

## ИЗУЧЕНИЕ СТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ РЕЛАКСАЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ МЕТОДОМ ФОТОННОГО ЭХА

*Л.С.Василенко, Н.Н.Рубцова, В.П.Чеботаев*

Методом фотонного эха использован для определения скорости релаксации дипольного момента  $\Gamma$  в зависимости от скорости поступательного движения  $v_z$  в газе  $SF_6$  и смеси  $SF_6 - Kr$ . Сравнение полученных зависимостей с теоретическими позволило сделать вывод, что в чистом газе  $SF_6$  взаимодействие близко к  $V \sim 1/r^3$ , что связано с обменным механизмом вращательной релаксации в  $SF_6$ ; в смеси  $SF_6 - Kr$  большую роль играют короткодействующие силы.

Наиболее полная информация о потенциале взаимодействия сталкивающихся частиц получается при изучении характеристик рассеяния с помощью атомных или молекулярных пучков. Применение этой методики ограничено исследованиями главным образом столкновений частиц в основном состоянии. Спектроскопические методы позволяют исследовать столкновения возбужденных частиц. Информацию о потенциале взаимодействия можно получить при исследовании температурной зависимости ударного уширения (см. например, <sup>1</sup>). Для многих объектов использовать этот метод невозможно из-за малого диапазона изменения температуры, возможного в эксперименте. Более удобным является способ исследования зависимости столкновительного уширения от расстройки частоты излучения <sup>2</sup>. Изменение однородной ширины в зависимости от частоты и, следовательно, от скорости, может быть найдено как из анализа доплеровского контура линии поглощения <sup>2</sup>, так и с помощью методов нелинейной лазерной спектроскопии насыщенного поглощения <sup>3</sup>.

Применение метода насыщенного поглощения предъявляет высокие требования к ширине линии и стабильности частоты лазерного излучения. Кроме того, необходим учет полевого уширения исследуемой линии.

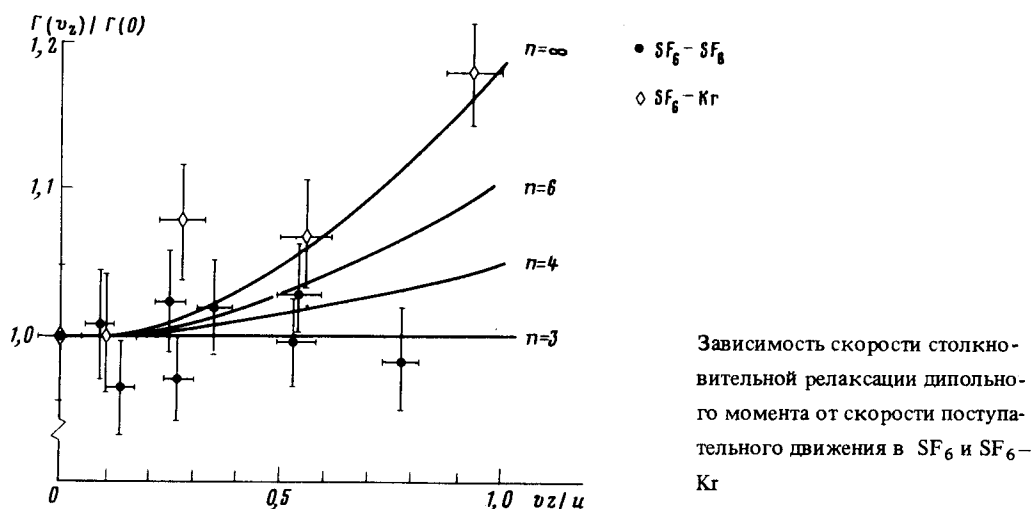
Новые возможности открывает применение для этих целей когерентных переходных процессов, в частности, фотонного эха (ФЭ). Метод фотонного эха требует лишь кратковременной стабильности частоты лазера. Сигнал ФЭ возникает в отсутствие внешних полей и поэтому позволяет непосредственно из эксперимента получать зависимость  $\Gamma(v)$ . При этом необходимо, чтобы выполнялись следующие условия: спектральная ширина возбуждающих импульсов  $1/\tau$  должна быть много меньше доплеровской ширины  $ku$ , частота Раби должна удовлетворять требованию:  $dE/\hbar \ll ku$ . В таких условиях возбуждения в образовании эхо принимают участие в основном резонансные молекулы, для которых расстройка  $\Omega$  частоты лазера от центра перехода скомпенсирована доплеровским сдвигом  $\Omega = kv_z$ .

Изменение  $v_z$  может достигаться либо путем перестройки частоты лазерного излучения, либо за счет изменения частоты перехода под воздействием внешних полей. В <sup>4</sup> сведения о

потенциале межмолекулярного взаимодействия  $^{13}\text{CH}_3\text{F}$  получены с помощью ФЭ при шарковском переключении уровней. Этот метод применим лишь для молекул, обладающих дипольным моментом.

В данной работе изменение  $\nu_z$  достигалось путем изменения частоты возбуждающего лазерного излучения. Такой способ селекции скоростей взаимодействующих с полем атомов является более универсальным и применим для любых молекул.

