

자기모멘트의 개념, 4f-3d화합물의 3d-4f교환작용이방성과 4f-4f교환작용

長春市 130023 吉林大學 物理系 金漢民

CONCEPT OF MAGNETIC MOMENT, AND ANISOTROPY OF 4f-3d EXCHANGE INTERACTION AND 4f-4f EXCHANGE INTNERACTION IN 4f-3d METAL COMPOUNDS

DEP. PHYSICS, JILIN UNIV., CHANGCHUN, CHINA. HAN-MIN JIN

자기모멘트 \mathbf{p}_M 은 자기학의 제일 기본적인 개념이다. 대다수 책에서 자기모멘트는 아래식과 같이 정의되고 있다.

$$\mathbf{p}_M = q\mathbf{l} \quad (1) \quad \text{혹은} \quad \mathbf{p}_M = i\mathbf{S}. \quad (2)$$

여기서 q 와 \mathbf{l} 는 쌍극자의 극세기와 극간의 거리벡터이고 i 와 \mathbf{S} 는 페쇄회로의전류와 면적벡터이다. 식(1)은 거시적으로는 합리적이거나 미시적으로는 실험근거가 없다. 식(2)는 원자궤도의 자기모멘트를 설명하나 전자의 자기 스핀모멘트와 전하를 가지지 않는 중성자의 자기모멘트 등 중요한 모멘트에는 적용되지 않는다. 임의 입자의 \mathbf{p}_M 은 아래식으로 정의되어야한다고 생각된다.

$$\mathbf{f}_\alpha = \mathbf{p}_M \cdot \delta\mathbf{B} / \delta r_\alpha \quad (\alpha = x, y, z), \quad \text{즉} \quad \mathbf{p}_M = -\delta E / \delta \mathbf{B}. \quad (3)$$

여기서 \mathbf{f} 는 입자가 자장안에서 받는 힘, \mathbf{r} 은 입자의 위치벡터이고 E 는 계통의 에너지이다. 식(3)에 의하여 식(1), 식(2), 자기궤통법칙, 균일한 자장안에서 자기모멘트가 받는 토크 등 중요한 특성이 유도된다.

4f-3d화합물의 자기특성인 자화의 온도의존성, 고자장 자화곡선, 자화용이축 방향의 온도의존성 및 희토류이온(R) 에너지준위의 온도의존성 등은 single ion model 을 이용하여 해석된다. 여기서 R의 상호작용은 spin-orbit 작용, R-3d교환 작용, 결정장작용 및 Zeeman 에너지 등으로 구성된다.

$$\text{즉} \quad H = \lambda \mathbf{S} \cdot \mathbf{L} + H_{\text{ex}}(R-3d) + H_{\text{CF}} - M_R \cdot \mathbf{H}. \quad (4)$$

보편적 관점에 의하면 R-R 교환작용은 R-3d 교환작용에 비하여 매우 작아 무시되고 있으며 RCo₅를 제외하면 R-3d교환작용의 이방성도 무시되고있다. 그러나 우리가 최근에 행한 분석에 의하면 R-3d 교환작용의 이방성이 Gd_xY_{1-x}Co₅에서는 등방성교환작용의 1.1%, R₂Co₁₄B 에서는 약 0.7 %, DyFe₁₁Ti 에서는 약 0.6 %를 나타내고있다. 따라서 R-3d 교환작용이방성은 결정장작용과 같은 order의 값을 가지고 있기때문에 화합물의 자기이방성과 관계되는 자성에 상당히 기여되고 있는것으로 분석되고있다. 또한 R₂Fe₁₄B (R=Gd, Dy, Er)에서는 R-R 교환작용이 R-3d교환작용과 같은 order의 값을 가지고 있기 때문에 역시 무시할 수 없는 것으로 사료된다.

우리의 중간시험공장에서는 자동차 motor 용 고보자력 Nd-Fe-B자석을 제작중으로, 그의 자기특성은 iH_c ~ 24 kOe, Br ~ 9.9 kG 이다.