

바닥 상태 염화철(III)의 스핀의 특성에 대한 연구

강병기^{1*}, 김창수¹, 조은아¹, 권상일¹, 이순철¹

¹카이스트

1. 서론

최근 연구되는 자성 물질들은 다강체(multiferroics)나, 스핀 유리(spin glass), 찢찢맴(frustration) 구조 등 복잡한 스핀구조를 지나고 있어 스핀의 상태를 파악하는 것이 쉽지 않다. 그 때문에 그 이면에 있는 물리현상 역시 단순한 스핀구조의 물질에 비해 지난한 구석이 있다.

본 발표의 연구 대상인 염화철(III)의 경우 상온에서는 상자성을 띄는 단순한 특성을 보이지만 바닥상태에 이르면 나선형의 복잡한 스핀 구조를 나타낸다고 알려져 있다. 여기에 자기장을 인가할 경우 약 1.5 T와 4 T에서 자기 양자 상전이(transition)가 일어나 그 구조가 바뀐다고 한다. 1.5 T 상전이의 경우 인가한 자기장에 따라 스핀이 두 가지 각을 갖게 되는데, 이에 따라 꼭지점이 맞닿은 두 개의 나선-원추형 스핀구조를 지니게 되고, 4 T 상전이를 통해 스핀 플롭이 일어난다고 알려져 있다. 그런데 여기에서 1.5 T의 상전이 경우 서로 다른 실험에서 다르게 주장하고 있다. 한 뫼스바우어 실험에서 이를 주장한데 반해 한 자화율 실험에서는 그와는 일치하지 않는 결과를 얻었다고 보고하고 있다.

따라서 본 발표에서는 염화철(III) 바닥상태에서 스핀 모멘트가 어떤 특성을 취하고 있는지 핵자기공명을 통하여 살펴보고자 한다. 핵자기공명은 자성체의 미시적 자기 모멘트를 측정할 수 있는 좋은 도구이다. 따라서 이 실험의 결과를 통해 스핀 모멘트의 크기나 방향 등을 추정할 수 있다. 우리는 이와 같은 결과들을 토대로 그 이면에 있는 물리를 함께 밝히고자 한다.

2. 실험방법

주된 실험은 펄스 방식의 핵자기공명을 이용하였다. 자성체 안의 자성이온의 핵스핀에 대한 핵자기공명은 공명 주파수로부터 그 핵스핀이 놓인 곳의 국소자기장의 정보를 얻을 수 있다. 이 국소 자기장은 외부의 자기장과 자성이온의 스핀 모멘트에 의한 초미세자기장의 합으로 이루어진다. 따라서 우리는 주파수의 변화를 통해 자성이온의 스핀 크기와 외부자기장과의 관계에 대해 파악할 수 있게 된다. 또한 신호 간격으로부터 스핀과 외부자기장 사이의 각의 분포에 대해서도 알 수 있다.

3. 실험결과

우선 영 자기장에서의 핵자기공명 신호로부터 우리는 철 이온의 초미세자기장의 크기와 그 상호작용 상수를 구할 수 있었다. 또한 바닥상태에서부터 온도가 올라감에 따라 거시적으로 측정할 수 없는 자기모멘트의 크기를 측정하였고, 이 크기가 온도에 따라 작아지는 경향성을 기존의 스핀 파동 들뜸 이론에 맞추어본 결과 단순한 반강자성체의 자기이방성이 없는 상태의 식에 잘 맞는 것을 확인할 수 있었다.

그리고 초전도양자간섭계를 이용하여 거시적인 자화곡선을 측정하였는데, 중성자회절 실험결과 4.3 μ B라는 비교적 큰 값인데 비해 여기서 얻은 값은 7 T에서 0.1 ~ 0.2 μ B 정도의 아주 작은 양이다. 여기에서는 1.5 T에서는 기울기의 변화를 보았고, 4 T에서는 아무런 변화를 볼 수 없었다.

철 핵자기공명의 자기장 의존성을 측정하였다. 이 자기장의존성은 초미세자기장과 외부자기장 사이의 각을 알려준다. 우리의 실험결과는 낮은 온도에서 신호의 간격이 점점 넓어지다가 약 3 T 이상에서 줄어들며 이것으로 자기장 \circ 4 T를 지나쳐도 별다른 주파수의 변화를 볼 수 없었다. 그러나 더 자기장을 키울 때 소규모로 주파수가 작아지는 것을 관찰할 수 있었다.

4. 고찰

온도의존성 실험에서 스핀 파동인 마그논에 맞추어 보는 것은 Bloch T2법칙을 통해 이 물질이 반강자성의 성질을 지녔다는 것을 다시 한번 확인하여주었고, 자기 이방성을 구체적으로 구할 수는 없지만 작을 것이라는 추측할 수 있었다. 한편 자기장 의존성에 대한 실험에서는 급격한 1.5 T, 4 T 자기적 양자 상전이는 관찰 할 수 없었다. 반면 5 T 이상의 고 자기장에서 스핀들이 외부 자기장에 대해 직각에 가깝도록 질서를 이루고 있으며 자기장이 커짐에 따라 약간 자기장 쪽으로 따라오는 관계를 하고 있음을 알 수 있었다. 우리는 이와 같은 사실을 토대로 교환상호작용의 크기와 자기이방성을 가늠하여보았다.

5. 결론

우리의 염화철(III)의 바닥상태에 대한 스핀 상태 실험은 기존의 보고와는 사뭇 다른 결과를 가져왔는데, 급격한 상전이들은 보이지 않고 오히려 높은 자기장에서 스핀들이 자기장에 대해 직각으로 정렬하는 것을 알 수 있다.

6. 참고문헌

- [1] N. Wooster, Z. Kristallogr. 83 85 (1932)
- [2] S. Blairs, et al., J. Inorg. Nucl. Chem, 28 1855 (1966)
- [3] J. W. Cable et al., Phy. Rev. 127 714 (1962)
- [4] Y. Enodoh, et al., A.I.P. Conf. Proc. 10 98 (1973)
- [5] J. P. Stempfel, et al., Phys. Rev. B 8 4371 (1973)
- [6] F. V. Bragin et al., Sov. Phys. JETP 43 803 (1976)
- [7] E. R. Jones et al., J. Chem. Phys. 50 4755 (1969)
- [8] P. B. Johnson et al., J. Appl. Phys. 52 1932 (1981)
- [9] H. Bizette et al., C. R. Acad. Sc. Paris 271 B-609 (1970)