

ТЕПЛОЕМКОСТЬ БЕЗВОДНОГО ХЛОРИСТОГО НИКЕЛЯ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

М.О.Кострюкова, О.А.Зарубина

Безводный хлористый никель NiCl_2 испытывает превращение в антиферромагнитное состояние при температуре $T_c \sim 52^\circ\text{K}$ и относится к классу слоистых антиферромагнетиков, впервые рассмотренных Ландау [1]. В этих антиферромагнетиках спины в слоях упорядочены ферромагнитно, а между слоями имеет место относительно слабое антиферромагнитное взаимодействие.

Кристаллографическая слоистая структура NiCl_2 типа D_{3d}^5 , и перпендикулярно слоям ионов Ni направлена ось симметрии C_3 .

NiCl_2 полностью изотропен [2], как выше так и ниже T_c , и в связи с этим можно полагать, что спины в антиферромагнитном состоянии ориентируются в плоскости базиса.

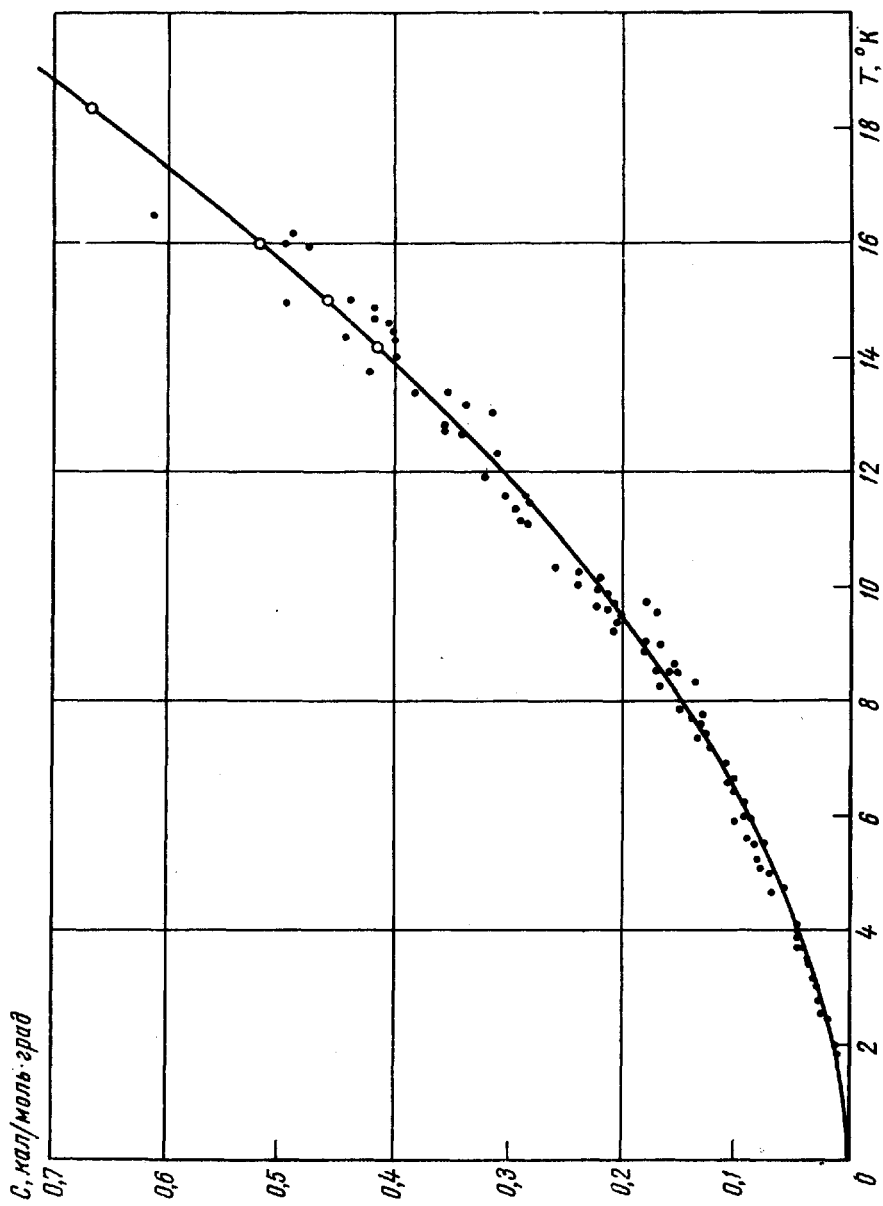


Рис.1

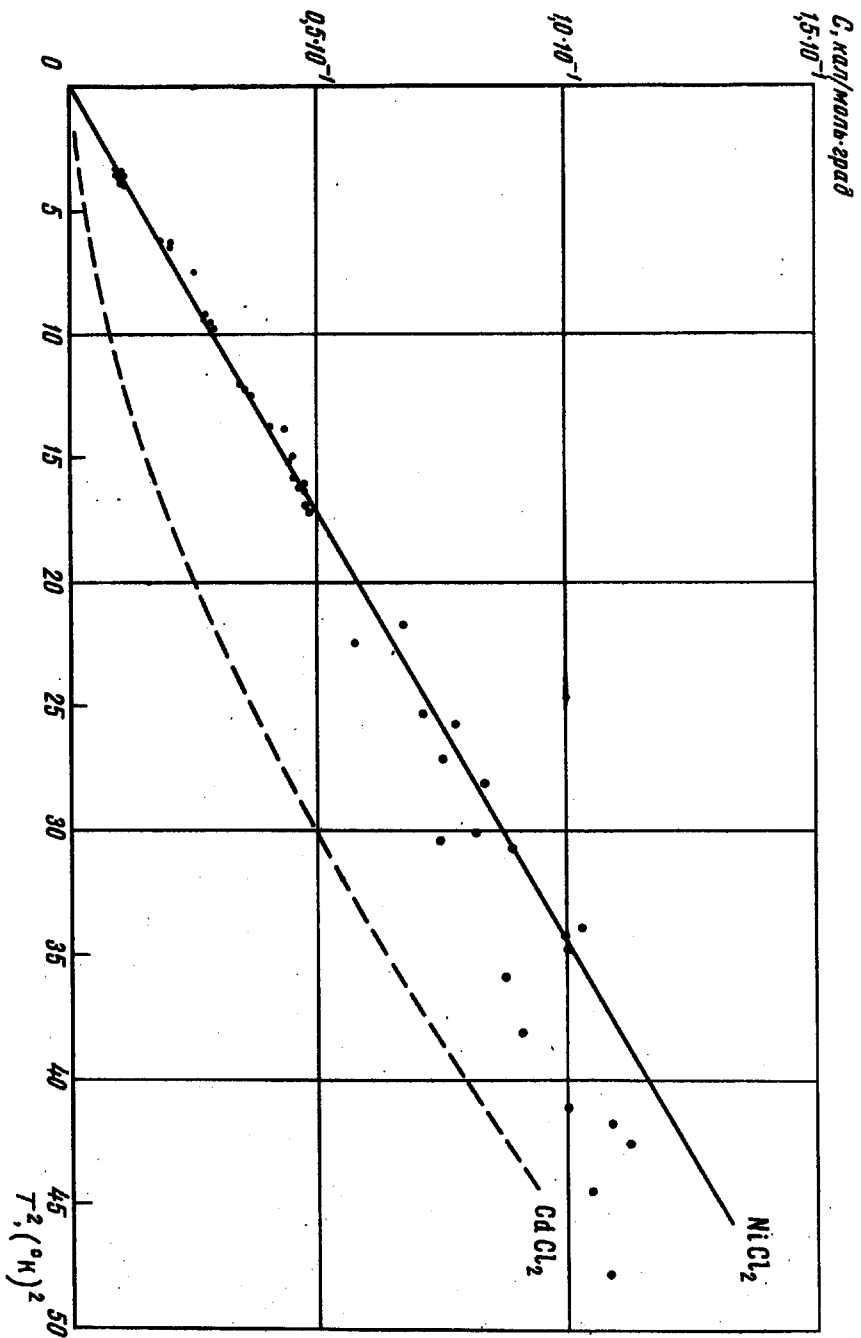


Рис. 2

Электронный резонанс на монокристалле NiCl_2 при частоте $9,2 \text{ Гц}$ обнаружен ниже T_c вплоть до 10°K и объясняется наличием низкочастотной ветви антиферромагнитного резонанса [3].

Теплоемкость NiCl_2 была измерена ранее выше 14°K [4,5]. Измерения теплоемкости NiCl_2 между $1,8$ и 16°K были предприняты в настоящей работе для выяснения особенностей энергетического спектра слоистых антиферромагнетиков.

Безводный хлористый никель был получен из гидрата $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Обезвоживание производилось в токе сухого HCl при 400°C . Затем температура печи повышалась до 1000°C , и NiCl_2 дважды возгонялся в токе HCl . Обезвоженная соль весом $\sim 80 \text{ г}$ помещалась в калориметр, конструкция которого ранее описывалась [6].

Результаты наших измерений теплоемкости NiCl_2 в области от $1,8$ до 16°K представлены на рис.1 в координатах $C - T$. На этом же графике приведены данные из работы [5], в которой теплоемкость NiCl_2 исследовалась выше 14°K (кружки на графике). Видно, что наши измерения хорошо сшиваются с последними. Экспериментальные точки, полученные нами, ложатся на плавную кривую.

