

ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ АТОМОВ РУБИДИЯ В ВОДОРОДЕ И ДЕЙТЕРИИ

С.П.Дмитриев, Н.А.Доватор

Настоящая работа является продолжением исследования диффузии атомов щелочных металлов в молекулярном водороде и дейтерии. Ранее в работах [1,2] сообщалось об измерении коэффициента диффузии атомов цезия в этих газах. Настоящая работа посвящена экспериментальному определению коэффициентов диффузии атомов рубидия (^{85}Rb) в водороде (H_2) и в дейтерии (D_2) при комнатной температуре.

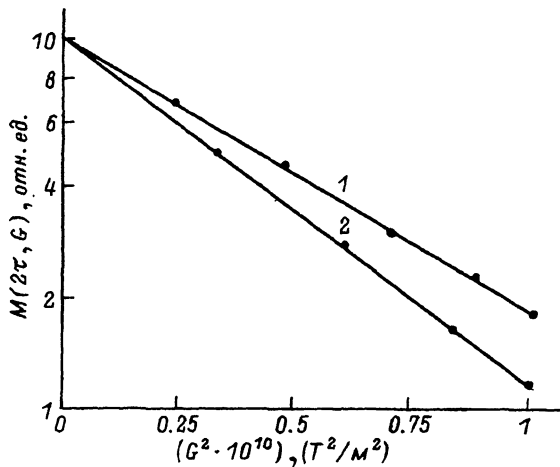
В работе использовалась методика измерений, основанная на эффекте нерезонансного спинового эха в ансамбле оптически ориентированных атомов [3]. Подробное описание экспериментальной установки и методики измерений коэффициента диффузии D_0 дано в работах [1,2]. Измерения коэффициентов диффузии оптически ориентированных атомов ^{85}Rb проводились для набора стеклянных кювет объемом $\sim 100 \text{ см}^3$, содержащих пары металла и буферный газ (водород или дейтерий) при давлении от 30 до 200 Тор. Необходимая чистота водорода (дейтерия) обеспечивалась напуском исходных газов через предварительно обезгаженный палладиевый натекагель [4]. В качестве исходного газа при напуске H_2 нами использовался технический водород. Исходный газ D_2 получали следующим образом. Используя тяжелую воду (содержание D_2 составляло 98.5%, что проверялось с помощью метода ЯМР) и металлический калий, получили щелочь KOD. В этой щелочи растворялся алюминий ($2\text{Al} + 2\text{KOD} + 6\text{D}_2\text{O} \rightarrow 2\text{K}[\text{Al}(\text{OD})_4] + 3\text{D}_2$), что приводило к образованию алюмината калия и выделению дейтерия, который поступал в палладиевый натекагель.

В эксперименте определялась зависимость амплитуды нерезонансного спинового эха $M(2\tau, G)$, полученного в ансамбле атомов рубидия, от величины градиента G магнитного поля при фиксированных значениях давления буферного газа p и времени спиновой рефазировки τ . Такая зависимость обусловлена тем, что диффузионное перемещение атомов щелочного металла в кювете приводит к необратимой потере фазовой памяти у атомных магнитных моментов (как и в эффекте спинового эха Хана [5], причем тем большей, чем выше градиент магнитного поля в объеме кюветы, содержащей исследуемые атомы,

$$M(2\tau, G)/M(2\tau, G = 0) = \exp \left[-\frac{2}{3} \gamma^2 D_0 \cdot (p_0/p) \cdot \tau^3 G^2 \right],$$

где $M(2\tau, G = 0)$ — амплитуда суммарной намагниченности рубидиевых атомов в момент времени 2τ в отсутствие градиента магнитного поля, γ — гиромагнитное отношение для атомов рубидия, $p_0 = 760$ Тор, D_0 — искомый коэффициент диффузии.

Типичные экспериментальные зависимости представлены на рисунке. Величина D_0 (при температуре $T = 293 \text{ K}$) определялась по наклону кривых 1 и 2 для фиксированных значений таких параметров



Экспериментальные зависимости амплитуды нерезонансного спинового эха от градиента магнитного поля, полученные при давлении буферного газа 60 Тор.

1 — наполнение дейтерием, 2 — водородом; $\tau = 3.6$ мс.

эксперимента, как p и τ . Следует отметить, что основная сложность при определении величины D_0 в экспериментах с использованием спинового эха [6] связана с необходимостью точного измерения величины градиента магнитного поля G в объеме кюветы. В нашем эксперименте эта сложность была преодолена путем использования оригинального метода измерения величины градиента G , описанного в работе [7].

