

## НАМАГНІЧЕНІСТЬ РЕЧОВИНИ, ЯК ІДЕАЛЬНОГО ГАЗУ ЧАСТИНОК З МАГНІТНИМИ МОМЕНТАМИ, ЩО ПАРНО ВЗАЄМОДІЮТЬ

В роботі аналізуємо намагніченість матеріалу з використанням моделі парної взаємодії частинок пов'язаних обмінною взаємодією у напрямку паралельному прикладеному полю. Аналізуємо випадки як малої, так і великої (у порівнянні із енергетичною температурою) обмінної енергії, а також випадки її від'ємного і додатного значення. Розглядаємо випадки сильних та слабких магнітних полів.

**Актуальність** дослідження обумовлене зростанням практичного застосування магнітних матеріалів у сучасній електроніці (високочастотні польові, світловипромінюючі та резонансні тунельні спінові діоди, частотні спінові підсилювачі, швидкодіючі магнітні перемикачі) а також поглибленим пошуком нових матеріалів, що мають напівпровідникові і магнітні властивості, рівно ж як і матеріалів із почерговими напівпровідниковими та магнітними прошарками, товщиною в декілька нанометрів.

**Використані наближення.** Розглядаємо ідеальний газ пар  $N$  частинок із постійним магнітним моментом  $\mu$  і спіном  $S = 1$ . Між парами частинок існує обмінна взаємодія з енергією  $c$ . Вважаємо, що система знаходиться у стані термодинамічної рівноваги, проте взаємодії між парами, парами та оточуючим середовищем не аналізуємо.

**Отримані вирази та їх аналіз.** Магнітний момент такої системи можна подати у вигляді [1]:

$$M = \frac{4N\mu}{Z} \cdot e^{-\frac{c}{kT}} \cdot sh\left(\frac{2\mu H}{kT}\right); \quad Z = 2 \cdot \left( ch\left(\frac{c}{kT}\right) + e^{-\frac{c}{kT}} \cdot ch\left(\frac{2\mu H}{kT}\right) \right), \quad (1)$$

де  $H$  – напруженість прикладеного поля,  $kT$  – енергетична температура,  $Z$  – статистична сума. Ми проаналізували температурну залежність магнітного моменту для різних співвідношень між енергіями. При високих температурах, малому магнітному полі і малою обмінною взаємодією отримали лінійну залежність магнітного моменту від прикладеного поля, дуже близьку до закону Кюрі (Рис.1). Матеріал проявляє парамагнітні властивості. При високих температурах, малому магнітному полі і великою від'ємною обмінною взаємодією ми отримали теж лінійну залежність магнітного моменту від прикладеного поля, дуже близьку до закону Кюрі. Однак тут магнітний момент набуває значно більших значень. При високих температурах, малому магнітному полі і великою додатною обмінною взаємодією ми отримали дуже малі значення магнітного моменту - матеріал проявляє антиферомагнітні властивості. При низьких температурах, великих прикладених полях та великому значенні обмінної взаємодії (додатне – антиферомагнетизм, та від'ємне – феромагнетизм) магнітний момент, обчислений за виразом (1), показує стрімке зростання до насичення вже при малих прикладених полях для феромагнетиках (Рис.2). Аналогічна тенденція притаманна і антиферомагнітному матеріалу, однак для значно вищих прикладених магнітних полів. Низькі температури, велике магнітне поле, дуже велика обмінна взаємодія: для магнітних моментів спостерігаємо повне впорядкування доменів (насичення) у разі феромагнітної взаємодії та дуже малий магнітний момент для антиферомагнетика.

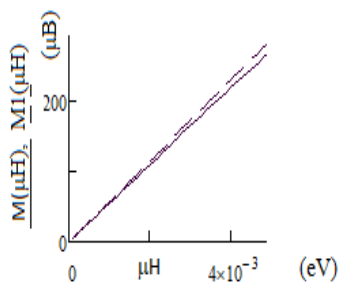


Рис. 1. Магнітний момент при  $kT = 0,023$  eV. Суцільна лінія відповідає (1), пунктирна – закону Кюрі.

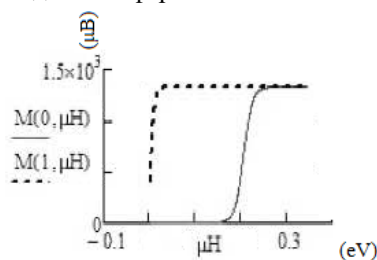


Рис. 2. Магнітний момент при  $kT = 0,019$  eV. Суцільна лінія (1) відповідає антиферомагнітній, а пунктирна лінія (2) – феромагнітній обмінній взаємодії.

**Висновок.** Отриманий вираз магнітного моменту задовільно описує магнітний момент різних матеріалів. Вирази узгоджуються із експериментальними значеннями магнітного моменту, та теоретичними узагальненнями [2].

### Список використаних джерел

1. Goldsmid . H.J. Problems in Solid State Physics. 1968.: London, Academic. 466 p.
2. Ковалюк З. Д., Боледзюк В. Б., Камінський В. М. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2012. – 56, № 2/5. – 12 – 14 с.