

## C<sub>60</sub>의 고속회전과 방사선차폐현상에 대한 연구

리수정, 배성길

위대한 수령 김일성동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《원자력을 생산에 받아들이기 위한 연구사업을 전망성있게 진행하며 방사성동위원소와 방사선을 공업과 농촌경리를 비롯한 여러 부문들에 널리 적용하여야 할것입니다.》

(《김일성전집》 제27권 391페이지)

C<sub>60</sub>은 인공적으로 제조된 탄소나노분자로서 각이한 성질과 기능을 가지며 그 응용분야가 넓은것으로 하여 많은 주의가 돌려지고있다. 실험적 및 이론적연구로부터 C<sub>60</sub>은 고체와 액체, 기체속에서 매우 빠른 속도로 회전하고있다는것이 밝혀졌다.[1]

우리는 C<sub>60</sub>의 회전주파수에 대한 측정과 고속회전의 결과로 실현되는 방사선차폐현상에 대하여 연구하였다.

### 1. C<sub>60</sub>의 회전주파수측정

C<sup>13</sup> 핵자기공명장치로 C<sub>60</sub>의 고속회전주파수를 처음으로 측정하였으나 이 방법은 원가가 많이 들고 진공상태에서만 가능하므로 여러가지 조건에서 각이한 속도로 발현되는 C<sub>60</sub>의 기능응용을 위한 측정실험에는 적합치 않다. 이로부터 여러가지 조건에서도 쉽게 측정할수 있는 새로운 방법들이 제기[2-4]되였다.

우리는 LiNbO<sub>3</sub>과 같은 압전결정을 리용하여 결정표면에서 전자기파를 발생시키고 C<sub>60</sub>에서의 흡수를 측정하여 공진회전주파수를 결정하였는데 그 측정원리는 그림과 같다.

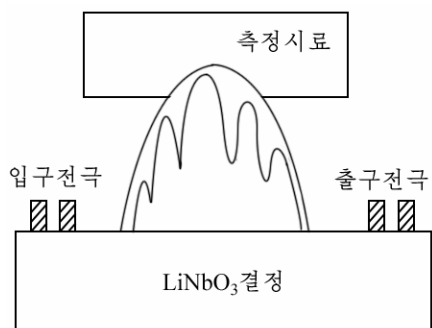


그림. 공진회전주파수의 측정원리

두께가 0.5mm이고 크기가 10mm×30mm인 LiNbO<sub>3</sub> 압전결정의 입구전극에 임펄스너비가 800ns인 전자기파를 주면 그것은 결정표면을 통해 전달되며 출구전극에서 수감된다. 이때 결정표면과 평행으로 놓인 시료에서 전자기파의 흡수가 진행되면 출력되는 파의 감쇠가 있게 되며 입력과 출력의 비에 의해 흡수정도가 평가된다.

실험에서는 온도 240K근방에서 최대감쇠가 관측되었으며 그에 해당하는 공진회전주파수는 C<sub>60</sub>에서는 50MHz, C<sub>70</sub>에서는 200MHz였다. 또한 주위매질의 영향을 크게 받는데 고체매질에서는 300MHz, 톨루올용액속에서는 180MHz로 관측되였다. C<sub>60</sub>의 이러한 고속회전의 원인은 그것을 형성하고있는 12개의 원자 5각형과 20개의 원자 6각형의 고리전류에 의한것으로 보고있다.[1]

론론리론에 의하면 특히 5각형내부에서는  $\pi$  전자에 의한 닫힌전류가 현저한 크기로 존재하며 STM에 의하여 측정한 결과 5각형내부에 높은 준위의 표면에너지가 집중되어있는 C<sub>60</sub>의 닫힌외각전자구조가 확증되였다.

## 2. C<sub>60</sub>에서의 방사선차폐현상

닫긴전자각구조를 가진 직경이 0.74mm인 C<sub>60</sub> 분자는 그 내부에 최소한 2개이상의 원자들을 가둘수 있는 영역을 가지고있으며 그속에 여러가지 방법으로 각이한 원자들을 삽입할수 있다. 또한 진공이나 기체, 액체, 고체매질에서 10<sup>3</sup>~10<sup>10</sup>r/s의 속도로 모든 방향으로 고속회전을 하는 성질을 가지고있다.

C<sub>60</sub> 분자의 이와 같은 성질은 그 내부에 있는 핵들에서 방출된 방사선립자들을 흡수 또는 차폐할수 있게 한다.

우리는 C<sub>60</sub> 내부에 우라늄이나 플루토늄과 같은 방사성핵들이 삽입된 경우 그 핵에서 나오는 방사선의 차폐효과를 실험적으로 입증하였다.

$\alpha$  립자의 차폐 바른5각형이나 바른6각형으로 된 정점이 60개인 C<sub>60</sub>의 내부에는 우라늄과 같은 원자들이 삽입될수 있다.

C<sub>60</sub>에서 탄소원자사이  $\sigma$  결합은 탄소원자의 SP<sup>2</sup>에 가까운 혼성궤도결합이며 매 탄소에서 하나씩 남아있는  $p\pi$  전자(총 60개)들은 공액결합을 이루고있다. 또한 궤도대칭성을 가지는 5중으로 축증된 HOMO와 3중축증된 LUMO가 있으며 HOMO는 10개의 전자가 채워진 닫긴 전자각구조를 이루고있다.

따라서 C<sub>60</sub>의 LUMO는 부의 에너지를 가지며 C<sub>60</sub><sup>-</sup>를 쉽게 이룬다.

