

## ГАЗОКИНЕТИЧЕСКИЙ МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС

*В.Д.Борман, Л.Л.Горелик, Б.И.Николаев, В.В.Смициги*

Известно, что коэффициенты переноса газов с несферичными молекулами уменьшаются в магнитном поле [1-6]. Эффект объясняется тем, что ввиду присущей молекулам несферичности прецессия их магнитных моментов в магнитном поле приводит к увеличению их эффективного сечения столкновений. В настоящей заметке приводятся результаты исследования указанного эффекта во взаимно перпендикулярных постоянном и переменном магнитных полях ("скрещенные" поля). Поскольку в таких полях конец вектора момента вращения молекулы описывает пространственную кривую (а не окружность, как в случае постоянного поля) можно было предположить, что в этих полях должно иметь место дополнительное увеличение сечения столкновений. Кроме того, учитывая резонансный характер прецессии в этих полях [7], можно было предположить, что упомянутое увеличение должно иметь максимум при равенстве частоты переменного поля частоте прецессии. Ниже приводятся результаты экспериментов, подтверждающих существование резонансного эффекта на примере теплопроводности кислорода.

На рис.1 приведена принципиальная схема установки.\* Датчик представляет собой две сообщающиеся между собой стеклянные камеры (внутренним диаметром 15 мм), в которых натянута подогреваемая токком платиновые нити  $\phi$  50 мк. Последние являются двумя плечами моста Уитстона. В диагональ моста включен фотооптический усилитель

Ф 116/1. Одна из камер помещена в соленоид ( $C_B$ ), создающий вдоль нее высокочастотное магнитное поле ( $H_{\sim}$ ). Эта камера вместе с "высокочастотным" соленоидом помещена в большой соленоид ( $C_P$ ), который создает постоянное поле ( $H_{-}$ ), направленное перпендикулярно  $H_{\sim}$ . Для предотвращения емкостных токов между платиновой нитью и высокочастотным соленоидом последней окружана электростатиче-

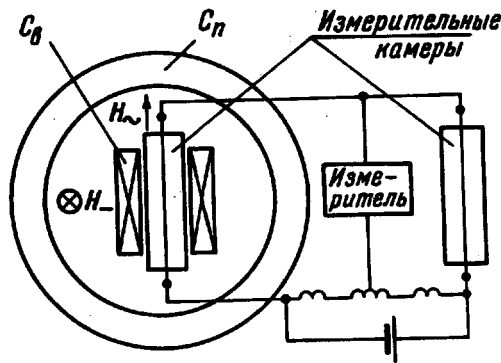


Рис.1

ским экраном. Экранируются также и остальные высокочастотные цепи. Об относительном изменении теплопроводности ( $\epsilon_{\sim} = -\Delta\lambda_{\sim}/\lambda$ ), возникающем при включении магнитного поля  $H_{\sim}$  можно судить по разбалансу моста. В описываемых ниже опытах исследовалась зависимость  $\epsilon_{\sim}$  от частоты переменного поля ( $f$ ) при заданных значениях  $H_{\sim}$  и  $H_{-}$ . Измерения проводились при давлении ( $p$ )  $6 \cdot 10^{-2}$  мм рт.ст. (с учетом температурного скачка между платиновой нитью и окружающим газом), при комнатной температуре, в диапазоне значений  $H_{-} = 0 \div 3,3$  э и значения  $H_{\sim} = 0,4$  э при изменении  $f$  от 50 гц до 2 Мгц. Абсолютная погрешность измерений  $\epsilon_{\sim}$  составляла приблизительно  $\pm 10^{-5}$ . Относительный ход кривых  $\epsilon_{\sim}(f)$  определялся, в среднем, с точностью 10%.\*\*. Отсутствие паразитных явлений подтверждалось, в частности, тем, что в указанном диапазоне полей и частот эффект в аргоне оказывался равным нулю.

Для линейных молекул среднюю частоту прецессии можно оценить по формуле

$$\Omega = \mu H/M,$$

где  $\mu$  — эффективный магнитный момент молекулы. У молекул  $O_2$ , находящихся в состоянии  $\sigma = \pm 1$  ( $\sigma$  — проекция электронного спина на направление  $M$ )  $\mu = \mu_0$  ( $\mu_0$  — магнетон Бора) и при  $H_{-} = 3,0$  э  $\Omega \approx 1,5$  Мгц.

На рис.2 приведен график зависимости  $\epsilon_{\sim}(f)$  для  $H_{-} = 3,3$  э (когда  $H_{-}/p \approx 60$  э/мм рт.ст.). При этом функция  $\epsilon(H_{-}/p)$  имеет насыщение (по  $H_{-}$ ), ввиду чего в условиях нашего эксперимента добавление постоянного поля  $\sim 0,4$  э в любом направлении практически не вызывает изменения  $\epsilon$ . Как видно из рисунка,  $\epsilon$  достигает максимума при  $f \approx \Omega$ . Полуширина максимума кривой  $\epsilon_{\sim}(f)$  ( $\approx 2/5$ ) определяется статистическим распределением значений  $M$  и отношением  $H_{\sim}/H_{-}$ .

