DOI: 10.17117/na.2016.10.03.402

<http://ucom.ru/doc/na.2016.10.03.402.pdf>

Поступила (Received): 24.10.2016

Петькина Е.Д., Марченко Л.С., Баран М.И. Исследование магнитокалорического эффекта и его применение

Petkina E.D., Marchenko L.S., Baran M.I.
Study magnetocaloric effect and its application

Данная статья рассказывает об исследовании и применении магнитокалорического эффекта. Благодаря уникальным свойствам, материалы обладающие высоким магнитокалорическим эффектом широко используют для создания магнитных холодильных машин, что может способствовать уменьшению использования вредных экологии хладагентов

Ключевые слова: магнитокалорический эффект, ферромагнетик, магнетик, магнетизм

This article about researching and using of magnetocaloric effect. Materials, with high magnetocaloric effect, are widely used in magnetic refrigeration machines, due to they unique properties. It can helps reduce a using of environmental harming refrigerants

Key words: magnetocaloric effect, ferromagnetic, magnetic, magnetism

Петькина Екатерина Дмитриевна

Магистрант

Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева
г. Красноярск, ул. Перенсона, 7

Petkina Ekaterina Dmitriyevna

Master

Krasnoyarsk state pedagogical university named V.P. Astafiev
Krasnoyarsk, Perenson st., 7

Марченко Любовь Сергеевна

Магистрант

Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева
г. Красноярск, ул. Перенсона, 7

Marchenko Lubov Sergeevna

Master

Krasnoyarsk state pedagogical university named V.P. Astafiev
Krasnoyarsk, Perenson st., 7

Баран Мария Игоревна

Магистрант

Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева
г. Красноярск, ул. Перенсона, 7

Baran Maria Igorevna

Master

Krasnoyarsk state pedagogical university named V.P. Astafiev
Krasnoyarsk, Perenson st., 7

Магнитокалорический эффект (МКЭ) в течение долгого времени если и находил практическое применение, то только в холодильных циклах, осуществляемых в области очень низких температур ($1\text{T} < \text{K}$). Благодаря обнаружению значительных величин калорических эффектов в области фазовых переходов типа порядок – беспорядок, методы охлаждения на основе МКЭ в настоящее время рассматриваются в качестве конкурентноспособных в широком интервале температур, как ниже, так и выше комнатной температуры, по отношению

к традиционным методам, в основе которых лежат, например, газовые и термо-электрические циклы.

Магнитокалорический эффект – изменение температуры магнитного вещества (магнетика) при его адиабатическом намагничивании (размагничивании). В условиях адиабатичности магнетик не поглощает и не отдает теплоту ($dQ = 0$), поэтому энтропия S магнетика не меняется:

$$dS = dQ/T = 0.$$

По существующей терминологии к МКЭ не относят тепловые эффекты, обусловленные необратимым выделением тепла при намагничивании и перемагничивании ферромагнетиков за счет магнитного гистерезиса, магнитной релаксации и токов Фуко [3].

Интерес к исследованиям магнитокалорического эффекта подкрепляется потребностью промышленности в материалах, обладающих высоким МКЭ, для создания магнитных холодильных машин, в которых такие материалы могут выступать в роли рабочего тела холодильной установки. Это позволит отказаться от использования вредных экологии хладагентов. Поэтому наибольший интерес представляют экономически выгодные материалы с большим значением магнитокалорического эффекта в районе комнатной температуры.

Исследования магнитокалорического эффекта дают ценную информацию о свойствах твердого тела вблизи фазовых переходов и основных взаимодействиях, оказывающих влияние на магнитоупорядоченное состояние.

При объяснении магнитокалорического эффекта в рамках термодинамики энтропию рассматривают как функцию температуры T , давления p и напряженности H внешнего магнитного поля, $S=S(T, p, H)$, откуда в условиях адиабатичности:

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_{p,H} dT + \left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_{T,H} dp + \left(\frac{\partial S}{\partial H}\right)_{T,p} dH = 0$$

При постоянном давлении ($p = \text{const}$) $dp=0$. В записи для конечных изменений величин:

$$\Delta T = - \frac{(\partial S / \partial H)_{T,p} \cdot \Delta H}{(\partial S / \partial T)_{p,H}} \quad (1)$$

Соотношение (1) позволяет найти зависимость ΔT от ΔH , если раскрыть значение входящих в него частных производных. Производная $(dS/dT)_{p,H} = C_{p,H}/T$, где $C_{p,H}$ – теплоемкость магнетика. Производная $(dS/dH)_{T,p}$ может быть преобразована на основе соотношения взаимности частных производных внутренней энергии магнетика: $(\partial S / \partial T)_{T,p} = (\partial M / \partial T)_{p,H}$, где M – намагниченность. Таким образом:

$$\Delta T = - \frac{(\partial M / \partial T)_{p,H} \cdot \Delta H}{C_{p,H}/T} \quad (2)$$

Поскольку $C_{p,H}/T > 0$, изменение температуры магнетика – охлаждение ($\Delta T < 0$) или нагрев ($\Delta T > 0$) – зависит от знака производной $(\partial M / \partial T)_{p,H}$ и изменения внешнего магнитного поля ($\Delta H > 0$ – намагничивание, $\Delta H < 0$ – размагничивание) [3].

В последние годы проявляется интерес к созданию новых типов магнитных холодильных машин (МХМ), основанных на использовании МКЭ. При этом в качестве рабочих тел предлагается использовать редкоземельные магнетики, сплавы Гейслера, арсенид марганца $MnAs$, соединения $Gd_5(Si_2Ge_2)$, RCo_2 , $La(Fe,Si)_{13}$ и др., обладающие большим МКЭ и изменением магнитной энтропии в удобных для работы таких машин интервалах температур [1], [4].

В одной из конструкций МХМ твердое рабочее тело – магнетик циклически перемещается между приемником и источником теплоты (охлажденным телом). В зоне сильного магнитного поля рабочее тело изотермически намагничивается, а теплота, которая выделяется в рабочем теле вследствие МКЭ, передается приемнику теплоты. В зоне, где 4 из 5 магнитное поле отсутствует, рабочее тело размагничивается, вследствие чего температура рабочего тела снижается и ему передается теплота от источника теплоты – охлаждаемого тела. После установления равновесия цикл повторяется. Таким образом, МКЭ обеспечивает работу магнитотеплового насоса, который «откачивает» тепло от охлаждаемого тела. Другой перспективной моделью магнитной холодильной машины является устройство, где через область, в которой создано сильное магнитное поле, производится прокачка жидкости с наполнителем в виде магнитных частиц с большим МКЭ [1], [2].

Исследование магнитокалорического эффекта позволяет получить важную информацию о характеристиках магнитного упорядочения, обменных и магнитокристаллических взаимодействиях, о трансформации магнитных структур при действии магнитного поля. А также исследование МКЭ является актуальным для физики конденсированного состояния и физики магнитных явлений, для получения информации о природе магнитных фазовых переходов в магнитоупорядоченных веществах.

Список используемых источников:

1. Андреев А.С. и др. "Магнитокалорические эффекты в редкоземельных магнетиках" УФН 158 553–579 (1989).
2. Архаров А. М., Брандт Н. Б., Жердев А. А., О возможности создания магнитных холодильных машин, "Холодильная техника", 1980. № 8, с. 13. С. А. Никитин.
3. Вонсовский С. В., Магнетизм, М., 1971, с. 368.
4. Никитин С. А. и др., Магнитокалорический эффект в соединениях редкоземельных металлов с железом, "ЖЭТФ", 1973, т. 65, с. 2058.