

НОВИЙ ДОДАНОК У ПРУЖНІЙ ЕНЕРГІЇ І ЙОГО ВПЛИВ НА ФАЗОВІ ПЕРЕХОДИ

А.А. Щербаков

Донецький національний університет,
вул. Університетська, 24, Донецьк 83055
e-mail: AndreTchr@rambler.ru

Використано новий доданок у пружній енергії. Отримано рівняння для температурної залежності намагніченості. На основі цього рівняння побудовано графіки залежності намагніченості від температури $y=f(T/T_0)$. Знайдено і проаналізовано умови одержання фазових переходів першого і другого роду. Проведено порівняння отриманих результатів з відомими для лінійної моделі.

У теорії фазових переходів (ФП) проявилось протиріччя, яке виявляється в тому, що на словах приймається залежність стисливості від тиску p , а при аналізі фазових переходів використовуються рівняння, які були отримані для $K=\text{const}$ (K – стисливість, що є найважливішою характеристикою твердого тіла під високим тиском).

При відносно малих тисках у виразі для пружної енергії з'являється новий доданок, пропорційний p^3 , якого не спостерігалось при розгляді лінійної моделі [1]. Результати змін стисливості вдало описуються виразом

$$-\frac{\Delta V}{V_0} = Kp - bp^2, \quad (1)$$

де K – стисливість, b – характеристика речовини, ΔV – зміна об'єму, V_0 – початковий об'єм, p – тиск [2].

При невеликому діапазоні тисків стисливість прийнято вважати незмінною величиною, що описується законом Гука

$$-\frac{\Delta V}{V_0} = pK. \quad (2)$$

Саме в цьому наближенні звичайно використовується стисливість при записі пружної енергії й аналізі магнітних перетворень [3]. Можна чекати, що врахуван-

ня другого доданка у (1) приведе до якісно нових результатів.

У зв'язку з цим видається корисним проаналізувати, як перехід від (2) до (1) відіб'ється на особливостях фазового перетворення. Завдяки такому аналізу було обчислено новий доданок у пружній енергії, який дозволив одержати температурну залежність намагніченості, відмінну від тієї, яка спостерігалась в лінійній моделі.

У результаті цього для вільної енергії одержимо вираз

$$G = -NkT_0 \frac{(1 + \beta((V - V_0)/V_0))y^2}{2} + \frac{((V - V_0)/V_0)^2}{2K} + \alpha((V - V_0)/V_0)^3 - TS \quad (3)$$

де y – відносна намагніченість, N – концентрація іонів, β – параметр теорії, $\alpha = b/3K^3$ (набуває як позитивних, так і негативних значень); V – об'єм ґратки; k – константа Больцмана. S – ентропія системи:

$$S = -Nk \frac{[(1+y) \cdot \ln(1+y) + (1-y) \cdot \ln(1-y)]}{2}$$

У (3), за рахунок врахування нелінійності в пружній енергії, присутній

кубічний доданок, якого не спостерігалось в лінійній моделі.