C<sub>60</sub>M<sub>x</sub>형화합물에서 알카리금속 M은 양이온형식으로 그리고 C<sub>60</sub>은 음이온형식으로 존재한다. 그러므로 우라늄에서 방출된  $\alpha$  립자는 C<sub>60</sub>의  $p\pi$  전자와 결합하며 그 에너지는 분극에너지로 넘어가면서 외부로 방출되지 않는다.

$\beta$  립자의 차폐 C<sub>60</sub>은 약하게 결합된 비국재화된  $p\pi$  전자에 의하여 C<sub>60</sub><sup>+</sup>로 전환될수 있는 가능성이 크다.  $e + C_{60}^+$ 의 충돌에 의하여  $\beta$  립자는 고전적흡수와 상대성흡수형태로 에너지를 잃는다.

고전적흡수에서는  $\beta$  립자의 에너지일부가 흡수되어 5각형과 6각형의 고리전류를 증가(이때 체적도 약간 늘어난다.)시키며 비국재화된 전자각에 에너지가 재분포되면서 C<sub>60</sub>의 회전주파수를 증가시킨다. 그러나 이러한 흡수과정에 지출되는 에너지량은 극히 적으며 따라서 기본은 상대론적공명흡수가 기본으로 된다.

C<sub>60</sub>의 흡수에너지를  $E_a$ , C<sub>60</sub>의 비국재화된 전자구름의 에너지를  $E_h$ 라고 할 때 ( $E_h$ 는 매우 작으므로)  $\beta$  립자에너지  $E_r$ 는 다음과 같다.

$$E_r = E_a + kE_h \cong E_a, \quad k = \sqrt{1 - [V/(\omega r)]^2} \quad (1)$$

여기서  $V$ 는  $\beta$  립자의 속도,  $\omega$ 는 C<sub>60</sub>의 회전주파수,  $k$ 는 공간의 상대비유전률로서 거의 1과 같다. 따라서 회전하는 C<sub>60</sub>과 정지된 두 계에서 측정되는 주파수들사이의 상대론적관계식은 도플러효과에 의하여

$$f_h = f_r \cdot \frac{\sqrt{1 - (V/c)^2}}{1 - (V/c)^2 \cdot \cos \alpha} \quad (2)$$

와 같다.

서로 수직으로 운동하는 계에서는  $\alpha = \pi/2$  이므로 윗식은

$$f_h = f_r \cdot \sqrt{1 - (V/c)^2} \quad (3)$$

이다.  $C_{60}$ 의 회전주파수가  $3 \times 10^{10}/s$ 이고  $\beta$  입자는  $3 \times 10^{10} cm/s$  속도로 운동한다고 하자. 원천으로부터 약 1cm 거리에서  $\beta$  입자의 주파수가 약  $10^{20}/s$ 일 때  $f_h = 1.4 \cdot 10^{10}/s$ 이다. 결국 상대론적공명흡수는  $C_{60}$ 의 회전과 복합분자  $U \cdot C_{60}$ 의 약 1cm 반경의 아주 큰 비국재화된 전자구름에 의하여 일어나는데 그로 하여 방사선차폐 효과가 나타나게 된다.

$\gamma$ 선의 차폐  $C_{60}$ 의 이온화포텐셜은  $(7.61 \pm 0.020)eV$ , 전자친화력은  $(2.65 \pm 0.02)eV$ 이다.

따라서  $C_{60}$ 은 전형적인 전자제공 및 전자접수체와 같다.

공형태의  $C_{60}$ 과  $\gamma$ 선이 호상작용할 때  $\gamma$ 선은 궤도전자에 의하여 에너지를 잃게 된다. 이때 러기된 전자가 다시 본래의 기저상태로 내려가면서 본래의  $\gamma$ 선보다 파장이 긴 X선을 내보낸다. 이 X선은 닫긴 전자각에 대한 투과능이 매우 작으며  $C_{60}$ 분자의 회전주파수를 증가시킨다. 그러나 이 회전주파수 역시 상대론적결과와 그 주위매질(고체 또는 액체)의 영향으로 감소되며 결국  $\gamma$ 선의 차폐효과가 나타나게 된다.

## 맺 는 말

$C_{60}$ 의 공진회전주파수는 50MHz이고 고체매질에서는 300MHz, 톨루올용액속에서는 180MHz이며  $C_{60}$ 내부에 우라늄이나 플루토늄과 같은 방사성핵들이 삽입된 경우 그 핵에서 나오는 방사선의 차폐효과를 실험적으로 확증하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] L. Dai; Carbon NanoTechnology, Springer, 95~102, 2006.
- [2] N. Robinson et al.; Computer Physics Communication, 185, 2519, 2014.
- [3] R. D. Johnson et al.; Science, 255, 6, 1235, 1992.
- [4] R. Tyoko et al.; J. Chem. Phys., 99, 19, 7554, 1993.

주체106(2017)년 3월 5일 원고접수

## Study of High Speed Rotation and Radiation Shielding of $C_{60}$

Ri Su Jong, Pae Song Gil

The rotational frequency of  $C_{60}$  by using piezoid  $LiNbO_3$  and the radiation shielding effect of  $C_{60}$  against inserted nucleus were studied.

It can be seen that the rotational frequency of  $C_{60}$  were 50, 300 and 180MHz for the air, solid media and the toluene liquid on resonance, respectively. And the radiation shielding effect of  $C_{60}$  against radioactive nuclides such as uranium and plutonium were measured experimentally.

Key words:  $C_{60}$ , nanomaterial, radiation shielding