Отметим, что изменение  $H_{\sim}$  от 0,4 до 0,8 э приводит к увеличению  $(\epsilon_{\sim})_{\max}$  примерно вдвое и к увеличению полуширины примерно в 2 раза. Приведенные данные указывают на то, что рассматриваемая резонансная кривая обусловлена явлением предположенного нами газокинетического резонанса. Дополнительное подтверждение этому можно по-

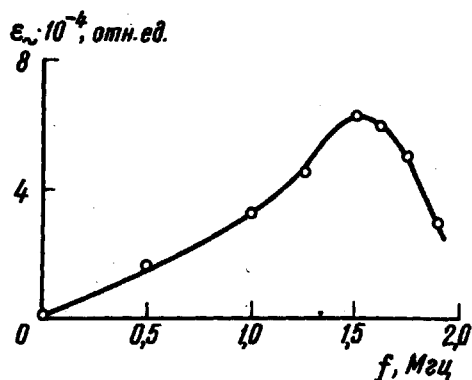


Рис.2

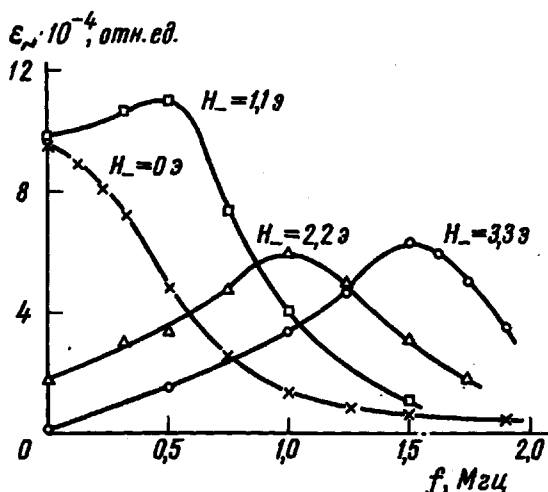


Рис.3

лучить на рис.3, где сопоставлены между собой кривые  $\epsilon_{\sim}(f)$  при различных значениях  $H_{\sim}$ . При этом для кривой  $H_{\sim} = 0$  показан лишь ее относительный ход. Названная кривая, как и следовало ожидать, резонанса не имеет. Начиная с  $f \sim 0,1$  Мгц, что по порядку величины равно частоте столкновений молекул, наблюдается заметное монотонное уменьшение  $\epsilon_{\sim}$  с увеличением  $f$ . Это явление аналогично обнаруженному нами ранее явлению влияния переменного электрического поля на коэффициенты переноса в полярных газах [8]. В связи с тем, что при полях  $H_{\sim} = 1,1$  и  $2,2$  э функция  $\epsilon(H_{\sim}/p)$  не достигает насыщения, указанное явление приводит к искажению начального хода резо-

нансных кривых для этих полей, особенно в первом случае. Тем не менее, приведенные кривые подтверждают наличие и дают представление о характере газокинетического резонанса. Из рисунка видно, что значения  $f$ , соответствующие  $(\epsilon_{\sim})_{\max}$ , пропорциональны значениям  $H_{\sim}$ .

Очевидно, что обнаруженный нами эффект должен быть присущ также и непарамагнитным газам. Можно думать, что в этом случае резонанс должен быть значительно более острым, чем в случае кислорода: так как вращательные магнитные моменты пропорциональны их механическим моментам, то частоты прецессии всех молекул будут одинаковы. Представляется также очевидным, что аналогичный эффект должен быть присущ полярным газам, помещенным в скрещенные электрические поля.

В дальнейшем предполагается проведение более тщательных исследований в кислороде (в частности, исследование резонанса для молекул с составляющей  $\sigma = 0$ ), аналогичных исследований в непарамагнитных газах, а также в полярных газах в скрещенных полях.

В заключение авторы выражают благодарность И.К.Кикоину за стимулирующий интерес к работе, Н.А.Колокольцову за помощь в работе, Л.А.Максимову и Ю.В.Михайловой за полезное обсуждение и В.И.Николаеву за помощь в изготовлении приборов.

Поступил в редакцию  
2 августа 1967 г.  
После переработки  
29 сентября 1967 г.

### Литература

- [1] H.Senftleben, J.Pietzner. Ann. der. Phys., 19, 907, 1933.
- [2] E.Rieger. Ann. der. Phys., 31, 453, 1938.
- [3] J.J.M.Beenakker, G.Scoles, H.F.P.Кноар, R.M.Jonkman. Phys. Lett., 2, 5, 1962.
- [4] Л.Л.Горелик, В.В.Синицын. ЖЭТФ, 46, 401, 1964.
- [5] Л.Л.Горелик, Ю.Н.Редкобородый, В.В.Синицын. ЖЭТФ, 48, 761, 1965.
- [6] J.Korving. The influence of magnetic field on the transport properties of gases of polyatomic molecules. Thesis, Leiden, 1967.
- [7] А.А.Абрагам. Ядерный магнетизм. М., ИИЛ., 1963.
- [8] В.Д.Борман, Л.Л.Горелик, Б.И.Николаев, В.В.Синицын. Письма ЖЭТФ, 5, 105, 1967.

\* В некоторой мере она аналогична установке, описанной в [4].

\*\* В работе [6] высказываются сомнения относительно правомерности применения "метода нагретой проволоки" для измерений  $\epsilon$  в области давлений  $\sim 0,1$  мм рт.ст. В связи с этим следует заметить, что приведенные в работах [1,2,4,5] данные опровергают эти сомнения.