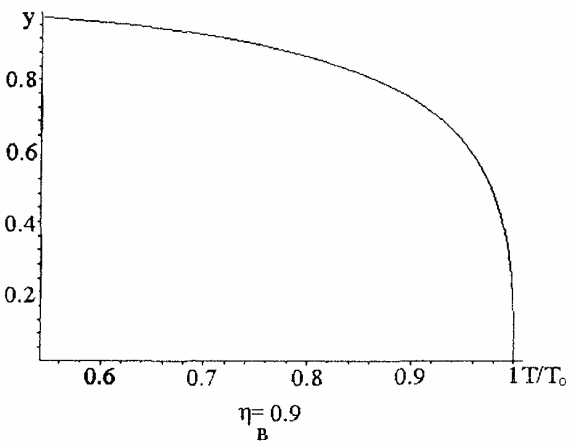
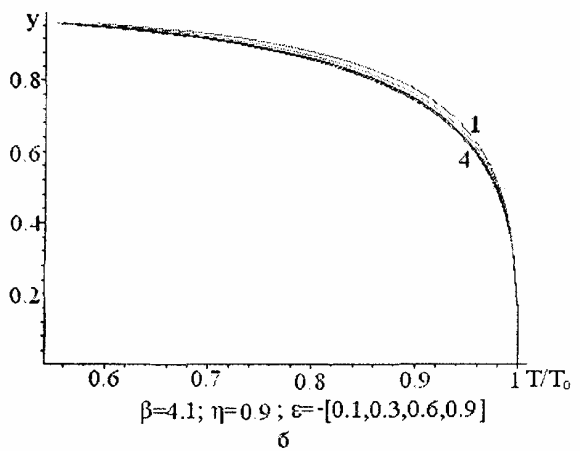
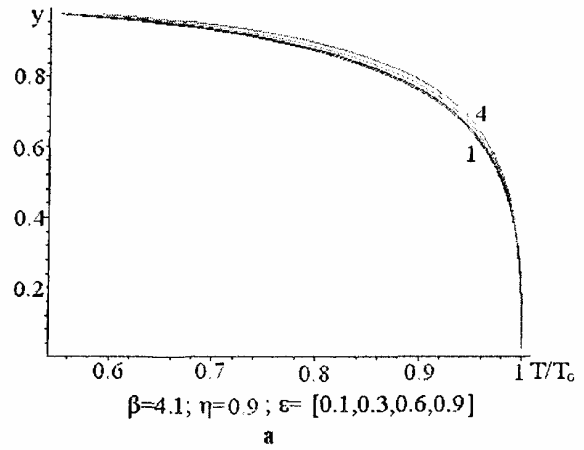
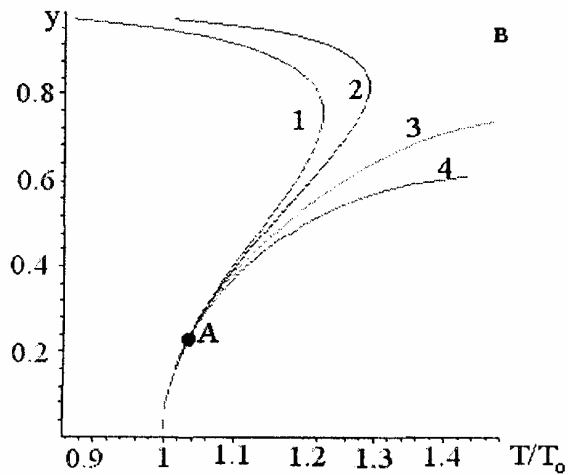
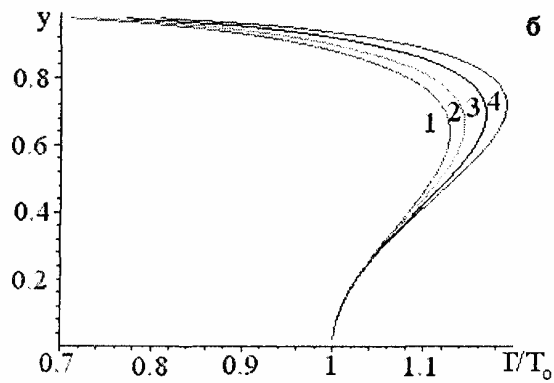
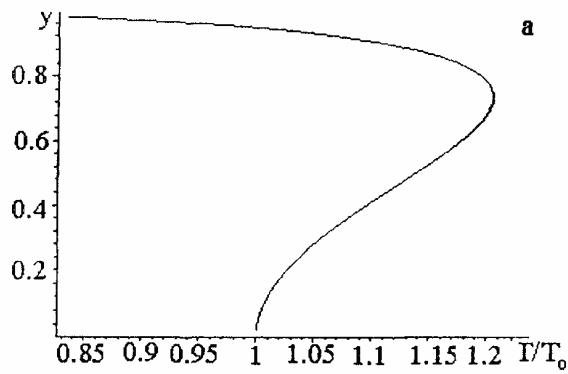


Рис. 1. Залежність відносної намагніченості від температури для фазового переходу I роду в лінійній моделі з $\eta=3$ (а) та нелінійній моделі (б) з $\beta=4.1$, $\eta=3$ та $\epsilon=0.1$ (1), 0.3 (2), 0.6 (3), 0.9 (4).

