

ских, так и термодинамических характеристик металлов, сплавов и вырожденных полупроводников разной симметрии, состава, величины и формы поверхности Ферми. Последняя зависимость наиболее интересна для полупроводников, в которых можно изменять концентрацию носителей заряда и спектр, легируя различными примесями или создавая системы твердых растворов.

Для наблюдения эффекта Шубникова — де Гааза необходимы оптимальные условия на энергию Ферми, магнитное поле и температуру, которые подробно обсуждены в докладе для случая полупроводников. Необходимо отметить, что изучение осцилляции Шубникова — де Гааза в полупроводниках стало возможным только после успехов в технологии выращивания однородных по концентрации примесей и составу монокристаллов, что отмечалось еще Л.В. Шубниковым при исследовании свойств висмута, монокристаллы которого были выращены им с большой тщательностью методом Обреимова—Шубникова.

В докладе подробно обсуждены результаты исследования эффекта Шубникова — де Гааза в полупроводниках при разном заполнении проводящей зоны, в многодолинных полупроводниках с разными эффективными массами, g -факторами носителей и разным числом заполненных энергетических экстремумов, а также при воздействии внешних факторов, например, всестороннего и одноосного сжатия, и понижения размерности системы. При этом особое внимание уделено изменению электронных взаимодействий в квантующем магнитном поле в рассмотренных полупроводниковых соединениях и системах. Высокая информативность эффекта Шубникова — де Гааза и вызванное им развитие квантовой теории явлений переноса в магнитном поле привели к становлению экспериментального метода спектроскопии полупроводников на основе эффекта Шубникова — де Гааза.

53(048)

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ
И АСТРОНОМИИ АКАДЕМИИ НАУК СССР
(30 октября 1991 г.)**

30 октября 1991 г. в Институте физических проблем им. П.Л. Капицы АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

1. В.И. Никитенко. Топологически устойчивые дефекты упорядоченного состояния: микромеханизмы генерирования и нелинейная динамика.

2. И.А. Зализняк, О.А. Петренко, Л.А. Прозорова. Свойства квазиодномерных антиферромагнетиков с неколлинеарной структурой.

Краткое содержание одного доклада публикуется ниже.

537.611.45(048)

И.А. Зализняк, О.А. Петренко, Л.А. Прозорова. Свойства квазиодномерных антиферромагнетиков с неколлинеарной структурой. В настоящее время внимание многих исследователей в области магнетизма привлекают антиферромагнитные диэлектрики ABX_3 (A — большой одновалентный катион, B — ион $3d$ -металла, X — галоген) с кри-

сталлической структурой типа CsNiCl_2 . Значительный интерес, проявляемый к изучению магнитных свойств этих веществ, связан с двумя особенностями их магнитной структуры: квазиодномерностью — обменное взаимодействие вдоль оси кристалла гораздо больше обменного взаимодействия в базисной плоскости и установлением при температуре ниже T_N (температуры трехмерного магнитного упорядочения) неколлинеарной конфигурации магнитных моментов. Из теоретического анализа следует, что если учитывать обменное взаимодействие только ближайших соседей, то в силу гексагональной симметрии должна возникнуть плоская треугольная магнитная структура: все спины компланарны и ориентированы таким образом, что угол между соседними в базисной плоскости спинами близок к 120° , а соседние вдоль гексагональной оси спины ориентированы антипараллельно. Релятивистские взаимодействия определяют ориентацию спинов относительно кристаллографических осей. В зависимости от знака константы анизотропии D , плоскость спиновых треугольников может быть параллельна базисной плоскости кристалла ($D > 0$) или перпендикулярна ей ($D < 0$). Анизотропия может приводить и к некоторому искажению треугольников.

Наличие треугольного упорядочения установлено с помощью дифракции нейтронов для многих соединений ABX_3 , среди них "легкоосные" — CsNiCl_3 , RbNiCl_3 , CsMnI_3 и "легкоплоскостные" — CsMnBr_3 , CsVCl_3 , CsVBr_3 , CsVI_3 .

Естественно, что магнитные свойства и спектр элементарных возбуждений для этих двух групп соединений должны быть существенно различны. В данной работе представлены результаты исследований электрон-спинового резонанса (ЭСР) в широком диапазоне частот, полей и температур, которые были проведены с целью установления адекватности теоретического описания реальной ситуации, определения феноменологических и микроскопических параметров, изучения магнитных фазовых переходов как в легкоосных (CsNiCl_3 , RbNiCl_3), так и в легкоплоскостном (CsMnBr_3) антиферромагнетиках с треугольным упорядочением.

