

## 합동시 $\gamma$ 스펙트르의 비대칭특성에 대한 연구

김지영, 안정도

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《현시대는 과학과 기술의 시대이며 과학과 기술이 류레없이 빠른 속도로 발전하는것은 현대과학기술발전의 중요한 특징입니다.》(《김정일선집》 증보판 제15권 485페이지)

합동시  $\gamma$  스펙트르의 중요한 특징은 완전흡수봉우리들의 넓이가 꼭같고 모양이 대칭인 것이다. 그러나 몇가지 경우에 이러한 대칭성이 파괴되는데 이러한 비대칭특성은 합동시  $\gamma$  스펙트르측정체계의 특성을 밝히는데서 중요한 의의를 가진다.[2, 3]

론문에서는 표준방사성원천인  $^{60}\text{Co}$ 의 합동시  $\gamma$  스펙트르의 비대칭특성을 고찰하였다.

### 1. $^{60}\text{Co}$ 핵의 합동시 $\gamma$ 스펙트르

합동시  $\gamma$  스펙트르측정체계는 검출체계와 분석통로 및 조종통로로 되어있다.[1] 검출체계는 방사성원천과 2개의 검출기, 고압전원으로, 분석통로는 선형임펄스증폭기, 지연회로, 선형분회로, 다통로진폭분석기로, 조종통로는 선형합회로, 선형임펄스증폭기, 미분진폭선별기, 규격화회로들로 구성되어있다.

$^{60}\text{Co}$ 원천은  $\beta^-$  붕괴한 다음 계단  $\gamma$  이행하는 대표적인 방사성핵이다.

합동시  $\gamma$  스펙트르측정체계에서 기록효율을 최대로 높이기 위하여 두 섬광체를  $180^\circ$  되게 밀착시켜놓았다. 또한 두 검출기에서 나오는 신호는 고압전원전압을 세밀하게 조절하여 같은 진폭으로 합회로에 입력하였으며 조종통로와 분석통로의 선형임펄스증폭기들의 증폭결수는 같게 설정하였다.

한결정  $\gamma$  스펙트르메터로 측정한  $^{60}\text{Co}$ 의  $\gamma$  스펙트르와 미분진폭선별기의 선별턱과 창문너비가 3.05, 0.2V인 경우에 얻은  $^{60}\text{Co}$ 의 합동시  $\gamma$  스펙트르는 각각 그림 1, 2와 같다.

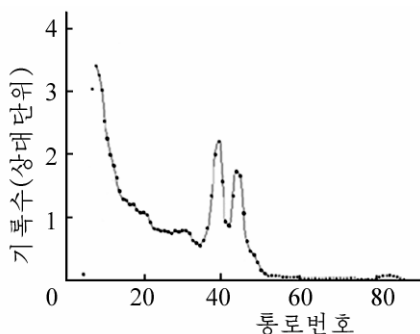


그림 1.  $^{60}\text{Co}$ 의 한결정스펙트르[1]

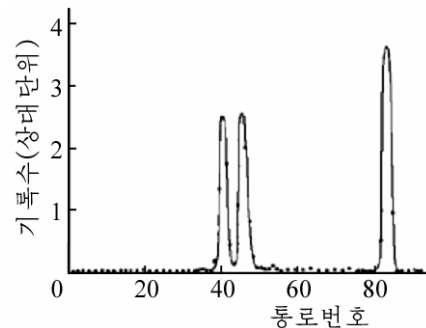


그림 2. 정확한 합동시상태에서 얻은  $^{60}\text{Co}$ 의 합동시  $\gamma$  스펙트르

그림 2에서 보는바와 같이  $^{60}\text{Co}$ 의 합동시  $\gamma$  스펙트르에서 1.17MeV와 1.33MeV의 완전

흡수봉우리들은 넓이와 높이가 서로 같으며 2.5MeV에 해당하는 합봉우리가 매우 크게 나타난다. 즉 합동시  $\gamma$  스펙트럼에서는 대칭성이 뚜렷이 나타난다.

## 2. 선별력결과와 합동시 $\gamma$ 스펙트럼의 비대칭성

합동시상태를 정확히 설정하지 못하면 즉 미분진폭선별기의 선별력을 계단의 전에너지에 약간 어긋나게 설정하면 이것은 합동시  $\gamma$  스펙트럼측정체계의 에너지분해능과 기록효율에 영향을 준다. 이때 합동시  $\gamma$  스펙트럼의 모양은 그림 2와 거의 비슷하다. 그러나 선별력을 합봉우리의 위치와 완전히 어긋나게 설정할 때 합동시  $\gamma$  스펙트럼은 완전히 다른 모양을 나타낸다. 이 경우의 합동시  $\gamma$  스펙트럼에는  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  및  $\gamma_1 + \gamma_2$ 에 해당하는 완전흡수봉우리들 외에 거짓봉우리들이 나타난다. 선별력을 2.0MeV와 2.2MeV에 맞추었을 때 측정한  $^{60}\text{Co}$ 의 합동시  $\gamma$  스펙트럼은 그림 3과 같다.