На рис.2 теплоемкость NiCl_2 в интервале от $1,8$ до 7°K приведена в координатах $C - T^2$. Теплоемкость NiCl_2 , как видно, до $\sim 5^\circ\text{K}$ следует квадратичной зависимости

$$C \left[\frac{\text{кал}}{\text{моль} \cdot \text{град}} \right] = 2,93 \cdot 10^{-3} T^2.$$

В работе Ицкевича и Стрелкова [7] была подробно исследована теплоемкость решетки слоистых немагнитных галогенидов кадмия. Для изоморфного CdCl_2 найдена кубическая температурная зависимость теплоемкости ниже $4,5^\circ\text{K}$, а отклонения от кривой Дебая, свойственные слоистым решеткам, обнаружены при более высоких температурах. Теплоемкость CdCl_2 при низких температурах изображена пунктиром на рис.2. Закон T^3 для теплоемкости решетки ниже 4°K наблюдается также у изоморфного FeCl_2 [8].

Общая теплоемкость NiCl_2 при гелиевых температурах изменяется по закону T^2 , а по абсолютной величине существенно (в 2–6 раз) больше теплоемкости решетки изоморфных хлоридов CdCl_2 и FeCl_2 .

Однако при более высоких температурах кривая теплоемкости хлористого никеля проходит заметно ниже чем у CdCl_2 и FeCl_2 . Поскольку нет оснований ожидать аномалии в поведении теплоемкости решетки при низких температурах, где обычно выполняется закон T^3 , можно думать, что вклад решетки в общую теплоемкость NiCl_2 ниже 4°K не превышает теплоемкость CdCl_2 .

В таком случае большую теплоемкость NiCl_2 в гелиевой области можно объяснить магнитным вкладом, а квадратичная температурная зависимость теплоемкости, по-видимому, связана с особенностями магнитного энергетического спектра слоистых антиферромагнетиков.

Теоретически спектр спиновых волн в NiCl_2 рассмотрен в работе Иошимори [9]. В этой работе показано, что низкочастотные спиновые волны аналогичны волнам в трехмерном антиферромагнетике и имеют вид

T^3 для теплоемкости при низких температурах. Высокочастотные волны, когда можно пренебречь взаимодействием между слоями, соответствуют случаю двухмерной ферромагнитной системы. При этом магнитная теплоемкость изменяется линейно с температурой. Согласно оценкам Иошимори зависимость T^3 для теплоемкости $NiCl_2$ должна иметь место при $T \ll 4^\circ K$, а линейный закон при $T \gg 10^\circ K$. Наши измерения согласно этим оценкам проведены в промежуточной области температур.

В заключение приносим глубокую благодарность А.С.Боровику-Романову, принявшему участие в обсуждении результатов, и А.И.Шальникову за постоянное внимание к работе.

Физический факультет
Московского
Государственного университета
им. М.В.Ломоносова

Поступило в редакцию
26 октября 1967 г.

Литература

- [1] Л.Д.Ландау. *Sov. Phys.*, 4, 675, 1933.
- [2] H.Bizette, T.Terrier, B.Tsai. *C.R.Paris*, 243, 1295, 1956.
- [3] М.О.Кострюкова, И.Л.Скворцова. *ЖЭТФ*, 47, 2069, 1964.
- [4] О.Н.Трапезникова, Л.Шубников, Г.Милютин. *Sov. Phys.*, 9, 237, 1936.
- [5] R.H.Busey, W.F.Giauque. *I.Am. Chem.Soc.*, 74, 4443, 1952.
- [6] М.О.Кострюкова. *ДАН СССР*, 96, 959, 1954.
- [7] Е.С.Ицкевич, П.Г.Стрелков. *ЖЭТФ*, 32, 467, 1957.
- [8] М.О.Кострюкова. *ЖЭТФ*, 46, 1601, 1964.
- [9] A.Yoshimori. *Phys. Rev.*, 130, 1312, 1963.

РЕЗОНАНС ФЕРМИ В СПЕКТРЕ ВКР КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО *n*-НИТРОАНИЛИНА

Я.С.Бобович, А.В.Боршкевич

Согласно квантовомеханической теории ВКР, развитой в [1] Джаваном, в мощном поле световой волны должно наблюдаться штарковское смещение линий в фиолетовую сторону спектра. В типичном случае, достаточно далеко от области резонанса, величина этого смещения по оценке [1] имеет порядок величины 1 см^{-1} . По этой причине названный эффект трудно наблюдать в конденсированной фазе вещества, но он достоверно установлен и интенсивно изучается в газах [2]. Кос-