

ВЛИЯНИЕ ГРАДИЕНТА МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ КИСЛОРОДА

Л.Л.Горелик, В.В.Синицын

Известно, что коэффициенты переноса газов зависят от величины и направления магнитного поля (см. [1-7]). Однако до недавнего времени не имелось каких-либо данных, указывающих на зависимость этих коэффициентов от градиента магнитного поля. В последнее время нами обнаружено, что в магнитном поле можно получить большой нечетный эффект изменения теплопроводности кислорода, если создать определенный градиент этого поля. Существование нечетного эффекта для теплопроводности в однородном поле было ранее показано теоретически в работах [6,7] и экспериментально в работе [5]. Он состоит в том, что, если создать в газе градиент температуры (T) в направлении, перпендикулярном к магнитному полю (H), то в направлении, перпендикулярном H и $\text{grad } T$, возникнет тепловой поток. Эффект вытекает из тензорного характера теплопроводности газа (λ) в магнитном поле. Возникающая вследствие этого поперечная разность температур меняет свой знак при изменении направления магнитного поля на обратное ("нечетный" эффект). Относительное изменение теплопроводности в нечетном эффекте будет в дальнейшем обозначаться через $\epsilon_{\text{неч}} = \Delta\lambda_{\text{неч}}/\lambda$. Ниже приводятся краткие сведения о результатах экспериментов, проведенных нами с целью наблюдения в кислороде нечетного эффекта, который вызван наличием градиента магнитного поля.

Измерительная камера, с помощью которой проводились исследования, аналогична описанной в [3]. На рис.1,*а* изображено ее поперечное сечение. Оболочка камеры представляет собой помещенный в соленоид латунный стакан (см.). При расположении камеры внутри соленоида поле в ней оказывается практически однородным. Для получения относительно большой неоднородности поля в области камеры ее средняя часть помещается на краю соленоида (рис.1,*б*). Вдоль стакана, по сечению AB натянута проволока N , по диаметральному сечению — платиновые нити N_1 и N_2 , а по сечению CD смонтирована латунная пластина для теплоотвода. Проволоки N подогреваются током для

создания градиента температуры ("градиентные" проволоки). Направление градиента температуры, который обуславливает нечетный эффект в области AB , определяется близостью градиентных проволок к поверхности стакана (на рис.1,*a* показано направление эффективного градиента температуры). Градиентные проволоки включаются в мост Уитстона таким образом, что две равные половины общего количества проволок, AO и OB , составляют два, имеющих общую вершину, плеча моста. Если в направлении AB возникает тепловой поток, то появляющаяся в этом случае между группами проволок AO и OB разность температур приводит к разбалансу моста. О величине $\epsilon_{\text{неч}}$ удобно судить по разбалансу моста, возникающему при изменении направления поля на обратное.

В случае коаксиального расположения камеры и соленоида иногда применялась несколько иная методика измерений. Поскольку в этом случае в плоскости, которую образуют нити N_1 и N_2 , отсутствует со-

