

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ АТОМОВ ЦЕЗИЯ В ВОДОРОДЕ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА НЕРЕЗОНАНСНОГО СПИНОВОГО ЭХА

С. П. Дмитриев, Н. А. Доватор

Знание коэффициентов диффузии паров щелочных металлов в газах необходимо как для расчета испарения и конденсации металлов в технологических установках, так и для выяснения особенностей межатомного взаимодействия, представляющего интерес для физики атомных столкновений.

Основным источником информации о коэффициенте диффузии D_0 является, как правило, эксперимент, поскольку либо отсутствие, либо разброс параметров потенциала межатомного взаимодействия у разных авторов затрудняет надежный расчет этой величины.

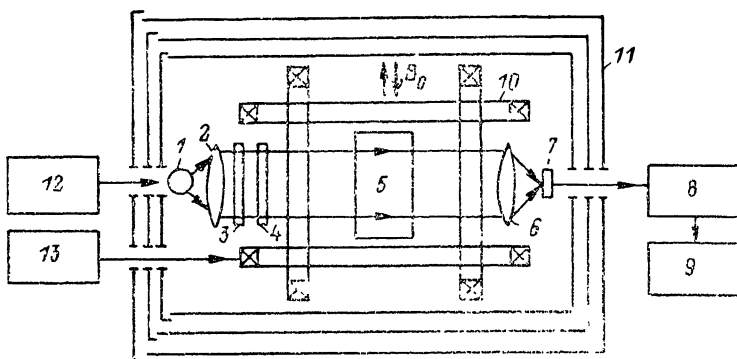


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки для измерения коэффициента диффузии атомов цезия в водороде.

1 — цезиевая лампа накачки; 2, 6 — линза; 3 — интерференционный D_1 -фильтр; 4 — циркулярный поляризатор; 5 — рабочая ячейка; 7 — фотодетектор; 8 — усилитель; 9 — осциллограф; 10 — система колец Гельмгольца; 11 — трехслойный магнитный экран; 12 — ВЧ генератор разряда; 13 — импульсный генератор.

Настоящая работа посвящена экспериментальному определению коэффициента диффузии атомов ^{133}Cs в молекулярном водороде H_2 , основанному на эффекте нерезонансного спинового эха в ансамбле оптически ориентированных атомов [1].

Экспериментальная установка (рис. 1) представляла собой магнитный экран, внутри которого размещались трехкоординатная система колец Гельмгольца для компенсации остаточного земного магнитного поля и для создания постоянного неоднородного магнитного поля, источник оптического излучения накачки в виде цезиевой спектральной лампы, рабочая ячейка, а также фотодетектор, регистрирующий изменение интенсивности света накачки на выходе из ячейки. В качестве рабочей ячейки использовались отпаянные стеклянные кюветы цилиндрической формы, содержащие металл — цезий и водород, необходимая чистота которого обеспечивалась его напуском в кювету через палладиевый натекаль.

Эксперимент состоял в следующем. Вначале под действием циркулярно поляризованного света накачки [2] создавалась макроскопическая намагниченность ансамбля атомов цезия, направленная вдоль луча накачки. Затем путем подачи импульса тока в одну из пар колец Гельмгольца включалось поперечное (перпендикулярное лучу накачки) неоднородное магнитное поле $B_0 = 1.3 \cdot 10^{-6}$ Тл.¹ Неадиабатическое включение ($\tau_{\text{вкл}} \ll (\gamma B_0)^{-1}$) этого поля приводит к тому, что суммарная намагниченность цезиевых атомов начинает прецессировать вокруг B_0 , одновременно затухая по амплитуде. Причем из-за разброса частот прецессии магнитных моментов атомов цезия, вызванного неоднородностью магнитного поля,

¹ При этом одна часть обмоток этой пары колец использовалась для создания однородного магнитного поля, а другая часть обмоток (включенных встречным образом) служила для создания магнитного градиента G . Величина G могла регулироваться путем изменения амплитуды тока, протекающего через градиентные обмотки колец Гельмгольца.