Рис. 2. Залежність відносної намагніченості від температури для фазового переходу II роду в нелінійній моделі (а) з $\beta=4.1$, $\eta=0.9$ та $\epsilon=0.1$ (1), 0,3(2), 0,6(3), 0,9(4), (б) $\epsilon=-0.1$ (1), $-0,3$ (2), $-0,6$ (3), $-0,9$ (4) та в лінійній моделі (в) з $\eta=0.9$.

Для того, щоб отримати температурну залежність намагніченості, необхідно мінімізувати вільну енергію відносно V .

У результаті одержимо вираз:

$$\frac{(V - V_0)}{V_0} = \frac{\left(1 \pm \left(\frac{1 - 4\alpha K y^2 \eta}{\beta}\right)^{1/2}\right)}{6\alpha K} \quad (4)$$

У даному рівнянні для скорочення запису використовуємо $\eta = \frac{3NkT_0 K \beta}{2}$. Значимо, що в (4) неможливо перейти до кореня, що був отриманий у лінійній моделі, взявши $\alpha = 0$, тому що це приведе до нескінченного об'єму.

Зробимо заміну (4) у (3), після чого мінімізуємо отриманий вираз відносно y , прирівнюючи до нуля, одержуємо аналітичний вираз для температурної залежності намагніченості.

Для температурної залежності намагніченості маємо таке рівняння:

$$\frac{T}{T_0} = \frac{y \left(6\varepsilon + \beta \left(1 \pm \left(1 - \frac{4\varepsilon y^2 \eta}{\beta} \right)^{1/2} \right) \right)}{6\varepsilon \cdot \arctan h(y)} \quad (5)$$

де $\varepsilon = \alpha \cdot K$

$$\text{при } \eta = \frac{3NkT_0 K \beta}{2}.$$

Завдяки наявності ε у знаменнику (5) не може бути перетворене у вираз, який було отримано в лінійній моделі:

$$\frac{T}{T_0} = y \left(1 + \frac{\eta y^2}{3} \right) / \arctan h(y)$$

Внаслідок введення в G нового доданка в розглянутій моделі утворюються нові корені, які містять ε .

За формулою (5) побудовано і проаналізовано графічні залежності $y=f(T/T_0)$ на наявність ФП I й II родів, а також проведено порівняння з результатами лінійної моделі.

Для побудови графіків (рис. 1 і 2) використовували набір $\varepsilon = \pm [0,1; 0,3; 0,6; 0,9]$, а також $\beta = 4,1$; $\eta = 0,9; 3$ (для нелінійної моделі).

У розглянутій моделі з рис. 1 в (наочно ілюструє особливості розвитку нелінійної моделі) виходить, що при малих y (нижче точки A), криві $y(T/T_0)$ для різних значень ε збігаються, однак при більш високих значеннях намагніченості криві $y(T/T_0)$ починають якісно відрізнятися. Криві 1 і 2 на рисунку відповідають ФП першого роду, криві 3 і 4 обмежуються деякими значеннями температур і ніколи не виявлялися і не описувалися.

Отже, аналізуючи температурну залежність намагніченості, нами встановлено, що немає можливості екстраполювати отримані вирази до $\varepsilon=0$. Це означає, що врахування ε приводить до якісно нових розв'язків. Ця обставина робить дослідження особливо цікавим. Несподіваним виявилось те, що характер фазового переходу в розглянутій моделі залежить від намагніченості, тому можливі ситуації, коли при малих намагніченостях тип перетворення від ε не залежить, а при великих намагніченостях – залежить.

Література

1. С.Р.Bean, D.S.Rodbell, Phys. Rev. 126, 104 (1962).
2. П.В.Бриджмен, Физика высоких давлений (ОНТИ, Ленинград, 1935).
3. Э.А.Завадский, В.И.Вальков, Магнитные фазовые переходы. (Наукова думка, Киев, 1980).

A NEW COMPONENT IN THE ELASTIC ENERGY AND ITS INFLUENCE ON PHASE TRANSITIONS

A.A. Shcherbakov

Donetsk National University,
Universytetska St., 24, Donetsk 83055
e-mail: AndreTchr@rambler.ru

A new term in the elastic energy is presented. An equation for the temperature dependence of magnetization is obtained, on its base the temperature dependences of magnetization $y=f(T/T_0)$ being plotted. The conditions of first- and second-order phase transitions are found and analyzed. The obtained results are compared with the known data for the linear model.