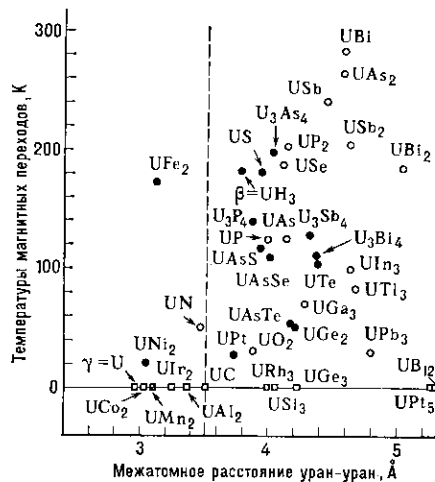


**Магнитные свойства актинидов.** В элементах Pa, U, Np и Pu  $d_{AN} < d_k$ , поэтому 5f-электроны в них коллективизированы. Т. к. плотность состояний 5f-электронов на ферми-уровне невелика и критерий зон-

Зависимость температуры магнитных переходов, К от расстояния между ближайшими атомами урана в кристаллической решётке соединений урана; ● — ферромагнетики, ○ — антиферромагнетики, □ — парамагнетики (температура магнитного упорядочения отсутствует).



ного ферромагнетизма не выполняется (см. *Зонный магнетизм*), эти металлы являются обменно-усиленными зонными парамагнетиками с магн. восприимчивостью  $\chi = (2-7) \cdot 10^4 \text{ см}^3/\text{моль}$ . С увеличением ат. номера актинида радиус 5f-оболочки уменьшается, и, начиная с Am, 5f-электроны в атомах можно рассматривать как локализованные. В Am осн. состояние 5f<sup>6</sup> является немагнитным (полное квантовое число  $J=0$ ), и этот металл обладает *ванфлековским парамагнетизмом*.  $\alpha\text{-Sm}$  с гексагональной кристаллич. структурой переходит в антиферромагн. состояние ниже 52 К,  $\beta\text{-Sm}$  с кубич. кристаллич. структурой ниже 205 К является либо ферримагнетиком, либо имеет неколлинеарную магн. структуру. При низких темп-рах  $\beta\text{-Vк}$  становится антиферромагнитным (по разл. данным его темп-ра Нееля  $T_N \approx 22-34 \text{ К}$ ),  $\alpha\text{-Cf}$  ниже 51 К переходит к ферромагн. состоянию. В  $\beta$ -модификациях Вк и Cf, а также в Es магн. упорядочения не обнаружено. Приведённые данные предварительны, т. к. исследования магнетизма трансурановых элементов затруднены их высокой радиоактивностью. Сведения о магнетизме тяжёлых актинидов Fm, Md и т. д. отсутствуют.

**Магнетизм соединений, содержащих актиниды.** Свойства магнитоупорядоченных соединений актинидов исключительно разнообразны. Обычно рассматривают две разл. группы А. м.:

1. Соединения с коллективизированными 5f-электронами (для них, как правило,  $d_{AN} \approx d_k$ ), в ряде случаев они содержат наряду с актинидами переходные d-металлы. Для этих магнетиков характерна малая по сравнению с рассчитанной в приближении локализованных магн. моментов величина намагниченности насыщения, подавление ферромагнетизма при наложении умеренного всестороннего давления, большая величина коэф. электронной теплоёмкости, отклонения от Кюри — Вейсса закона для парамагн. восприимчивости и т. д. Примеры зонных актинидных магнетиков: *интерметаллические соединения* типа  $AnM_2$  (где An — U, Np, Pu; M-переходной металл группы железа), UPt, NpRu<sub>2</sub>, NpOS<sub>2</sub> и т. д.

2. Соединения с почти локализованными 5f-электронами. У А. м. такого типа величины магн. моментов в магнитоупорядоченном состоянии близки к теоретически рассчитанным, выполняется закон Кюри — Вейсса для парамагн. восприимчивости, наблюдаются гигантские значения *магнитной анизотропии* и *магнитострикции*. Характерными для актинидных антиферромагнетиков являются сложные *магнитные*

*атомные структуры* (геликоидальные, типа спиновой волны, неколлинеарные структуры и т. д.), переходы между разл. магн. структурами при изменении темп-ры. Предпринимались попытки описать магнетизм соединений с лёгкими актинидами (на основе аналогии с редкоземельными магнетиками) в модели полностью локализованных 5f-электронов, обменное взаимодействие между к-рыми осуществляется через электроны проводимости (см. *Косвенное обменное взаимодействие*). Однако исследования моноактинидов с хим. ф-лой AnX (X — N, P, As, Sb, Bi) и монокл. аллюридов AnY (Y — S, Se, Te) урана, плутония и плутония (эта группа соединений изучена наиб. подробно) показали, что в них 5f-электроны не локализованы полностью и существенны эффекты перекрытия 5f- и 6d-орбиталей актинида, приводящие к возникновению сильноанизотропного обменного взаимодействия. Альтернативным механизмом, привлекаемым для объяснения магн. свойств моносоединений лёгких актинидов, является механизм смешивания 5f-электронов атома актинида с p-состояниями второго компонента (S, Se и др.).

Магн. свойства ряда А. м. приведены в табл.

**Магнитные свойства некоторых актинидных магнетиков**

Соединения	Тип кристаллич. структуры	Темп-ра магн. упорядочения, К	Магн. момент в упорядоченном состоянии, $\mu_B$	Эфф. магн. момент в парамагн. состоянии, $\mu_B$	Тип магн. упорядочения
UFe <sub>2</sub> NpFe <sub>2</sub> PuFe <sub>2</sub> AmFe <sub>2</sub>	MgCu <sub>2</sub>	170 500 600 350—400	0,6 2,7 3,3	2,0 3 ?	ФМ ФМ ФМ ФМ
UO <sub>2</sub> NpO <sub>2</sub> PuO <sub>2</sub> AmO <sub>2</sub> BkO <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	30,8 25 — 8,5 3	1,8 —0,01 ?	3,8 2,95 1,32 7,66	АФМ АФМ ПМ АФМ АФМ
UN NpN PuN AmN CmN	NaCl	52 87 13 — 109	0,75 1,4 <0,3 ?	3,1 2,4 1,5 1,4	АФМ ФМ АФМ ПМ ФМ
UAs NpAs PuAs AmAs CmAs	NaCl	124 62 172 155 142 129 13 140	1,92 2,5 0,35 ?	3,4 2,6 0,97 1,1 6,6	АФМ (2 структуры) АФМ (3 структуры) ФМ АФМ ФМ
$\alpha\text{-U}_3$ $\beta\text{-U}_3$	BiF <sub>3</sub> $\beta\text{-W}$	182 168—174	0,9 0,9—1,2	2,8 2,44	ФМ ФМ
UPt PuPt	CrB	27 19	? 0,22	? ?	ФМ ФМ

В табл. приняты следующие обозначения: ФМ — ферромагнетик, АФМ — антиферромагнетик, ПМ — парамагнетик; ? — данных нет; значение магн. момента (в магнетонах Бора  $\mu_B$ ) дано на формулу (UFe<sub>2</sub> и т. д.).

Лит.: Handbook on the Physics and Chemistry of the Actinides, v. 1-2. Editors A. J. Freeman and G. H. Lander, North-Holland Publ. Comp., 1984—85. Р. З. Левитин.

**АКТИНИДЫ** — то же, что *актиноиды*.