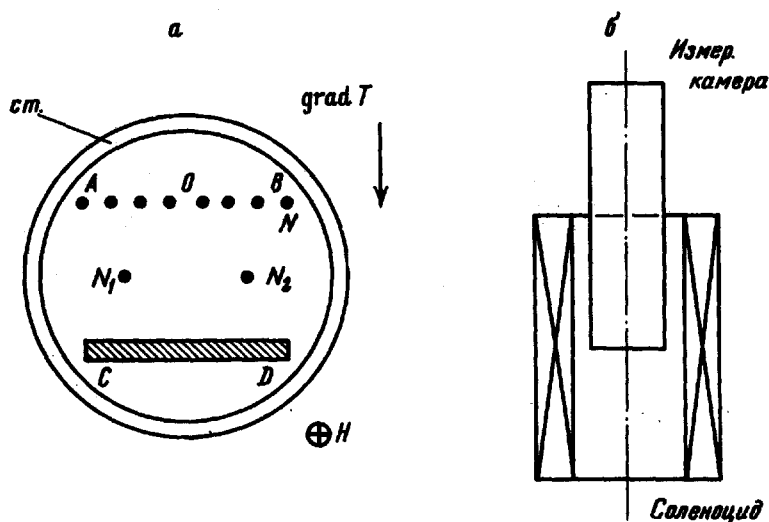


Рис.1

ставляющая $\text{grad } T$ в направлении $\text{grad } T$, то, как это будет ясно из сказанного ниже, наличие $\text{grad } H$ практически не вызывает нечетного эффекта в направлении $N_1 N_2$. При этом об относительном изменении разности температур между группами проволок AO и OB оказывается возможным судить косвенно по изменению разности температур между нитями N_1 и N_2 ("дополнительными" нитями). Для этого последние включаются в мост Уитстона в качестве отдельных плеч, имеющих общую вершину. Такая методика позволяет повысить точность измерений, поскольку в отличие от градиентных, дополнительные нити обладают сравнительно хорошей тепловой симметрией. Заметим при этом, что пластина CD способствует созданию приемлемого температурного режима для дополнительных нитей.

Описываемые ниже исследования проводились при комнатной температуре, давлениях кислорода = 1 мм рт.ст. и магнитных полях до 650 э. Качественные опыты, проведенные при различных расстояниях от оси камеры до оси соленоида, а также опыты с помощью электромагнита со специальными полюсами показали, что заметная зависимость

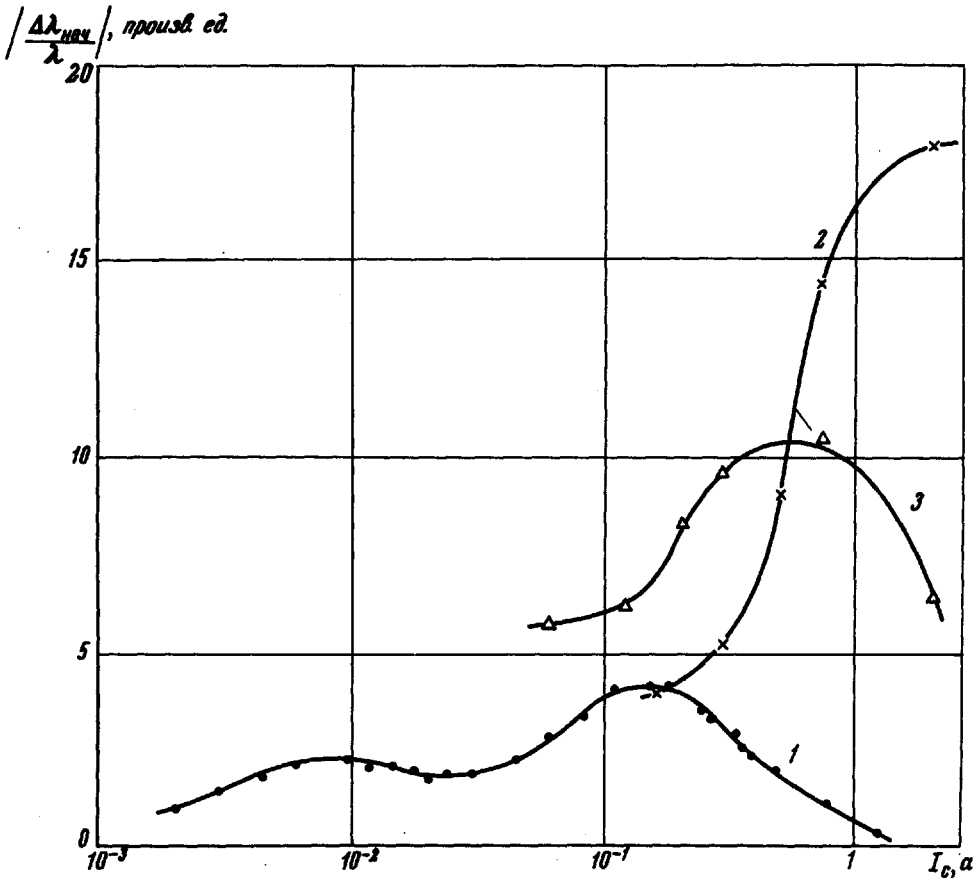


Рис.2. При $I_c = 1$ а, $H_{\text{макс}} = 300$ э, $(\text{grad } H)_{\text{макс}} = 50$ э/см

