

양성자 자기회전비율 측정에 관한 연구

한국표준연구소 김철기, 우병철*, 유권상, 박포규, 김창석

Study on the Measurement of Proton Gyromagnetic Ratio

Korea Standards Research Institute C.G. Kim+, B.C. Woo*, K.S. Ryu, P.G. Park, C.S. Kim

1. 서론

양성자 자기회전비율은 자속밀도 단위 T 의 실현·유지에 이용될 뿐만 아니라 양자전자역학(QED)에서 미세구조상수의 결정에도 기여하는 중요한 기본물리상수 중의 하나이다. 저자장(약 10mT) 하에서 이의 정밀측정에 관한 연구는 미국, 영국, 동·서독, 일본, 중국 및 소련 등에서 장기간에 걸쳐 수행하고 있으며, 미국의 표준기술원(NIST)에서 1989년에 발표한 값 $\gamma_p = 2.67\ 513\ 376 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1} \text{ T}_{\text{NBS}}^{-1}$ (불확도 0.11 ppm)이 지금까지 측정된 가장 정밀한 양성자의 자기회전비율 값이다.[1]

본 고에서는 저자장방법에 의한 양성자 자기회전비율 측정에 관하여 본 연구소에서 현재 진행중인 연구상황 및 향후 계획을 언급하고자 한다.

2. 실험 방법 개요

양성자 자기회전비율은 알고 있는 자장 B 내에서 순수한 물속에 있는 양성자의 핵자기 공명주파수 ω_p' 을 측정하므로써 $\gamma_p = \omega_p' / B$ 로 부터 구할 수 있다. 이를 위한 측정개략도를 그림 1에 표시하였다.

자장 B는 대형 정밀솔레노이드에 의해서 발생되는데, 자장의 값은 솔레노이드의 dimension을 정밀측정하여 계산한 코일상수와 흐르는 전류에 의하여 구하게 된다. 솔레노이드와 외부의 자성체 사이의 상호작용을 줄이기 위하여 솔레노이드는 목조로된 비자성 실험실에 안치된다. 한편 외부자장변화를 상쇄시켜 솔레노이드에서 발생한 자장이 외부자장의 영향을 받지 않게 해야한다. 한편, 양성자의 핵자기공명 주파수는 비교적 감도가 좋은 bridge방법을 이용하여 코일의 인덕턴스에 따른 신호를 관측하여 측정한다.

3. 실험현황

양성자의 자기회전비율을 측정하기 위한 비자성실험실을 본연구소 내에 신축하기 위하여 도로 및 외부 건물로부터 약 120m 떨어져 자장기울기가 $\pm 1 \text{ nT/m}$, 변화가 $\pm 60 \text{ nT/day}$ 곳을 선택하여 신축중에 있다. 외부자장을 상쇄하여 zero-field 공간을 얻기 위하여 코일상수가 각각 같은 대형($\phi 2\text{m}$) 및 소형($\phi 1\text{m}$)의 3축 헬름홀츠코일을 그림 2와 같이 제작하였으며, 외부자장의 시간에 따라 변하지 않는 성분과 변화하는 성분을 분리하여 상쇄하도록 두 개의 별도의 권선이 감겨져 있다. 시간에 따라 변하지 않는 성분은 정전류를 공급하여 상쇄시키며, 시간에 따라 변하는 성분은 fluxgate magnetometer 및 feedback amp. 에 의하여 자동으로 상쇄되게 하였다. 자장생성용 솔레노이드를 제작하기 위하여 quartz 보빈($\phi 200 \times 1300\text{mm}$)을 구입하여 pitch 및 반경의 오차를 각각 $\pm 3\mu\text{m}$ 및 $\pm 5\mu\text{m}$ 의 정밀도로 가공중에 있다. 보다 균일한 자장공간을 얻기 위하여 3개의 전류원을 이용하여 솔레노이드에 흐르는 전류분포를 달리하는 3-current 방법에 관한 최적조건을 구하였다. Single 및 three-current 를 사용할 경우 솔레노이드의 중앙에서 자장분포를 구한 결과, three-current 를 사용하므로써 single-current 보다 약 10 배 정도의 같은 균일도를 지닌 자장공간을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 한편, 솔레노이드의 dimension 측정시스템의 개략도를 그림 3에 표시하였다. 중앙의 3개의 코일 및 바깥 부분의 2개의 코일은 각각 pitch 및 반경변화를 측정하는 것으로, 측정하고자하는 솔레노이드의 코일에 교류전류를 흘리면 피측정코일의 위치 및 그 반경변화에 따라서 pitch 및 반경측정용 코일에 유기되는 기전력이 가장 민감하게 변하도록