Эксперименты проводились в газе  $\text{SF}_6$  и его смесях с Кг. Стабильный по частоте  $\text{CO}_2$ -лазер работал на линии P(18) полосы  $00^0_1 - 10^0_0$ , совпадающей с центром линии поглощения  $\text{SF}_6$ ,  $A_2^1$  P(33) полосы  $\nu_3$ . Описание экспериментальной установки приведено в <sup>5</sup>. Частота излучения возбуждающего  $\text{CO}_2$ -лазера привязывалась к частоте стабильного лазера с регулируемой отстройкой в области  $0 \div 20$  МГц. Точность привязки частоты стабильного лазера к центру  $\text{SF}_6$ , а также частоты возбуждающего лазера к частоте стабильного была не хуже 100 кГц.



Для каждого значения отстройки частоты  $\Omega$  определялась скорость релаксации  $\Gamma(\nu_z = \Omega/k)$  по обычной зависимости интенсивности ФЭ от времени задержки  $T$  между возбуждающими импульсами:  $U_{\text{ФЭ}} = U_0 \exp(-4\Gamma T)$ . Измерения проводились для серии давления  $\text{SF}_6$  и буферного газа Кг в диапазоне 1 – 5 мторр и для задержек от 2 до 8 мкс. Результаты представлены на рис.1 в виде зависимостей относительных величин скорости релаксации дипольного момента  $\Gamma(\nu_z)/\Gamma(0)$  от величины  $\nu_z/u$ , где  $u \equiv \sqrt{2kT^0 M_1}$  – среднетепловая скорость движения возбужденных частиц по координате  $z$ .

Теоретический анализ зависимости  $\Gamma(v)$  от модуля скорости относительного движения частиц <sup>6,7</sup> для потенциала  $V \sim 1/r^3$  приводит к формуле:

$$\Gamma \sim |v - w|^{(n-3)/(n-1)}, \quad (1)$$

где  $v$  – скорость возбужденных частиц,  $w$  – скорость частиц буферного газа. В работе <sup>8</sup> показано, что в условиях  $dE/\hbar \ll ku$  (частота Раби меньше ширины доплеровского контура) измерение скорости затухания  $\Gamma$  сигналов фотонного эха как функции расстройки частоты  $\Omega$  позволяет найти зависимость  $\Gamma(v)$ , где в качестве аргумента следует взять  $v = \Omega/k$  <sup>8</sup>. Поэтому для сравнения с экспериментом достаточно провести усреднение формулы (1) по скоростям буферных частиц. Такое усреднение выполнено в работе <sup>9</sup> и дает зависимость:

$$\Gamma(\nu_z)/\Gamma(0) = \exp(-\alpha^2 x^2) \Phi\left(\frac{\gamma+3}{2}, \frac{3}{2}, \alpha^2 x^2\right), \quad (2)$$

где  $\alpha = \sqrt{M_2/M_1}$ ,  $M_2$  — масса буферных частиц,  $M_1$  — масса возбужденных частиц,  $x = v_z/u$ ,  $u = \sqrt{2kT^0/M_1}$ ,  $\gamma = \frac{n-3}{n-1}$ ,  $\Phi(a, c, z)$  — вырожденная гипергеометрическая функция.

Теоретическая зависимость (2) изображена на рис.1 сплошными линиями для нескольких значений  $n$ .

В чистом  $\text{SF}_6$  зависимость  $\Gamma(v_z)$  в исследованном диапазоне  $v_z/u$  практически отсутствует. Такой результат свидетельствует о взаимодействии типа диполь-дипольного  $V \sim 1/r^3$ . Потенциал такого вида возникает при квазирезонансном обмене колебательным квантом, приводящим к вращательной релаксации. В смеси  $\text{SF}_6 - \text{Kr}$  обнаружена довольно резкая зависимость  $\Gamma(v_z)$  (см. рис.1), что свидетельствует о вкладе взаимодействия высшей мультипольности.

Методика фотонного эха с перестройкой частоты является полезной для определения крутизны участка потенциала взаимодействия, определяющего тот или иной релаксационный процесс.

Авторы благодарят Н.М.Дюба за помощь в проведении эксперимента, А.Э.Ома за наладку системы автоподстройки и привязки частоты лазерного излучения.

#### Литература

1. Rabitz H. Ann. Rev. Phys. Chem., 1974, 25, 155.
2. Матюгин Ю.А., Проворов А.С., Чеботов В.П. ЖЭТФ, 1972, 63, 2043.
3. Mattick A.T., Kurnit N.A., Javan A. Chem. Phys. Lett., 1976, 38, 176.
4. Grossman S.D., Schenzle A., Brewer R.G. Phys. Rev. Lett., 1977, 38, 275.
5. Василенко Л.С., Рубцова Н.Н. Сб. Лазерные системы, Новосибирск, 1982, с.143.
6. Anderson P.W. Phys. Rev., 1949, 76, 647.
7. Anderson P.W. Phys. Rev., 1950, 80, 511.
8. Евсеев А.В., Евсеев И.В., Ермаченко В.М. Препринт ИАЭ № 3602/2, Москва, 1982.
9. Мацкевич В.К. Деполаризующие столкновения атомов и уширение спектральных линий. Оптика и спектроскопия, 1974, 37, 411.
10. Мкртчян М.М., Платоненко В.Т. Квантовая электроника, 1978, 5, 2104.

Институт теплофизики  
Академии наук СССР  
Сибирское отделение

Поступила в редакцию  
15 сентября 1983 г.