

Линейные участки на кривых $\rho(T)$, соответствующие фазовому переходу первого рода, при температуре T_0 еще достаточно ясно видны при давлениях 68 и 81 кбар. При дальнейшем повышении давления зависимость $\rho(T)$ становится более плавной. На кривых $\rho(T)$ более толстыми линиями выделены участки, которые в исследованном интервале давлений соответствуют фазовому переходу первого рода. Экспериментальный факт, что кривые $\rho(T)$ при давлениях 81 кбар и выше становятся более плавными, не исключает возможности того, что при дальнейшем росте давления фазовое превращение при температуре T_0 станет переходом второго рода.

Мы не обнаружили температурного гистерезиса перехода при давлениях свыше 68 кбар; если он существует, то величина его не превышает $1,5^\circ\text{C}$.

На кривых $\rho(T)$, соответствующих давлениям 81 кбар и выше, отсутствуют изломы, относящиеся к точкам Кюри, наблюдаемые при давлениях 68 кбар и ниже (рис. 1, 2). По всей вероятности, при давлениях 81 кбар и выше фазовый переход первого рода является превращением из АФ состояния в П состояние.

По экспериментальным данным для $\rho(T)$ при различных давлениях построена фазовая P – T -диаграмма сплава FeRh, изображенная на рис. 3. Диаграмму можно разделить на три области:

$$P < 28 \text{ кбар}, \quad 28 < P < 80 \text{ кбар}, \quad P > 80 \text{ кбар}.$$

При $P < 28$ кбар температура T_0 превращения АФ–Ф линейно смещается с давлением ($dT_0/dP = 4,7 \pm 0,1 \text{ град} \cdot \text{кбар}^{-1}$). Точка Кюри также линейно смещается с давлением ($dT_C/dP = -0,9 \pm 0,1 \text{ град} \cdot \text{кбар}^{-1}$). В области $28 < P < 80$ кбар величины dT_C/dP и dT_0/dP стремятся к нулю. При $P > 80$ кбар T_0 не зависит от давления.

3. Обсуждение результатов эксперимента

В пользу предположения, что фазовый переход при давлениях 81 кбар и выше является фазовым переходом первого рода из АФ состояния в П состояние, можно привести следующие соображения.

Из рис. 1 видно, что к давлению ≈ 60 кбар температурный интервал существования Ф области сильно сужается и равняется 40°C . Скачок сопротивления при переходе АФ–Ф сохраняет значительную величину и составляет $\approx 30\%$ от скачка сопротивления при атмосферном давлении. При таком узком температурном интервале Ф области и слабой зависимости электросопротивления от температуры в Ф фазе, можно считать, что $\Delta\rho$ является разницей сопротивлений АФ и П фаз. Последнее обстоятельство указывает на то, что фазовый переход АФ–П должен быть переходом первого рода.

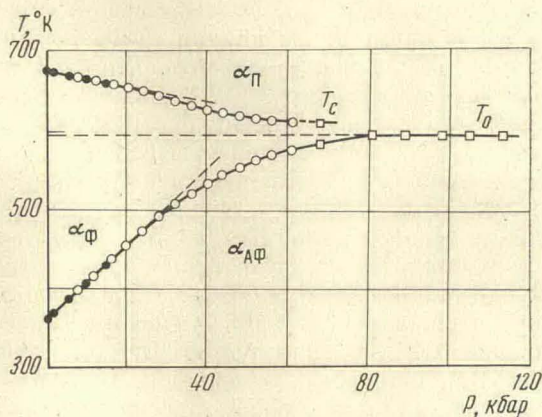


Рис. 3. Фазовая T – P -диаграмма железо-родиевого сплава. Черными точками обозначены данные из работы [7], полученные при гидростатических давлениях

Температура T_0 фазового перехода АФ—П при $P > 80$ кбар не зависит от давления (рис. 3). Согласно уравнению Клапейрона это означает, что при превращении АФ—П $\Delta V = 0$. Таким образом, фазовый переход АФ—П сопровождается значительным изменением электросопротивления и нулевым объемным эффектом. По всей вероятности, данный скачок электросопротивления при нулевом скачке объема обязан тому, что в результате фазового превращения АФ—П происходит перестройка зонной структуры сплава, что и обуславливает первый род фазового перехода. Фазовое превращение Ф—П является переходом второго рода и происходит без изменения зонной структуры. Следовательно, Ф и АФ фазы в таком случае будут отличаться не только ориентацией магнитных моментов подрешеток железа, но и зонной структурой.

Магнитные фазовые переходы первого рода обнаружены в ряде веществ. Наиболее полные данные по этому вопросу собраны в обзоре Гражданкиной [13]. Как правило, эти фазовые переходы сопровождаются большими объемными эффектами. Данный экспериментальный факт нашел отражение в теории Киттеля [14], объясняющей переходы типа порядок — порядок, и в теории Бина и Родбела [15], посвященной переходам типа порядок — беспорядок. В обеих теориях к магнитным фазовым переходам первого рода приводит сильная зависимость обменного взаимодействия от межатомного расстояния. Последнее обстоятельство определяет и значительное смещение температур переходов с изменением давления.

При низких давлениях в сплаве железо — родий превращение АФ—Ф сопровождается значительным скачком объема $\Delta V/V = 0,75\%$ и сильной зависимостью температуры превращения T_0 от давления: $dT_0/dP = 4,7$ град·кбар⁻¹. Казалось бы, что данный фазовый переход можно объяснить сильной зависимостью обменного взаимодействия от межатомного расстояния. Но из экспериментов при давлениях, начиная с $P \geq 80$ кбар видно, что при переходах АФ—Ф и АФ—П величина $\Delta V \approx 0$ и $dT_0/dP = 0$. Следовательно, ни теория Киттеля, ни теория Бина и Родбела не объясняют природы магнитных превращений в сплаве железо — родий. Таким образом, на этом примере видно, что надо с осторожностью относиться к объяснениям магнитных фазовых переходов первого рода в металлах и сплавах, использующим представления о сильной зависимости обменного взаимодействия от межатомного расстояния.

Для объяснения вида фазовой диаграммы, изображенной на рис. 3, ниже будет рассмотрена роль ионов родия при превращениях АФ—Ф.

В упорядоченных железо-родиевых сплавах с концентрацией родия < 50 ат. % ионы железа располагаются в вершинах объемноцентрированной кубической ячейки (основная позиция Fe_I) и в центре на местах родия (позиция Fe_{II}) [5]. Ширане и др. [5] провели нейтронографические исследования сплавов железо — родий в широком диапазоне составов. Для концентраций 35, 40 и 48 ат. % Rh были найдены атомные магнитные моменты в ферромагнитном диапазоне при 298° К:

$$\mu_{FeI} = 3,1 \mu_B, \quad \mu_{FeII} = 2,5 \mu_B, \quad \mu_{Rh} = 1,0 \mu_B.$$

Для сплава с 50 ат. % Rh, который антиферромагнитен при 298° К, магнитный момент $\mu_{FeI} = 3,3 \mu_B$, что несколько выше μ_{FeI} в ферромагнитной фазе. В работе [5] было отмечено, что родий в АФ диапазоне обладает моментом, значительно меньшим $1 \mu_B$.

Кувел [12] из оценок решеточного вклада в общий скачок энтропии при превращении АФ—Ф и из измерений магнитной восприимчивости в АФ области пришел к выводу, что в АФ диапазоне ионы родия не имеют локализованного магнитного момента. В Ф состоянии подрешетка желе-