Исследования проводились на монокристаллах, выращенных методом Бриджмена. Экспериментальная установка состояла из набора СВЧ спектрометров прямого усиления, перекрывающих диапазон частот от 0,6 до 180 ГГц. Магнитное поле можно было изменять от 0 до 60 кЭ, температуру — от 1,2 до 40 К.

Поскольку магнитная структура исследуемых антиферромагнетиков определяется шестью подрешетками, спектр ЭСР должен состоять из шести ветвей: трех акустических и трех обменных.

1. CsNiCl_3 , RbNiCl_3 . Как показали эксперименты [1, 2], сложная полевая зависимость акустических ветвей спектра ЭСР и его эволюция с температурой хорошо описываются феноменологической теорией [3, 4] (рис. 1), а определенные из резонансных измерений макроскопические параметры (H_c — поле спин-флоп-перехода и отношение восприимчивостей $\chi_{\parallel}/\chi_{\perp}$) совпадают с данными магнитостатических исследований [5]. Расчет спектра ЭСР на основе микротории был выполнен в работе [6]. Теоретические зависимости $\nu_i(H)$

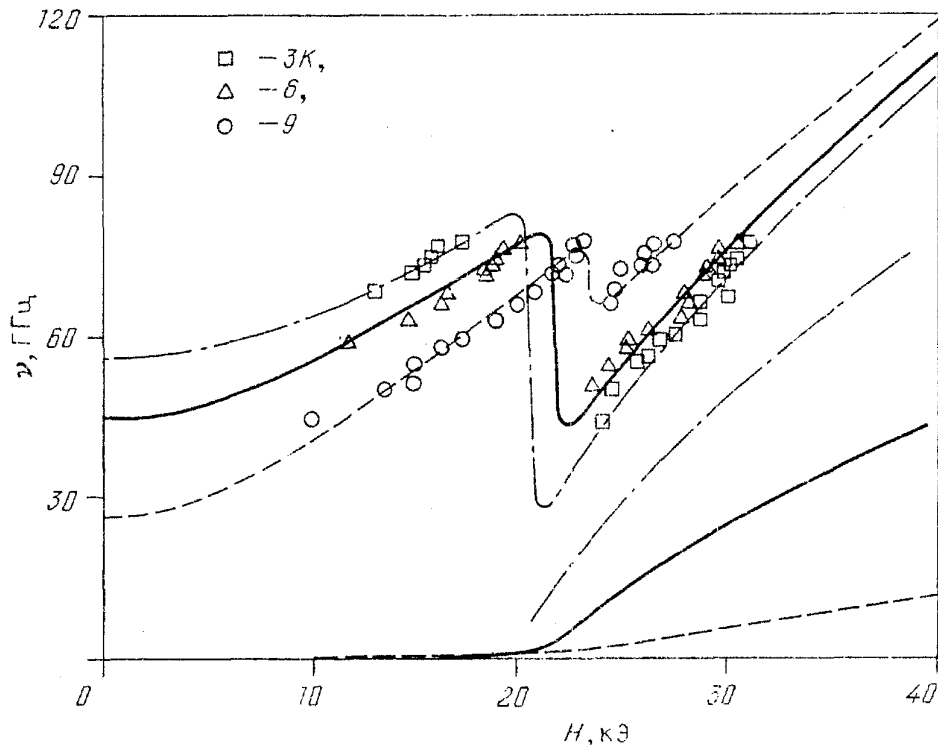


Рис. 1. Температурная эволюция спектра антиферромагнитного резонанса в легкоосном гексагональном антиферромагнетике RbNiCl_3 при направлении магнитного поля вдоль оси C_6 кристалла

для акустических ветвей, полученные в обеих теориях, совпадают, что дает возможность связать макро- и микропараметры и рассчитать, пользуясь формулами микротемории, частоты обменных ветвей спектра.

Результаты такого расчета существенным образом расходятся с экспериментами по неупругому рассеянию нейтронов [7, 8], что, по-видимому, связано с проявлением эффектов, обусловленных нулевыми колебаниями, сильными за счет квазиодномерности этих соединений, поскольку согласно гипотезе Холдейна [9, 10] система одномерных антиферромагнитных цепочек с целочисленным спином остается в парамагнитном состоянии и при нулевой температуре, а в спектре возбуждений имеется энергетическая щель $\nu_H \approx 0,8J$. В нашем случае $S = 1$, но эффект Холдейна в чистом виде не реализуется, так как есть слабое взаимодействие между цепочками спинов и при $T \leq T_N$ происходит трехмерное упорядочение, однако если существует влияние этого эффекта на спектр ЭСР, то оно должно сказаться прежде всего на обменных модах, частота которых сравнима с ν_H . Следует отметить, что измерение неупругого рассеяния нейтронов в аналогичной магнитной структуре в CsMnI_3 [11], где $S = 5/2$ и эффекта Холдейна заведомо нет, также не согласуется с предсказаниями спин-волновой теории.

