text{ ГГц}$ [6], согласно [4], при наших условиях привели бы к $W \sim T^n$, где $1,8 > n \geq 1,2$ и $n \leq 1,2$ соответственно для J_{11} и J_{22} . Значит, действительно, зависимость $W \sim T^{2,4}$ обусловлена квадрупольными взаимодействиями между ионами Cr^{3+} , что было предположено в [7] косвенно: разложением полной скорости релаксации относительно слабо концентрированного образца ($C \approx 0,2\%$) минус ван-Флековскую, рассчитанную (кривая 2) из кинетических уравнений по известным компонентам тензора спин-фононной связи [8].

При $T > 3 \text{ К}$ скорость релаксации не описывается зависимостью $T^{2,4}$, что отчетливо следует из кривой 3 ($\nu = 35 \text{ ГГц}$, $\theta = 65^\circ$) и связано со сдвигом фононного спектра с высокой плотностью на более высокие частоты, т. е. возбуждением более высоких уровней энергии, чем у слабых по своей природе квадрупольных взаимодействий. Однозначное определение нового КЗМ релаксации затруднено узостью измеренного температурного интервала.

Релаксация перехода 3—4 (рис. 2) измерялась на частоте $\nu = 22,2 \text{ ГГц}$, при $\theta = 0^\circ$. СРР разбавленного образца ($C \approx 0,03\%$ Cr^{3+}) [9] при $T \leq 12 \text{ К}$ осуществляется через лежащие ниже на расстоянии $\Delta \approx 2|D|$ уровни энергии дублета, где $D = -26,8 \text{ ГГц}$ [10] — параметр начального расщепления уровней энергии Cr^{3+} в изумруде. Разностная концентрационно-зависимая часть релаксации (кривая 2) полностью обусловлена обменными взаимодействиями и описывается зависимостью $W \sim \exp(-2J_{11}/kT)$. Последнюю можно представить зависимостью $W \sim T^n$, где величина n изменяется от $n < 1,8$ при $T = 2 \text{ К}$ до $n \geq 0,5$ при $T \approx 12 \text{ К}$, что находится в хорошем согласии с [4] для данной концентрации в исследуемом интервале температур. Так как энергия начального расщепления и обменных взаимодействий ионов Cr^{3+} (J_{11}), через уровни которых осуществляется релаксация, намного больше, чем энергия квадруполь-квадрупольных взаимодействий, то последний КЗМ в релаксации перехода 3—4 существенной роли не играет. При $T > 12 \text{ К}$ доминируют комбинационные процессы с характерной зависимостью T^9 .

Общую температурную зависимость скорости СРР перехода 3—4 можно представить выражением

$$W_{3-4} = A_1 \exp\left(-\frac{\Delta}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{\Delta}{kT}\right) - 1 \right]^{-1} + B_1 \exp\left(-\frac{2J_{11}}{kT}\right) + C_1 T^9,$$

где для упрощения записи квазиорбаховских процессов принято $\Delta \approx (\nu_1 + \nu_2)/2$, ν_1 , ν_2 — частоты соответствующих междублетных переходов.

Аналогичным образом, для перехода 1—2 можно предположить, что при $T > 2,5 \text{ К}$ концентрационно-зависимая релаксация осуществляется обменно-связанными парами Cr^{3+} — J_{11} . Тогда

$$W_{1-2} = A_2 \coth \frac{h\nu}{2kT} + B_2 \left[\exp \left(\frac{\Delta}{kT} \right) - 1 \right]^{-1} + C_2 T^{2.4} + D_2 \exp \left(-\frac{2J_{11}}{kT} \right) + E_2 T^9.$$

