

за вызывает значительное эффективное поле на узлах, занятых родием, которое приводит к наведению магнитного момента  $\mu_{\text{Rh}}$ . Ту и др. [16] и Мак-Кинон и др. [17] считают, что магнитные моменты на ионах родия в Ф состоянии создаются системой коллективизированных электронов. Суммарный магнитный момент подрешетки железа расщепляет  $d$ -подзоны родия, что приводит к появлению магнитного момента на ионах родия.

Приведем ориентировочные оценки зависимости намагниченности железо-родиевых сплавов от давления, которые понадобятся нам для объяснения вида кривых  $T_0(P)$  и  $T_c(P)$ .

Кувел [12] подробно рассмотрел влияние легирующих элементов, таких как палладий, платина, иридий, на  $T_0$ ,  $T_c$  и величину намагниченности насыщения  $\sigma_s$  в железо-родиевых сплавах составов, близких к эквиполному. Легирующие элементы, подобно высокому давлению, изменяют  $T_0$  и  $\sigma_s$  у исследуемых сплавов. Так, для сплава  $\text{FeRh}_{1,08}$ , по данным Кувела,  $T_c=668^\circ\text{K}$ ,  $\Delta\sigma_{\text{АФ-Ф}}=115\text{ CGSM}/\text{г}$ , а для тройного сплава  $\text{FeRh}_{1,08}\text{Pt}_{0,056}$  — соответственно  $T_c=636^\circ\text{K}$ ,  $\Delta\sigma_{\text{АФ-Ф}}=105\text{ CGSM}/\text{г}$ . Таким образом, температура  $T_c$  при добавлении платины уменьшилась на  $32^\circ$ . На эту же величину  $T_c$  изменилось бы при увеличении давления до  $\approx 30\text{ кбар}$  (по данным многочисленных исследований  $dT_c/dP \approx 0,9 \div 1,1\text{ град}\cdot\text{кбар}^{-1}$  для сплавов с составами, близкими к эквиполному). Исходя из этих данных, можно оценить влияние давления на намагниченность сплавов при температуре перехода АФ—Ф. Имеем:  $\sigma_s^{-1}d\sigma_s/dP \approx -0,31 \cdot 10^{-2}\text{ кбар}^{-1}$ . Это значение можно использовать для оценки влияния давления на  $\sigma_0$  при  $0^\circ\text{K}$ . Согласно Кувелу и Вильсону [18]

$$\frac{1}{\sigma_0} \frac{d\sigma_0}{dP} = \frac{1}{\sigma_s} \frac{d\sigma_s}{dP} + \frac{T_0}{T_c} \frac{1}{\sigma_s} \left( \frac{d\sigma_s}{dT} \right)_P \frac{dT_c}{dP} \approx$$

$$\approx -0,18 \cdot 10^{-2}\text{ кбар}^{-1}.$$

Из работы Кувела  $\sigma_s^{-1}d\sigma_s/dT \approx -2,5 \cdot 10^{-3}\text{ град}^{-1}$ . Для  $dT_c/dP$  типичны значения  $\approx -1\text{ град}\cdot\text{кбар}^{-1}$ . Приведенные оценки показывают, что намагниченность сплавов железо—родий при увеличении давления должна понижаться.

Экстраполяция  $T_0$  из области высоких давлений дает при  $P=0\text{ кбар}$  значения  $T_0=599^\circ\text{K}$  — пунктирная кривая на рис. 3. При  $P>80\text{ кбар}$  обе фазы П и АФ имеют равные сжимаемости и  $\Delta V_{\text{АФ-П}}=0$ . Если бы эти свойства сохранялись и при снятии давления, то при  $P=0\text{ кбар}$  АФ фаза при повышении температуры непосредственно переходила бы в П состояние. Но в действительности при понижении давления мы имеем следующие явления: появляется Ф фаза, диапазон существования которой сильно расширяется в области низких давлений; скачки объемов  $\Delta V_{\text{Ф-АФ}}$  и сжимаемостей  $\Delta K_{\text{Ф-АФ}}$  становятся отличными от нуля [7]; значительно растет намагниченность. Возникает вопрос, с чем же связаны данные явления?

