**Влияние нестационарных воздействий на параметры фазового перехода в FeRh системах**

**Комлев А.С.**

*аспирант*

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,физический факультет, Москва, РоссияE–mail: alkomlev98*@yandex.ru*

Материалы, обладающие магнитными фазовыми переходами первого рода, с практической точки зрения являются интересными объектами для исследований. Калорические, магнитные и структурные свойства данных соединений значительно изменяются вблизи температуры фазового перехода. Сплавы, в которых наблюдаются данные эффекты, могут быть использованы для создания охлаждающих устройств, термомагнитных генераторов, различного рода датчиков и актюаторов [1]. Однако, процессы формирования и роста фазы в момент фазового перехода при нестационарном воздействии до сих пор до конца не изучены. Поэтому исследование процессов нуклеации, роста и объединения ферромагнитных кластеров в магнитокалорических материалах является ключевой задачей для построения теории фазовых переходов первого рода [2].

В соединениях на основе железа-родия с эквиатомным элементным составом наблюдается фазовый переход первого рода из антиферромагнитного в ферромагнитное состояние. Помимо изменения магнитной структуры, кристаллическая решетка сплава увеличивается в объеме примерно на 1 % в момент фазового перехода. Создаваемые локальные напряжения влияют на процесс фазообразования [3]. Варьирование скорости нагрева или скорости изменения внешнего магнитного поля способно изменить процесс формирования локальных напряжений в образце, что в свою очередь изменяет поведение намагниченности при внешнем воздействии.

С целью описания экспериментальных результатов температурной зависимости намагниченности при фиксированной скорости нагрева была предложена соответствующая феноменологическая модель. Температурная зависимость намагниченности рассчитывалась на основе теории Бина и Родбелла [3] и теории фазовых переходов Ландау-Лившица [4]. В расчет добавлены параметры, при помощи которых была учтена скорость нагрева образца. Для этого свободная энергия магнетика была записана в следующем виде:

$F=-MH+\frac{1}{2}α(T-T\_{0}\left(1-β\frac{v-v\_{0}}{v\_{0}}\right))M^{2}+\frac{1}{4}BM^{4}+\frac{1}{6}СM^{6}-Pv$ $F=-MH+\frac{1}{2}AM^{2}+\frac{1}{4}BM^{4}+\frac{1}{6}СM^{6}-Pv$(1)

Где $M$ – намагниченность, $H$ – напряженность магнитного поля, $T$ – температура, $α$ – феноменологический параметр теории Ландау (константа), $T\_{0}$ – температура фазового перехода недеформированной решетки, $β$ – коэффициент пропорциональности между температурой фазового перехода и объемом кристаллической решетки, $v$ – объем кристаллической решетки, $v\_{0}$ – объем кристаллической решетки высокотемпературной фазы, $P$ – давление, $B, С$ – коэффициенты теории Ландау, слабо зависящие от температуры (их температурной зависимостью можно пренебречь). Также учитывается тот факт, что $\frac{v-v\_{0}}{v\_{0}}$ является функцией, линейно зависящей от давления и квадратично от намагниченности. С целью учета конечной скорости нагрева образца было применено уравнение Ландау-Халатникова [5], которое позволяет описать нестационарный процесс изменения намагниченности:

$\frac{∂M}{∂t}=-Г'\frac{∂F}{∂M}$(2)

Где $Г'$ – кинетический коэффициент. Дифференциальное уравнение (2) решалось при помощи метода Рунге-Кутта 4-го порядка, расчеты проводились в написанной на C++ программе.

Автор надеется, что детальные исследования динамического поведения возникновения ферромагнитной фазы позволят усовершенствовать теорию фазовых переходов первого рода.

Автор благодарит фонд БАЗИС за стипендиальную поддержку. Автор выражает благодарность за поддержку гранта Минобрнауки России № 075-15-2021-1353. Работа выполнена при частичной поддержке М.В. Программа развития МГУ им. Ломоносова.

**Литература**

1. Dzekan D. et al. Efficient and affordable thermomagnetic materials for harvesting low grade waste heat // APL Materials. American Institute of Physics, 2021. Vol. 9, № 1. P. 011105.

2. Komlev A.S. et al. Ferromagnetic phase nucleation and its growth evolution in FeRh thin films // Journal of Alloys and Compounds. 2021. Vol. 874. P. 159924.

3. Rodbell D.S., Bean C.P. Some Magnetic First‐Order Transitions // Journal of Applied Physics. American Institute of Physics, 1962. Vol. 33, № 3. P. 1037–1041.

4. Мушников Н.В. Магнетизм и магнитные фазовые переходы : учебное пособие. Издательство Уральского университета, 2017.

5. Costa R. et al. Landau theory-based relaxational modelling of first-order magnetic transition dynamics in magnetocaloric materials // J. Phys. D: Appl. Phys. 2023.