В результате обработки массива экспериментальных данных, полученных для ячеек с разным давлением p буферных газов (H_2 или D_2) при различных значениях параметра τ , были установлены следующие величины коэффициентов диффузии атомов ^{85}Rb в H_2 и D_2 : $D_0(\text{Rb}-\text{H}_2) = 0.63 \pm 0.08 \text{ см}^2/\text{с}$, $D_0(\text{Rb}-\text{D}_2) = 0.49 \pm 0.07 \text{ см}^2/\text{с}$. Полученные результаты подтверждают обнаруженное в работах [1,2] отличие экспериментально определенного соотношения коэффициентов диффузии ($K_{\text{экс}} = D_0(\text{Rb}-\text{H}_2)/D_0(\text{Rb}-\text{D}_2)$) атомов щелочного металла в водороде и дейтерии от теоретического значения [8]

$$K_{\text{теор}} = \left[m(\text{D}_2) \cdot (m(\text{H}_2) + m(\text{Rb})) / m(\text{H}_2) \cdot (m(\text{D}_2) + m(\text{Rb})) \right]^{1/2} = 1.4,$$

где $m(\text{H}_2)$, $m(\text{D}_2)$, $m(\text{Rb})$ — массы молекул водорода, дейтерия и атомов рубидия.

Для уточнения величины $K_{\text{экс}}$ (путем уменьшения систематических ошибок) был поставлен дополнительный эксперимент. В нем искомая величина $K_{\text{экс}}$ определялась из соотношения логарифмов приведенных амплитуд эхо-сигналов ($M_{\text{прив}}(2\tau, G) = M(2\tau, G)/M(2\tau, G=0)$), измеряемых для рубидиевых кювет с водородом или дейтерием в одинаковых экспериментальных условиях (при одних и тех же значениях параметров G , T° , p , τ для кювет одинаковых размеров). Определенное таким образом отношение коэффициентов диффузии $K_{\text{экс}} = 1.26 \pm 0.05$ существенно отличается от теоретической величины 1.4.

Обнаруженное отличие величин $K_{\text{экс}}$ и $K_{\text{теор}}$ нуждается в специальном теоретическом рассмотрении. Из общих соображений можно

предположить, что это отличие связано с разной колебательно-вращательной структурой молекул H_2 и D_2 при комнатной температуре, не учитываемой в выражении для $K_{теор}$ и приводящей, например, к разным эффективным радиусам молекул H_2 и D_2 .

Список литературы

- [1] Дмитриев С.П., Доватор Н.А. // ЖТФ. 1990. Т. 60. Вып. 7. С. 198-200.
- [2] Доватор Н.А., Дмитриев С.П. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. Вып. 13. С. 64-68.
- [3] Доватор Н.А., Житников Р.А. // Письма в ЖЭТФ. 1980. Т. 31. Вып. 2. С. 92-96.
- [4] Бэррер Р. Диффузия в твердых телах. М.: ИЛ, 1948. 450 с.
- [5] Hahn E.L. // Phys. Rev. 1950. Vol. 80. P. 580.
- [6] Вашман А.А., Пронин И.С. Ядерная магнитная релаксация и ее применение в химической физике. М.: Наука, 1979. 236 с.
- [7] Доватор Н.А. А.С. № 1709260. БИ. 1992. № 4.
- [8] Mason E.A., Marrero T.P. // Adv. Mol. Phys. 1970. Vol. 6. P. 56.

Физико-технический институт
им.А.Ф.Иоффе

Поступило в Редакцию
21 июля 1993 г.

07;12
© 1994 г.

Журнал технической физики, т. 64, в. 3, 1994

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАПИЛЛЯРНОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ЛИНЗЫ ДЛЯ МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.В.Бессараб, М.В.Губарев, А.И.Зарецкий, Н.В.Жидков,
А.И.Коломийцев, М.А.Куматов, А.В.Кукин, Г.Ф.Насыров,
И.Ю.Пономарев, В.Г.Рогачев, Н.Н.Рукавишников, Н.А.Суслов,
С.А.Сухарев, В.А.Токарев

Введение

В настоящее время широко обсуждается возможность использования таких мощных источников мягкого рентгеновского излучения (РИ), как высокотемпературная лазерная плазма и Z-пинч, для решения проблем микроэлектроники, материаловедения, биологии и медицины.

При этом зачастую из соображений сохранности исследуемые объекты не могут находиться вблизи таких источников, поскольку их РИ сопровождается мощными тепловыми и корпускулярными потоками, а также интенсивными магнитными и электрическими полями. В то же время для ряда применений требуется не только высокая интенсивность, но и локализация РИ в достаточно малом объеме.

В связи с этим представляет большой интерес предложенная авторами работы [1] капиллярная рентгеновская линза, в которой используется эффект полного внешнего отражения. Сравнительно недавно первые испытания подобного устройства при использовании лазерно-плазменного источника мягкого РИ проведены авторами работы [2].