$\epsilon_{\text{неч}}$ от $\text{grad } H$ имеет место лишь тогда, когда $H \perp \text{grad } T$, а $\text{grad } H$ находится в плоскости, образуемой векторами H и $\text{grad } T$, и составляет с вектором H угол, заметно отличный от нуля. На рис.2 приводятся зависимости $\epsilon_{\text{неч}}$ от тока через соленоид (I_c) в однородном и неоднородном полях (зависимости 1 и 2, 3, соответственно), полученные при коаксиальном расположении измерительной камеры и соленоида. Кривые $\epsilon_{\text{неч}}(I_c)$ построены в одинаковом масштабе, с учетом температурного скачка между нагреваемыми элементами и газом в камере. Сравнение кривых 1 и 2, полученных при давлении 1 мм рт.ст., показывает, что максимальное значение $\epsilon_{\text{неч}}$, достигнутое в неоднородном поле (при $\text{grad } H = 100$ э/см), приблизительно в пять раз больше максимального значения $\epsilon_{\text{неч}}$, которое может быть достигнуто в одно-

родном поле. Кроме того, видно, что максимальное значение эффекта в неоднородном поле достигается при таком значении $H_{\text{макс}}$ (600 э), когда эффект в однородном поле приближается к нулю. Сравнение кривой 1 с полученной при давлении 0,4 мм рт.ст. кривой 3 также приводит к выводу о сильной зависимости $\epsilon_{\text{неч}}$ от grad H . Наличие максимума у кривой 3 указывает на существование некоторой аналогии в ходе кривых, описывающих поведение $\epsilon_{\text{неч}}$ в однородном и неоднородном полях.

Наряду с описанными опытами были проведены также качественные опыты, в которых наблюдалась зависимость $\epsilon_{\text{неч}}$ от H при заданном значении grad H . Так, например, при $p \cong 1$ мм рт.ст. и $(\text{grad } H)_{\text{макс}} = 100$ э/см изменение $H_{\text{макс}}$ от 900 до 300 э приводит к увеличению $\epsilon_{\text{неч}}$ в пять раз. При этом $\epsilon_{\text{неч}}$ оказывается примерно в три-четыре раза больше максимального значения $\epsilon_{\text{неч}}$, указанного на рис.2.

Интересно отметить, что существенная зависимость $\epsilon_{\text{неч}}$ от grad H достигается при таких значениях grad H , когда изменение частоты прецессии молекул уже на расстоянии длины свободного пробега составляет величину того же порядка, что и частота прецессии в случае появления заметного нечетного эффекта в однородном поле. Это обстоятельство, по-видимому, позволяет связать наблюдаемое явление с тем, что создание градиента поля приводит к усложнению характера движения молекул с магнитным моментом на расстоянии порядка длины свободного пробега. Предварительные теоретические расчеты, выполненные в связи с полученными экспериментальными результатами Л.А.Максимовым и Ю.В.Михайловой, качественно подтверждают эти результаты. В дальнейшем предполагаются более тщательные исследования обнаруженного явления в различных газах.

Авторы выражают благодарность И.К.Кикоину и В.Х.Волкову за интерес к работе, Л.А.Максимову и Ю.В.Михайловой за полезное обсуждение, В.И.Николаеву за помощь в изготовлении приборов.

Поступило в редакцию
27 июня 1967 г.

Литература

- [1] H.Senftleben, J.Pietzner. Ann. d. Phys., 16, 907, 1933; 27, 108, 1936.
- [2] J.M.Beenakker, G.Scoles, H.F.P.Кнаар, R.M.Jonkman. Phys. Lett., 2, 5, 1962.
- [3] Л.Л.Горелик, Ю.Н.Редкобородый, В.В.Синицын. ЖЭТФ, 48, 761, 1965.
- [4] J.J.Korving, H.Hulsman, H.F.P.Кнаар, J.J.M.Beenakker. Phys. Lett., 21, 5, 1966.
- [5] Л.Л.Горелик, В.Г.Николаевский, В.В.Синицын. Письма ЖЭТФ, 2, 456, 1966.
- [6] H.F.P.Кнаар, J.J.M.Beenakker. Heat conductivity and viscosity of a gas of non-spherical molecules in a magnetic field. Suppl. No 124. to the Communications Kamerlingh Onnes Laboratorium, Leiden, Netherlands.
- [7] Ю.М.Каган, Л.Г.Максимов. ЖЭТФ, 51, 1893, 1966.