

рения  $\Delta R/R$  как функции  $H$  при давлении  $8000 \text{ кг/см}^2$ . На основании полученных изотерм строились кривые  $\Delta R/R = f(T)$ , характеризующие температурную зависимость гальваномагнитного эффекта, и по смещению минимума этих кривых определялось изменение температуры Кюри с давлением. На рис. 2 приведены зависимости  $\Delta R/R$  от  $T$  для разных значений напряженности магнитного поля, измеренные при атмосферном давлении (пунктирная кривая) и давлении  $8000 \text{ кг/см}^2$ . Из приведенных графиков видно, что всестороннее сжатие приводит к уменьшению температуры Кюри.

Необходимо отметить, что результаты измерений гальваномагнитного эффекта при высоких давлениях хорошо укладываются в характерные зависимости четных эффектов, относящихся к области парапроцесса. На рис. 3 в качестве примера представлено сопоставление зависимости  $\Delta R/R = aH^{2/3}$  при атмосферном давлении (кривая 1) и при  $P = 8000 \text{ кг/см}^2$  (кривая 2). Учитывая сильную зависимость гальваномагнитного эффекта от температуры, величины  $\Delta R/R$  даны для одинаковых значений приведенных температур  $T/\Theta_f = 0,995$ . Как видно из графиков, в обоих случаях имеет место линейная зависимость

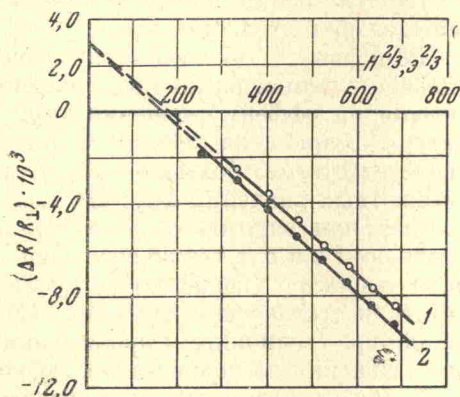


Рис. 3

Рис. 3. Зависимость  $\Delta R/R$  от  $H^{2/3}$ : кривая 1 — при атмосферном давлении, кривая 2 — при  $P = 8000 \text{ кг/см}^2$

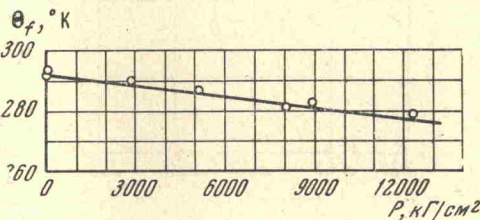


Рис. 4

Рис. 4. Смещение точки Кюри MnP с гидростатическим давлением

$\Delta R/R$  от  $H^{2/3}$ ; наклон прямых, характеризующий интенсивность парапроцесса, с ростом давления увеличивается, а величина спонтанного гальваномагнитного эффекта ( $\Delta R/R$  при  $H = 0$ ) остается при этом неизменной. Отсюда можно полагать, что всестороннее сжатие (в интервале используемых нами давлений) не приводит к заметным изменениям спонтанной намагниченности MnP и изменение магнитных свойств этого соединения под давлением, в основном, определяется смещением точки Кюри. Увеличение интенсивности парапроцесса при всестороннем сжатии является вполне естественным следствием отрицательного эффекта  $d\Theta_f/dP$ .

На рис. 4 показано изменение температуры Кюри в зависимости от давления, откуда видно, что  $\Theta_f$  линейно падает с ростом давления:

$$d\Theta_f/dP = -(1,14 \pm 0,07) \cdot 10^{-3} \text{ град} \cdot \text{см}^2 / \text{кг}.$$

Измерив сжимаемость MnP:  $\kappa = (1,58 \pm 0,04) \cdot 10^{-12} \text{ см}^2/\text{дн}$ , можно было определить относительное изменение температуры Кюри с объемом, оказавшееся равным  $\Theta_f^{-1} d\Theta_f/dV = 2,5$ .