На основании вышесказанного следует, что концентрационно-зависимая релаксация ионов Cr^{3+} в изумруде осуществляется через уровни энергий взаимодействующих ионов по мере заселения последних. Однозначное определение конкретного КЗМ из температурной зависимости скорости СРР возможно лишь при знании энергии взаимодействия между ионами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Finn C. B. P. Orbach R., Wolf W. P. Proc. Phys. Soc., 77, 261 (1961).
2. Аминов Л. К. ЖЭТФ, 42, 783 (1962).
3. Маненков А. А., Прохоров А. М. ЖЭТФ, 42, 1371 (1962).
4. Шульга В. М., Маслов К. В. ФТТ, 28, 2161 (1986).
5. Peskovatskii S. A. Phys. Stat. Sol., 44, 543 (1971).
6. Edgar A., Hutton D. R. J. Phys., 11, 5051 (1978).
7. Манвелян М. О. и др. ФТТ, 27, 2205 (1985).
8. Бадалян В. Г., Мартirosyan P. M., Манвелян М. О. ФТТ, 20, 3599 (1978).
9. Мартirosyan P. M. и др. ФТТ, 22, 961 (1980).
10. Geusic J. E., Peter M., Schulz—du Bois O. Bell Syst. Tech. J., 38, 291 (1959).

Cr^{3+} ԻՈՆՆԵՐԻ ՆԵՐԿՐԿՆԱԿ ԱՆՅՈՒՄՆԵՐԻ ՌԵԼԱՔՍԱՑԻԱՆ ԶՄՐՈՒՆՏՈՒՄ

Մ. Ն. ՄԱՆՎԵԼՅԱՆ, Ռ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

9,2, 22,2 և 35,2Գ հաճախություններում ուսումնասիրվել է Cr^{3+} իոնների ներկրկնակի $1 \leftrightarrow 2$ և $3 \leftrightarrow 4$ անցումների սպին-ջանցային ուղադարձի ժամանակի կոնցենտրացիայից կախված մեխանիզմները (ԿԿՄ) զմրույթում: Պարզվել է, որ $1 \leftrightarrow 2$ անցումի համար 0,2—2,5 K ջերմաստիճանի տիրույթում ուղադարձի ԿԿՄ պայմանավորված է Cr^{3+} իոնների միջև էլեկտրական կվադրուպոլ-կվադրուպոլային փոխազդեցություններով՝ ուղադարձի արագության $T^{2.4}$ բնորոշ կախվածությամբ: Բարձր հաճախության ֆոնոնների զրգման հետ ($T > 2,5 K$) զերիշխում է Cr^{3+} իոնների փոխանակային զուգընթաց պայմանավորված ուղադարձի մեխանիզմը՝ $\exp(-\Delta/kT)$ կախվածությամբ, երբ $T = 2,5-12 K$: Իսկ $3 \leftrightarrow 4$ անցման ուղադարձի կոնցենտրացիայից կախված մասը պայմանավորված է միայն փոխանակային փոխազդեցություններով:

RELAXATION OF INTER-DOUBLET TRANSITIONS OF Cr^{3+} IONS IN EMERALD

M. O. MANVELYAN, R. M. MARTIROSYAN

The concentration dependent mechanisms (CDM) of spin-lattice relaxation for $1 \leftrightarrow 2$ and $3 \leftrightarrow 4$ inter-doublet transitions of Cr^{3+} ions in emerald have been studied experimentally at frequencies 9.2 GHz; 22.2 GHz and 35 GHz. In the temperature range from 0.2 K to 2.5 K the relaxation CDM for the $1 \leftrightarrow 2$ transition is shown to be due to quadrupole-quadrupole interactions between Cr^{3+} ions, the temperature dependence being $T^{2.4}$. At the excitation of high-frequency phonons (with $T > 2.5 K$), the relaxation mechanism via Cr^{3+} ion exchange pairs becomes predominant and the temperature dependence in the ($2.5 K < T < 12 K$) range is $W \sim \exp(-\Delta/kT)$. The CDM of relaxation for the $3 \leftrightarrow 4$ transition is due only to exchange interactions.