



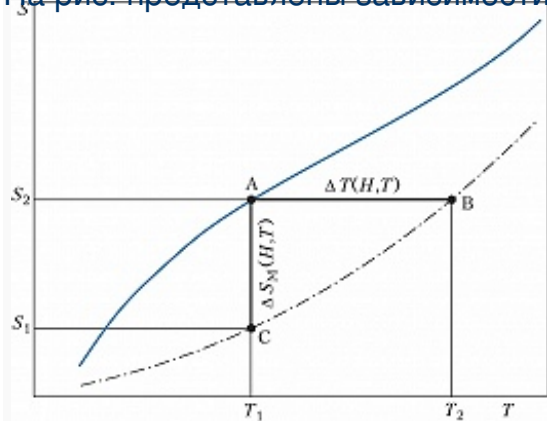
МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Авторы: Ю. И. Спичкин, А. М. Тишин

МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ, изменение термодинамического (теплового) состояния магнитного материала при изменении степени его магнитного упорядочения (магнитного состояния). Изменение теплового состояния образца проявляется как изменение его темп-ры и как изменение магнитной части энтропии образца и, соответственно, характеризуется двумя величинами – адиабатич. изменением темп-ры ΔT и изотермич. изменением магнитной части энтропии ΔS_M .

В простейшем случае твёрдого тела решёточную часть энтропии $S_{\text{реш}}$, характеризующую тепловое состояние решётки и движение её атомов, можно связать с кристаллич. решёткой, а с магнитной подсистемой – магнитную часть энтропии S_M , характеризующую степень упорядоченности магнитной подсистемы. Полная энтропия S материала представляет собой сумму магнитного и решёточного вкладов в энтропию: $S = S_{\text{реш}} + S_M$. При помещении материала в магнитное поле степень его магнитного упорядочения изменится, что вызовет изменение магнитной части энтропии на величину ΔS_M . Если процесс происходит в адиабатич. условиях, когда материал не получает и не отдаёт теплоту, и изменение его полной энтропии равно нулю ($\Delta S = 0$), то изменение магнитной части энтропии должно вызвать соответствующее изменение решёточной части энтропии: $\Delta S_{\text{реш}} = -\Delta S_M$. Изменение решёточной части энтропии означает изменение теплового состояния материала (при этом предполагается, что изменение электронной части энтропии, связанной со свободными электронами материала, малó). Таким образом, М. э. возникает в результате изменения степени упорядоченности магнитной подсистемы материала и взаимодействия между кристаллич. решёткой и магнитной подсистемой. В результате такого взаимодействия энергия, тратившаяся до упорядочения магнитных моментов на их разориентацию, переходит в энергию тепловых колебаний атомов кристаллич. решётки, что вызывает изменение темп-ры материала.

На рис. представлены зависимости



Зависимость полной энтропии ферромагнитного материала от температуры в отсутствие магнитного поля ($H=0$, верхняя кривая) и при его наличии ($H\neq 0$, нижняя кривая).

полной энтропии ферромагнитного материала от темп-ры при отсутствии магнитного поля ($H = 0$) и в магнитном поле ($H \neq 0$). Если ферромагнитный образец, находящийся при темп-ре T_1 в отсутствие магнитного поля (точка А на рис.), поместить в магнитное поле напряжённостью H при адиабатич. условиях (изменение полной энтропии $\Delta S = 0$), то произойдёт его переход из термодинамич. состояния А в термодинамич. состояние В. При этом переходе темп-ра образца изменится на величину адиабатич. изменения темп-ры $\Delta T = T_2 - T_1$. Если процесс проводится не адиабатически, а изотермически, т. е. с

теплообменом с окружающей средой при сохранении начальной темп-ры образца T_1 , то образец переходит из состояния А в состояние С. При этом переходе его полная энтропия меняется на величину изотермич. изменения магнитной части энтропии $\Delta S_m = S_2 - S_1$.

М. э. открыт нем. физиком Е. Варбургом в железе в 1881. В дальнейшем М. э. в осн. исследовался при низких темп-рах в парамагнитных солях разл. металлов, что было связано с его использованием для магнитного охлаждения. В последние десятилетия интерес к М. э. возрос в связи с возможностью его практич. применения в технологии магнитного охлаждения как в области криогенных, так и в области комнатных температур. Исследованы магнитокалорич. свойства большого числа материалов с разл. типами магнитного упорядочения – ферромагнитного, антиферромагнитного, ферримагнитного и сложными типами неколлинеарных магнитных структур. Макс. значений М. э. достигает в области магнитных фазовых переходов порядок – беспорядок (магнитоупорядоченное – парамагнитное состояние) и порядок – порядок (переходы со сменой типа магнитного упорядочения). Наибольшие величины М. э. обнаружены при магнитных фазовых переходах 1-го рода, а также в случае, когда магнитный переход сопровождается структурным переходом. Макс. величина М. э.

наблюдалась при фазовом переходе 1-го рода порядок – порядок в интерметаллиде $\text{Fe}_{49}\text{Rh}_{51}$, в котором относит. величины адиабатич. изменения темп-ры и изотермич. изменения энтропии составляют $\Delta T/\Delta H = 7,08 \text{ К/Тл}$, $\Delta S_{\text{M}}/\Delta H = 24,6 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К} \cdot \text{Тл})$ соответственно. Существенных величин М. э. достигает в соединении $\text{Gd}_5\text{Ge}_2\text{Si}_2$ [$\Delta T/\Delta H = 3,7 \text{ К/Тл}$, $\Delta S_{\text{M}}/\Delta H = -7 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К} \cdot \text{Тл})$], в котором магнитный фазовый переход сопровождается структурным переходом.

Величины ΔT и ΔS_{M} , характеризующие М. э., определяют либо прямым методом (напр., с помощью датчика темп-ры измеряют изменение темп-ры образца, намагничиваемого в адиабатич. условиях), либо вычисляют косвенным образом на основе измерений намагниченности или теплоёмкости образца. Из измерений намагниченности можно вычислить ΔS_{M} с помощью соотношения Максвелла:

$$\left(\frac{\partial S}{\partial H}\right)_{T,p} = \left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_{H,p},$$

где M – намагниченность, T – темп-ра, p – давление. На основе данных измерений температурных зависимостей теплоёмкости в отсутствие магнитного поля и при его наличии вычисляются температурные зависимости энтропии $S(H = 0, T)$ и $S(H, T)$, из которых затем определяются зависимости $\Delta T(H, T)$ и $\Delta S_{\text{M}}(H, T)$ (рис.).

Литература

Лит.: Tishin A. M., Spichkin Y. I. The magnetocaloric effect and its application. Bristol; Phil., 2003.

Processing math: 100%