2. CsMnBr_3 ($D > 0$). В данном веществе анизотропия превосходит слабый обмен в плоскости: $|D| > |J'|$, что приводит к нетривиальному поведению спинов в магнитном поле $H \perp C_6$ [12]. В этом случае гексагональная симметрия играет принципиальную роль и, в отличие от двухподрешеточного антиферромагнетика, в котором спины плавно подворачиваются к магнитному полю, здесь при $D > 3J'$ переориентация спинов сопровождается фазовым переходом II рода: спины остаются в плоскости и в критическом поле \tilde{H}_c про-

исходит схлопывание двух пар подрешеток. В результате магнитная система из 6-подрешеточной становится 4-подрешеточной антиферромагнитной. Существование такой частично схлопнутой фазы доказано нейтронографически [13]. Как показали наши магнитостатические исследования, фазовый переход сохраняется и при выведении поля из базисной плоскости вплоть до критического угла θ_c (в CsMnBr_3 $\theta_c \approx 40^\circ$).

Так как в рассматриваемом случае анизотропия велика, то феноменологическая теория [3, 4] неприменима, и мы пользовались спектром ЭСР, рассчитанным на основе микроскопической теории [12]. Согласно [12] зависимости $\nu_i(H)$ описываются корнями системы двух уравнений 6-й степени, отражающей, в частности, наличие взаимодействия колебаний, принадлежащих к различным ветвям спектра, приводящее к "перепутыванию" ветвей. Самая низкочастотная ветвь колебаний не имеет щели при $H = 0$, и ее частота растет с полем пропорционально H^2 . Такая необычная полевая зависимость связана с тем, что при треугольном упорядочении поворот системы спинов в плоскости требует гораздо меньшей энергии, чем в коллинеарном случае, где $\nu \propto H$. Следующей по частоте является обменная мода, энергетическая щель которой при $H = 0$ связана с критическим полем H_c : $\nu_5 = \sqrt{3/2}\gamma H_c$; в точке фазового перехода частота этой моды зануляется.

Эти моды были обнаружены нами экспериментально (рис. 2), и было показано, что имеется хорошее согласие теории и эксперимента. В случае CsMnBr_3 наблюдается также удовлетворительное согласие с результатами

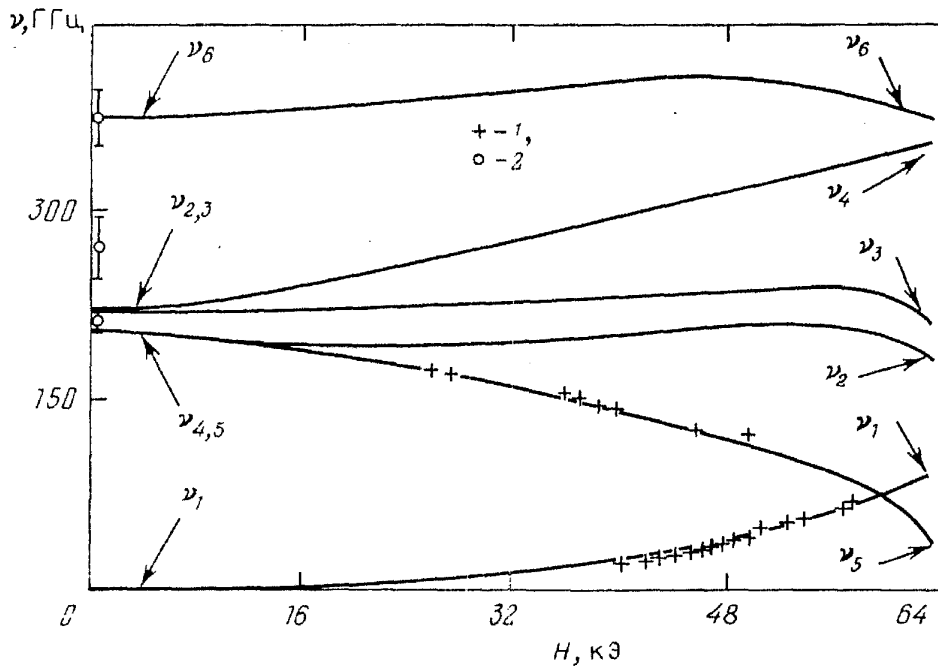


Рис. 2. Спектр АФМР в легкоплоскостном гексагональном антиферромагнетике CsMnBr_3 . 1 — результаты нашего эксперимента при $T = 1,7$ К, $\mathbf{H} \perp \mathbf{C}_6$, 2 — экспериментальные данные работы [14]. Теоретические кривые проведены по формулам работы [12] со значениями констант: $\gamma = 2,8$ ГГц/кЭ, $J = 214$ ГГц, $J' = 0,5$ ГГц, $D = 1,95$ ГГц

нейтронографических исследований [14].

