

양성자 자기회전비율 측정과 자기표준 (MEASUREMENT OF PROTON GYROMAGNETIC RATIO AND MAGNETIC FIELD STANDARDS)

한국표준과학연구원(KRISS) 전기.자기그룹 박포규* 김영균 김문석 김완섭 김규태

D.I. Medeleyev Institute for Metrology(VNIIM, Russia) V. Ya. Shifrin, V.N.Khorev

1. 서론

기본물리상수(fundamental physical constant)의 정밀측정은 기초과학으로서의 중요성 뿐만아니라 측정과학에 필수적인 표준이 시간에 무관한 기본상수 또는, 이들의 조합으로 대부분 정립되기 때문에 선진 표준연구기관에서는 지속적으로 연구하고 있다. 기본물리상수중의 하나인 차폐 양성자 자기회전비율(shielded proton gyromagnetic ratio, 이하 γ_p 로 표시)은 60년대부터 정밀측정연구를 시작하였다. γ_p 는 H₂O 시료, 온도가 25°C, 시료의 모양은 구형을 사용하여 측정한 것을 말한다. KRISS에서는 러시아의 과학자와 공동연구를 수행하여 γ_p 값을 0.18×10^6 의 불확도(uncertainty)로 측정하여 국제학회에 보고하고, 그 측정결과는 SI 저항표준으로 사용되는 von Klitzing 상수($R_k, h/e^2$)를 조정하는 CODATA에 인용되었다[1,2]. 자속밀도의 SI 유도단위는 테슬러(Tesla, T)이며, 테슬러는 3가지 방법으로 재현할 수 있지만[3], 일반적으로 γ_p 를 사용하여 자속밀도(B)는 $\omega = \gamma_p \cdot B$ 에서 핵자기 공명주파수(ω), 상수인 γ_p 의 정확한 값으로부터 실현된다.

2. 실험방법

KRISS에서 유지되고 있는 표준(길이, 시간, 전압, 전류)을 이용하여 저자장에서 γ_p 값은 ³He 및 ⁴He의 자기회전비율을 측정하는 간접적인 방법을 사용하였다. 안정되고, 균일한 자장을 발생시킨 공간에 ⁴He 와 ³He 샘플을 번갈아 삽입하여 ⁴He의 원자자기공명(Atomic Magnetic Resonance, AMR) 및 ³He의 핵자기공명(Nuclear Magnetic Resonance, NMR) 주파수를 측정하였다. 측정방법은 AMR 전류 안정화 장치를 제작하여 정밀솔레노이드에 흘려주고, 이 때 흐르는 전류를 조셉슨 및 양자홀 표준기로부터 소급 받은 전압, 저항을 이용하여 측정하였고, 자장계산 및 균일도는 비접촉 탐촉자를 사용한 솔레노이드의 피치와 반경 측정 및 5-전류 방법 등을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

γ_p 측정은 H₂O 시료를 사용하여 직접적으로 공명주파수를 측정하는 자유세차법(free precession, PTB), 유도법(induction, NIST, NPL, NIM), bridge 법(ETL)이 있으며, 그외 헬륨(⁴He, ³He)등의 시료를 사용하여 간접적(VNIIM, KRISS)으로 측정하는 방법이 있다. KRISS에서는 H₂O 시료를 사용한 유도법, bridge법 및 ⁴He를 사용한 간

접적인 방법을 동시에 시도하였다. 유도법은 측정장치의 결함, bridge 법은 감도가 민감하여 솔레노이드에 인가하는 전류의 방향에 따라 신호의 편차가 컸다. 그러나 ^4He 의 경우는 안정된 공명 신호를 장기간 얻을 수 있었으므로 이 방법을 사용하였다.

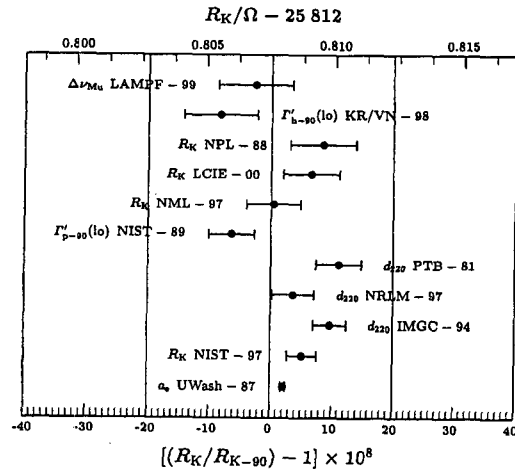


Fig. 1. von Klitzing 상수 (R_{K-90}) 재평가
(KR/VN은 KRISS/VNIIM)

4. 결론

KRISS-VNIIM 공동연구를 수행하여 $\gamma_{4\text{He}}$, $\gamma_{3\text{He}}$ 및 γ_p 값을 세계적 수준인 0.18×10^6 으로 측정하였으며, 그 결과는 CODATA 98 및 CODATA2002에서 R_k 값 등을 재조정하는데 인용되었다(Fig. 1). 이 측정기술을 바탕으로 자기표준 유지에 활용하고 있으며[4, 5], 세계 10개국이 참여한 자기분야 국제핵심측정비교에 참여하여 좋은 결과를 얻었다.

5. 참고문헌

- [1] V. Ya. Shifrin, Po Gyu Park, V. N. Khorev, Chang Ho Choi, C. S. Kim, IEEE Trans. Instrum. Meas. 47(3), 638(1998).
- [2] P. J. Mohr, B. N. Taylor, Rev. Mod. Phys. 77(1),1(2005); 72(2), 351(2000).
- [3] B. N. Taylor, P. J. Mohr, IEEE Trans. Instrum. Meas., 50(2), 563(2001).
- [4] P. G. Park, Y. G. Kim, V. Ya. Shifrin and V.N. Khorev, Rev. Sci. Instrum., 73(8), 3107(2002).
- [5] P. G. Park, Y. G. Kim, V. Ya. Shifrin, IEEE Trans. Instrum. Meas., 54(2), 734(2005).