такое затухание происходит значительно быстрее, чем процесс поперечной релаксации ориентированных атомов, характеризуемый постоянной времени $T_{2\text{эфф}}^{-2} = T_{2\text{тепл}}^{-1} + T_{2\text{свет}}^{-1}$ ($T_{2\text{тепл}}$, свет — времена тепловой и оптической релаксации). Однако в отличие от процесса поперечной релаксации «неоднородное» затухание суммарной намагниченности ансамбля атомов, обусловленное расфазировкой магнитных моментов отдельных атомов, не является необратимым процессом. Действительно, если через промежуток времени $\tau < T_{2\text{эфф}}$ после включения поля B_0 произвести его инверсию, то прецессия атомных магнитных моментов будет происходить с той же по абсолютной величине частотой, но в противоположном направлении. Это приведет в конце концов к рефазировке магнитных моментов и в результате к появлению в момент времени 2τ импульса суммарной намагниченности цезиевых атомов. Такое импульсное возникновение макроскопической намагниченности после ее исчезновения, называемое сигналом нерезонансного спинового эха, регистрировалось в эксперименте по изменению поглощения света накачки, проходящего через кювету [1].

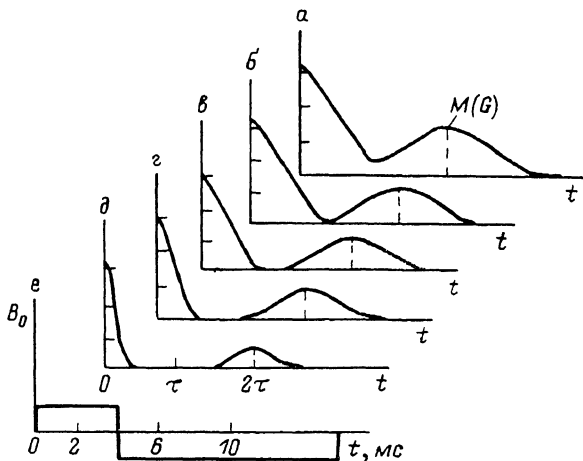


Рис. 2. Серия сигналов нерезонансного спинового эха (оглабающая фототока, осциллирующего с ларморовской частотой), полученная при различных значениях градиента магнитного поля.

$G \cdot 10^8$, Тл/м: а — 4, б — 5.1, в — 6.4, г — 7.2, д — 9.8, е — временная зависимость поперечного магнитного поля; $p_{H_2} = 58$ Тор.

Как и в методе спинового эха Хана [3], диффузионное перемещение атомов в кювете приводит к неполной рефазировке их магнитных моментов. В эксперименте это проявляется в уменьшении амплитуды $M(G)$ нерезонансного эхо-сигнала с увеличением градиента магнитного поля (см., например, [4])

$$\ln [M_0/M(G)] = \frac{2}{3} \gamma^2 D_0 \frac{p_0}{p} \tau^3 G^2,$$

где $p_0 = 760$ Тор, p — давление буферного газа, γ — гидромагнитное отношение для исследуемых атомов, M_0 — амплитуда суммарной намагниченности атомного ансамбля в момент времени 2τ при $G=0$.

Исследование амплитудной зависимости сигнала спинового эха от величины градиента G при фиксированных значениях p и τ позволяет легко определить коэффициент диффузии D_0 . В качестве примера на рис. 2 представлены сигналы нерезонансного спинового эха, полученные для цезиевой кюветы, содержащей водород при давлении 58 Тор, в случае разных по величине градиентов поперечного магнитного поля B_0 .

Анализ амплитудной зависимости эхо-сигналов от величины градиента магнитного поля, предпринятый для набора кювет, содержащих цезий и водород при фиксированных давлениях от 30 до 200 Тор, дал величину D_0 ($Cs+H_2$) = 0.43 ± 0.06 см²/с при $T=293$ К. Следует отметить, что в пределах погрешности эксперимента эта величина согласуется с данными ($D_0 = 0.47 \pm 0.05$ см²/с, $T=293$ К) работы [5], посвященной изучению продольной релаксации ориентированных атомов цезия.

Список литературы

- [1] Доватор Н. А., Житников Р. А. // Письма в ЖЭТФ. 1980. Т. 31. Вып. 2. С. 92—95.
- [2] Harper W. // Rev. Mod. Phys. 1972. Vol. 44. N 2. P. 169—249.
- [3] Hahn E. L. // Phys. Rev. 1950. Vol. 80, N 1. P. 580—594.
- [4] Muller B., Bloom M. // Can. J. Phys. 1960. Vol. 38. P. 1318—1326.
- [5] Rudecki P. // Acta Phys. Pol. 1981. Vol. A60. P. 737—747.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
4 июля 1989 г.