В заключение приведем таблицу основных макро- и микропараметров исследованных квазиодномерных антиферромагнетиков с треугольным упорядочением:

	T_N, K	$H_c, \tilde{H}_c, kЭ$ при $T \rightarrow 0$	$J, ГГц$	$J', ГГц$	$D, ГГц$
$CsNiCl_3$	4,7 [5]	19,2	345 [16]	$8,2 \pm 10\%$	$-0,59 \pm 10\%$
$RbNiCl_3$	11 [5]	20,1	383 [17]	$38 \pm 10\%$	$-1,0 \pm 10\%$
$CsMnBr_3$	8,3 [15]	64	214 [14]	$0,5 \pm 5\%$	$+1,95 \pm 5\%$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Зализняк И.Л., Прозорова Л.А., Петров С.В.//ЖЭТФ. 1990. Т. 97. С. 359.
2. Петренко О.А., Петров С.В., Прозорова Л.А.// Ibidem. Т. 98. С. 727.
3. Андреев А.Ф., Марченко В.И.// УФН. 1980. Т. 130. С. 39.
4. Зализняк И.А., Марченко В.И., Петров С.В. и др.// Письма ЖЭТФ. 1988. Т. 47. С. 172.
5. Achiwa N.// J. Phys. Soc. Japan. 1969. V. 27. P. 561.
6. Zaliznyak I.A., Prozorova L.A., Chubukov A.V.// J. Phys.: Condens. Matter. 1989. V. 29. P. 4743.
7. Morra R.M., Buyers W.J.L., Armstrong R.L., Hirakawa K.//Phys. Rev. B. 1988. V. 38. P. 543.
8. Tun Z., Buyers W.J.L., Harrison A., Rayne J.A.// Ibidem. 1991. V. 43. P. 1331.
9. Haldane F.D.M. Phys. Rev. Lett. 1983. V. 50. P. 1153.
10. Bonner J.C., Muller G.//Phys. Rev. B. 1983. V. 29. P. 3216.
- [11] Harrison A., Collins M.F., Abu-Dayyeh J., Stager C.V.//Ibidem. 1991. V. 43. P. 679.
12. Chubukov A.V.// J. Phys. C: Sol. State Phys. 1988. V. 21. P. 441.
13. Gaulin B.D., Mason T.E., Collins M.F., Larese I.Z.// Phys. Rev. Lett. 1989. V. 62. P. 1380.
14. Gaulin B.D., Collins M.F., Buyers W.J.L.// J. Appl. Phys. 1987. V. 61. P. 3409.
15. Eibshutz M., Sherwood R.C., Hsu F.S.L., Cox D.E.// A I P Conf. Proc. 1972. V. 17. P. 864.
16. Buyers W.J.L., Morra R.M., Armstrong R.L., Hogan M.J., Gerlach P., Hirakawa K.//Phys. Rev. Lett. 1986. V. 56. P. 371.
17. Witteven H.T., van Veen J.A.R.// J. Phys. and Chem. Sol. 1975. V. 35. P. 337.

53(048)

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ АКАДЕМИИ НАУК СССР (25 декабря 1991 г.)

25 декабря 1991 г. в Институте физических проблем им. П.Л. Капицы АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

1. Р.А. Сюняев, М.Р. Гильфанов, С.А. Гребенев, О.В. Терехов, Е.М. Чуразов. Результаты спутника ГРАНАТ. Открытие и локализация источников эмиссии в линии аннигиляции позитрона в Центре Галактики и в Новой Созвездия Мухи. Обнаружение гамма-линий синтеза дейтерия 2,2 МэВ в спектре солнечной вспышки,

2. С.О. Демокритов. Прямое наблюдение осцилляций РККИ-взаимодействия в слоистых магнитных системах.

Краткое содержание одного доклада публикуется ниже.

537.611.44.45(048)

С.О. Демокритов. Прямое наблюдение осцилляций РККИ-взаимодействия в слоистых магнитных системах. За про-