구성되어 있다. 반경 150mm 의 솔레노이드를 제작하여 200 Hz의 교류전류를 피측정코일에 흘리고 예비 실험을 수행한 결과 비접촉 probe 의 감도는 pitch 및 반경측정시 각각 100 nV/ μm 및 250 nV/ μm 였다. 한편, 양성자의 핵자기공명 주파수를 측정하기 위하여 측정주파수 52 kHz에서 quality factor 약 50인 2 개의 코일을 제작하고, RF 코일에 순수한 물이 담긴 반경이 약 1.5 cm인 quartz 구를 넣고 시스템을 구성하였으며, 측정주파수에서 bridge 양단에 1 V의 고주파전압을 가할 경우 출력단은 1 μV 이하로 nulling이 가능하였다. 일반실험실 조건하에서 양성자의 공명주파수에 필요한 최적의 조건을 찾기 위한 연구를 계속 수행중에 있다.

4. 결 론

현재 까지 연구한 결과를 토대로, 외부자장의 영향을 없애기 위한 zero-field 공간형성, 균일하고 정확한 자장을 얻기 위한 정밀솔레노이드 제작 및 dimension 측정, 그리고 공명주파수 측정기술 등을 보완하여 비자성 실험실 내에서 계속 수행하므로써 약 1 ppm 정도의 불확도로 γ_p 을 측정할 수 있으리라 기대된다.

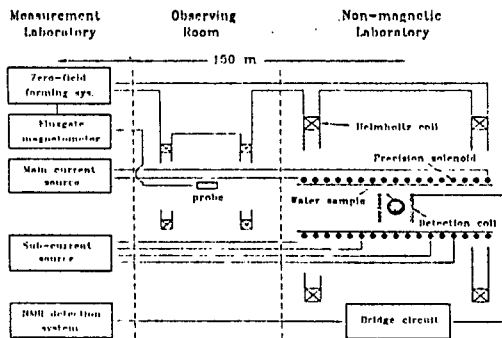


Fig.1. Schematic diagram for the ω_p' measurement system.

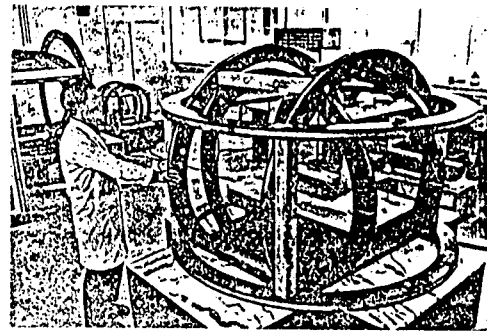


Fig.2. Large 3-axis Helmholtz coil for earth field compensation.

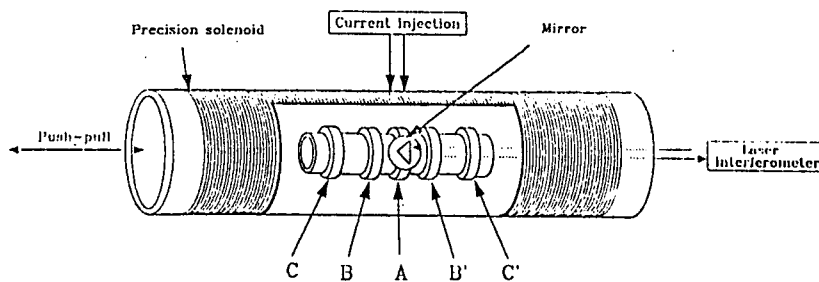


Fig.3. Schematic diagram for the dimensional measurement system.

참고문헌

- [1] C.S., Kim, et. al., KSRI-89-14-1R(1989)