Будем считать, что магнитный момент подрешеток железа не меняется с давлением. Поддержкой такому утверждению может служить факт, что для чистого железа [19]  $\sigma_s^{-1}d\sigma_s/dP \approx -3 \cdot 10^{-4}\text{ кбар}^{-1}$ . Из нейтроннографических измерений [5] следует, что вклад родия в общую намагниченность составляет 25%. Отнесем полученные нами ориентировочные оценки для изменения намагниченности исследуемого сплава с давлением за счет изменений магнитного момента на ионах родия и положим, что  $d\sigma_0/dP$  не зависит от давления. Тогда при  $P \approx 100\text{ кбар}$  величина  $\sigma_0$  уменьшится примерно на 25%. Приведенные оценки свидетельствуют в пользу

того, что под действием высоких давлений магнитные моменты, связанные с ионами родия, исчезают.

Как и в работах [16, 17], магнитные моменты, связанные с ионами родия, будем рассматривать с точки зрения зонного магнетизма. В Ф фазе при атмосферном давлении  $d$ -подзоны родия под влиянием эффективного поля, образованного подрешеткой железа, расщепляются, приводя к «наведенному» магнитному моменту  $\mu_{RH}$  и к положительному объемному эффекту при превращении АФ—Ф. Увеличение давления препятствует данному процессу. Последнее обстоятельство и объясняет тот факт, что с ростом давления сильно сужается ферромагнитная область;  $\Delta V_{AF-F}$  стремится к нулю, и по нашим оценкам падает намагниченность.

В связи с проделанными выше оценками было бы полезно провести непосредственные измерения влияния давления на намагниченность железо-родиевых сплавов при низких температурах, особенно для составов, близких к эквиатомному, но сохраняющих Ф фазу вплоть до 0 °К.

В заключение автор считает своим приятным долгом поблагодарить Е. Г. Понятовского, И. Л. Аптекаря и Б. К. Пономарева за плодотворные дискуссии.

Институт физики твердого тела  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
31 мая 1973 г.

#### Литература

- [1] M. Fallot. *Ann. Phys.*, **10**, 291, 1938.
- [2] M. Fallot, R. Hocart. *Rev. Sci.*, **77**, 498, 1939.
- [3] J. S. Kouvel, C. C. Hartelins. *J. Appl. Phys. Suppl.*, **33**, 1343, 1962.
- [4] F. De Bergevin, L. Muldawer. *J. Chem. Phys.*, **35**, 1904, 1961.
- [5] G. Shirane, R. Nathans, C. W. Chen. *Phys. Rev.*, **134A**, 1547, 1964.
- [6] А. И. Захаров, А. М. Кадомцева, Р. Э. Левитин, Е. Г. Понятовский. *ЖЭТФ*, **46**, 2003, 1964.
- [7] Е. Г. Понятовский, А. Р. Кутсар, Г. Т. Дубовка. *Кристаллография*, **12**, 79, 1967.
- [8] R. C. Wayne. *Phys. Rev.*, **170**, 523, 1968.
- [9] L. Vinokurova. *Phys. Stat. Sol.*, **41**, K5, 1970.
- [10] J. M. Leger, C. Susse, B. Vodar. *C. R., Acad. Sci. Paris*, **265**, 892, 1967.
- [11] L. Vinokurova. *Phys. Stat. Sol.*, **48**, K31, 1971.
- [12] J. S. Kouvel. *J. Appl. Phys.*, **37**, 1257, 1966.
- [13] Н. П. Гражданкина. *УФН*, **96**, 291, 1968.
- [14] C. Kittel. *Phys. Rev.*, **170**, 335, 1960.
- [15] C. P. Been, D. S. Rodbell. *Phys. Rev.*, **126**, 104, 1962.
- [16] P. Tu, A. J. Heeger, J. S. Kouvel, J. B. Comly. *J. Appl. Phys.*, **40**, 1368, 1969.
- [17] M. C. Kinnon, J. B. Melville, E. W. Lee. *J. Phys. Metal, Phys. Suppl.*, **3**, 46, 1970.
- [18] J. S. Kouvel, R. H. Wilson. *J. Appl. Phys.*, **32**, 435, 1961.
- [19] F. Tatsumoto, H. Fujiwara, H. Tange, Y. Kato. *Phys. Rev.*, **128**, 2179, 1962.