

мов направлены строго параллельно или антипараллельно друг другу. В этом случае положения ядерных и магн. дифракц. пиков определяются параметрами элементарной ячейки кристалла.

В общем случае в дифракц. картине упругорассеянных кристаллом нейтронов могут присутствовать магн. пики, не совпадающие по положению на нейтронограмме с ядерными вследствие того, что спин атома  $j$  в ячейке с индексом  $n$  ( $S_{nj}$ ) связан со спином аналогичного атома в исходной нулевой ячейке ( $S_{0j}$ ) соотношением  $S_{nj} = \exp(ik\tau_n)S_{0j}$ . Здесь  $\tau_n$  — трансляция, связывающая  $n$ - и 0-ячейки, а  $k$  — волновой вектор рассеянных нейтронов ( $|k| = 2\pi/\lambda$ ). Выражения для магн. структурного фактора (5) в этом случае имеют более сложный вид:

$$F(k - k_0) = \sum_j \exp\{-i(k - k_0) r_j\} S_{0j} f(k - k_0), \quad (5)$$

где  $k_0$  — волновой вектор падающих нейтронов,  $r_j$  —

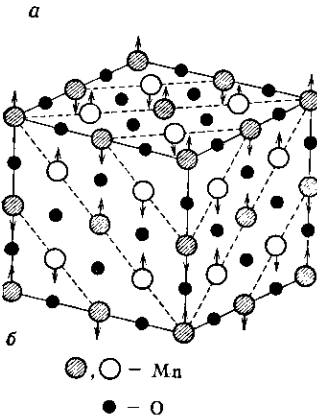
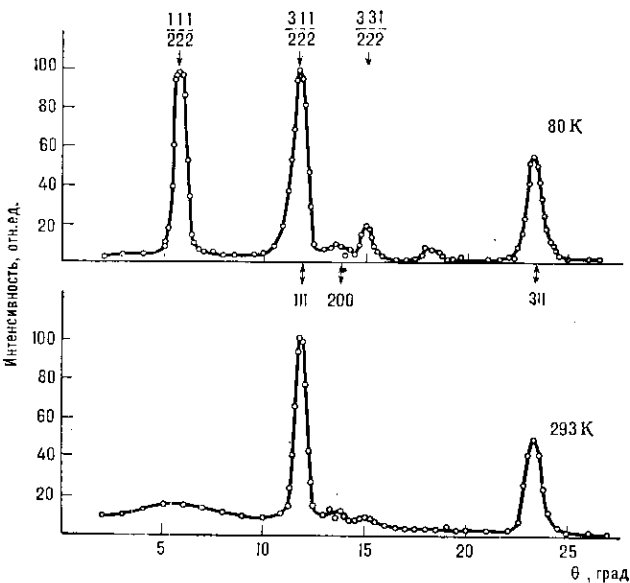


Рис. 3. а — нейтронограммы MnO при 80 К и 293 К; б — модель антиферромагнитного упорядочения ионов Mn; стрелки указывают направление магн. моментов Mn.

**Экспериментальные методы.** Магн. дифрактометры конструктивно не отличаются от дифрактометров структурных. Однако необходимость отделять магн. рассеяние от ядерного в случае неполяризованных нейтронов

требует дополнит. измерений при повышенных темп-рах (выше точки Кюри или Нееля), а также в значит. магн. полях, ориентированных параллельно и перпендикулярно магн. моментам атомов. На рис. 3, а приведена нейтронограмма ядерного и магн. рассеяния нейтронов от поликристаллич. образца MnO, парамагнитного при комнатной темп-ре. При  $T$  ниже точки Нееля  $T_N = -80$  К MnO переходит в антиферромагн. состояние. Этому соответствует возникновение дополнит. максимумов на нейтронограмме. Полуцелые индексы указывают на то, что период магн. элементарной ячейки по всем направлениям вдвое больше структурного.

В случае поляриз. нейтронов для определения магн. структуры в отражениях, содержащих ядерный и магн. вклады, измеряют отношение интенсивностей  $I$  диффракц. нейтронных пучков с поляризацией параллельной ( $I^+$ ) и антипараллельной ( $I^-$ ) вектору намагниченности кристалла:

$$R = \frac{I^+}{I^-} = \left( \frac{1+\Delta}{1-\Delta} \right)^2; \quad \Delta = \frac{F_M}{F_{яд}}. \quad (6)$$

Для определения  $F_M$  для каждого отражения измеряют поляризац. отношение  $R$ .

Схема установки для проведения поляризац. анализа (спин-спектрометра) представлена на рис. 4. неполяризов. немонахроматич. пучок нейтронов  $I$  из ядерного реактора направляется на магн. кристалл 2, к-рый служит одновременно монохроматором и поляризатором нейтронов. Кристалл 2 находится во внеш. поле  $H$ , к-рое, намагничивая его до насыщения, ориентирует магн. моменты атомов нужным образом и задаёт поляризацию первичного пучка нейтронов (см. выше). Для измерений при двух ориентациях вектора поляризации нейтронов ( $\chi = \pm 1$ ) используют радиочастотную катушку 3 (флиппер), при включении к-рой направление поляризации изменяется на противоположное (спин нейтрона при поглощении фотона изменяет направление на противоположное). Исследуемый образец 4 помещают между полюсами электромагнита, позволяющего ориентировать вектор рассеяния вдоль и поперёк поля  $H$ , т. е. магн. вклад в рассеяние нейтронов образцом можно ли-

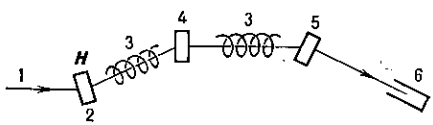


Рис. 4. Схема спин-спектрометра.

бо подавить, либо довести до максимума. Перед детектором нейтронов 6 помещён кристалл-анализатор 5, аналогичный поляризатору 2. И тот, и другой не отражают нейтроны, поляризация к-рых по направлению противоположна вектору намагниченности. При поляризации нейтронов  $\chi = \pm 1$  и аналогично настроенном анализаторе, если оба флиппера выключены, детектор измеряет сечение рассеяния нейтронов, не изменивших направления спина ( $\sigma_{++}$ ). Если оба флиппера включены, измеряется сечение  $\sigma_{--}$ . Если включён только 1-й или только 2-й флиппер, то измеряются процессы рассеяния с переворотом спина нейтрона. Обычно эксперимент проводится второй раз с выключенным флиппером, расположенным после образца. Т. о., измеряют зависимость интенсивности рассеяния нейтронов от угла  $\theta$  сначала магнитного (с переворотом спина нейтрона), а затем ядерного (без переворота спина) рассеяний и определяют  $F_M$  и  $F_{яд}$ . На рис. 5 приведено разделение ядерного и магн. рассеяния для образца гематита ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) при комнатной темп-ре и поляризации нейтронов, параллельной вектору рассеяния. Верхняя нейтронограмма получена при выключенных флипперах, когда фиксируется только ядерное рассеяние, нижняя нейтронограмма снята при включённом флиппере и содержит только дифракц. пики магн. рассеяния.