Для того чтобы проверить измеренное значение  $d\Theta_f/dP$ , была исследована аномалия теплового расширения  $\Delta\alpha$  у MnP в области температуры Кюри. Это дало возможность с помощью соотношения Эренфеста  $d\Theta_f/dP = V\Theta_f\Delta\alpha/\Delta C_p$  определить  $d\Theta_f/dP$  независимым путем. Тепловое расши-



рение MnP исследовалось тензометрическим методом. На рис. 5 приведена кривая температурной зависимости относительного удлинения  $\Delta L/L$ , по которой методом графического дифференцирования вычислялись значения коэффициента теплового расширения  $\alpha = \Delta L/L_0 \Delta T$ . Подставив в формулу Эренфеста полученную величину  $\Delta\alpha_v = -2,2 \cdot 10^{-5} \text{ град}^{-1}$  и данные Красовского и Факидова [7] по изменению удельной теплоемкости при магнитном переходе  $\Delta C_p = 2,15 \text{ кал/град} \cdot \text{моль}$ , получили <sup>1)</sup>  $d\Theta_f/dP = 1,05 \cdot 10^{-3} \text{ град} \cdot \text{см}^2/\text{кг}$ , что согласуется в пределах ошибок измерений со значением  $d\Theta_f/dP$ , определенным на основании прямых измерений смещения  $\Theta_f$  под давлением.

3. При сопоставлении результатов наших опытов, проведенных при всестороннем гидростатическом сжатии поликристаллических образцов,

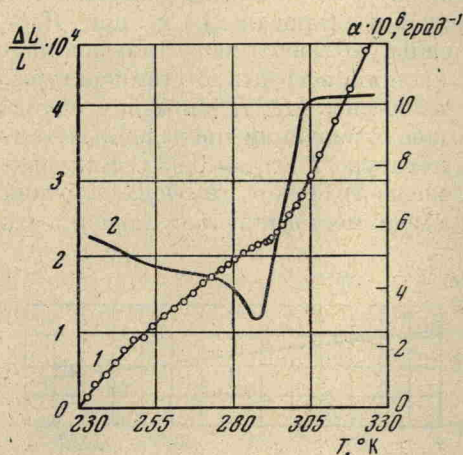


Рис. 5. Температурные зависимости относительного удлинения  $\Delta L/L$  (кривая 1) и коэффициента термического расширения  $\alpha$  (кривая 2)

с результатами исследования одноосного сжатия монокристаллов MnP [5] наиболее существенным и, с нашей точки зрения, являются следующие два обстоятельства.

Во-первых, наблюдается очень сильное влияние различных условий сжатия на эффект смещения температуры Кюри с давлением. Об этом свидетельствует большое различие абсолютных значений  $d\Theta_f/dP$ , полученных при сжатии монокристалла вдоль осей  $a$  и  $c$ , а также совершенно иной характер зависимости  $\Theta_f(P)$  при гидростатическом давлении. Так, например, величины производных при сжатии монокристалла вдоль осей  $a$  и  $c$  соответственно равны:  $d\Theta_f/dP_a \approx 34 \cdot 10^{-3} \text{ град/атм}$  и  $d\Theta_f/dP_c \approx 1 \cdot 10^{-3} \text{ град/атм}$ , т. е. отличаются на порядок, а при гидростатическом давлении производная  $d\Theta_f/dP$  имеет отрицательный знак.

Очевидно, что причиной такого расхождения является пластическая деформация образца, возникающая при одноосном сжатии.

Во-вторых, смещение температуры  $T_s$  перехода антиферромагнетизм  $\rightleftharpoons$  ферромагнетизм под давлением определяется только изменением межатомных расстояний, так как изменение температуры инверсии обмена  $dT_s/dP$  имеет практически одно и то же значение при сжатии монокристалла вдоль различных кристаллографических направлений:  $dT_s/dP_a \approx 6 \cdot 10^{-3} \text{ град/атм}$  и  $dT_s/dP_c \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ град/атм}$ . В связи с этим можно ожидать, что при гидростатическом сжатии знак эффекта  $dT_s/dP$  и его величина будут близки к полученным в [5].

Исходя из имеющихся опытных данных, рассмотрим изменения обменных взаимодействий MnP, вызванные уменьшением межатомных расстояний. Учитывая геликоидальную магнитную структуру MnP при низких температурах, изменение  $\Theta_f$  и  $T_s$  с давлением можно объяснить следующим образом. Если считать, что величина  $\Theta_f$  определяется наибольшим из существующих в этом кристалле обменных взаимодействий, то уменьшение расстояний между атомами марганца, лежащими в ферромагнитно упо-

<sup>1)</sup> При вычислении молярного объема  $V$  плотность MnP, согласно рентгенографическим данным [8], принималась равной  $5,77 \text{ г/см}^3$ .