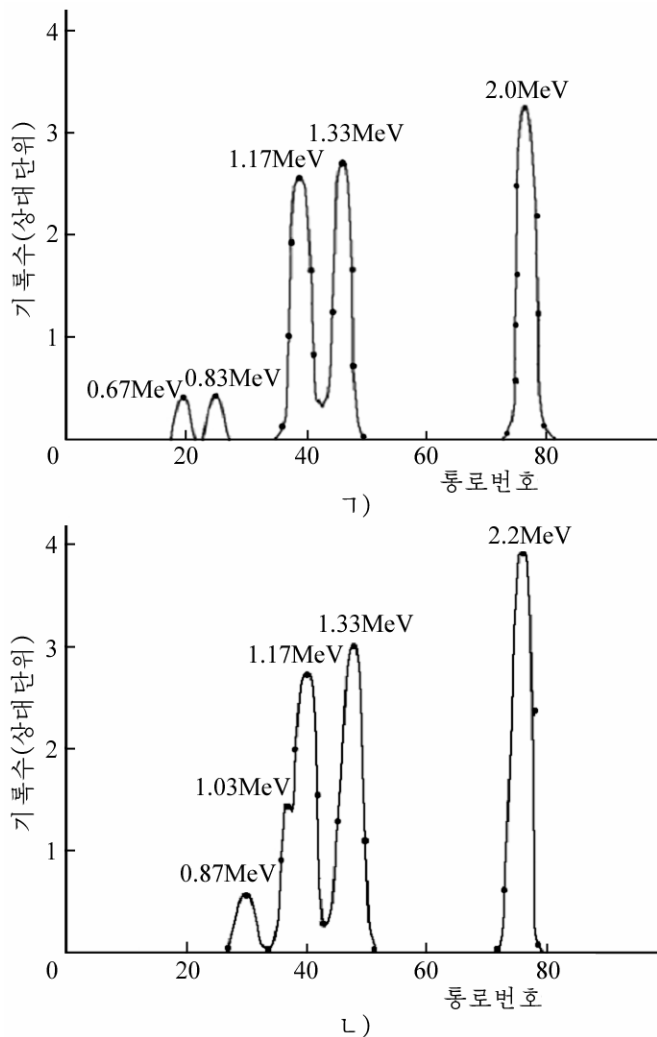


그림 3. 선별력을 2.0MeV와 2.2MeV에 맞추었을 때  $^{60}\text{Co}$ 의 합동시  $\gamma$  스펙트럼

ㄱ) 선별력을 2MeV에 맞추었을 때, ㄴ) 선별력을 2.2MeV에 맞추었을 때

그림 3의 ㄱ)에서는 에너기가 670 및 830keV에 해당하는 2개의 봉우리가 보충적으로 더 나타났으며 ㄴ)에서는 870keV에 해당하는 1개의 봉우리가 더 나타났고 1 170keV의 기본봉우리가 이지러졌다. ㄱ)에서 670 및 830keV봉우리들은 각각 1 330keV인  $\gamma$  량자의 완전흡수 임펄스가 1 170keV인  $\gamma$  량자의 콤프톤산란에 해당하는 임펄스와 더해진 결과에, 1 330keV인  $\gamma$  량자의 콤프톤산란에 의한 임펄스가 1 170keV인  $\gamma$  량자의 빛전기흡수에 의한 임펄스와 더해진 결과에 생긴것으로 설명된다. ㄴ)에서 870keV봉우리는 1 330keV인  $\gamma$  량자의 완전흡수임펄스가 1 170keV선의 콤프톤산란임펄스와 더해진 결과에 생긴것이며 그와 반대 과정에 의하여 생긴 1 130keV의 봉우리가 1 170keV의 봉우리와 겹치면서 그것을 이지러지게 하는것으로 설명된다.

에너지척도는 눈금새김곡선으로부터 환산하였다. 원천  $^{137}\text{Cs}$ 과  $^{60}\text{Co}$ 을 리용하여 얻은 스펙트르메터의 눈금새김곡선은  $E = 27.49N + 34.15(\text{keV})$ 였다.

합동시  $\gamma$  스펙트르에서 거짓봉우리들은 스펙트르메터의 기구적인 효과에 의하여 생기는것으로서 스펙트르의 분석을 어렵게 하지만 그것을 판별하는 과정은 계단  $\gamma$  이행하는 방사성핵의 붕괴도를 확인하는 한가지 방법으로 될수 있다.

이러한 효과는 1개의 결정체를 리용한 검출블록으로 진행한 결과를 보충하는 매우 가치있는 통보를 줄수 있다.

### 3. 섬광체크기의 차이와 합동시 $\gamma$ 스펙트르의 비대칭성

측정체계의 분석용섬광체와 조종용섬광체가 특성이 똑같이 대칭이라고 하면 정확한 동작상태에서 계단을 이루는 개별적인  $\gamma$  선들의 완전흡수봉우리넓이는 똑같다.

두 결정체가 비대칭이면 사정이 달라진다.

분석용섬광체와 조종용섬광체를 각각 A와 B로 나타내고 합동시상태에서 합통로를 에너지  $E_1 + E_2$ 에 맞출 때 에너지  $E_1$ 과  $E_2$ 가 흡수된다고 하자.

에너지  $E_1$ 과  $E_2$ 는 결정체에서 두 계단  $\gamma$  량자들의 완전흡수에 대응할수 있거나 혹은 그것들가운데 하나는 섬광체들의 임의의 어느 하나에서 콤프톤산란을 당하는 높은 에너지  $\gamma$  량자의 불완전흡수에 대응할수도 있다. 만일 섬광체 A에서 에너지가  $E_1$ 인 완전흡수봉우리에 떨어지는 임펄스개수는

$$N_{1A} = N_0 \varepsilon_{1A} \varepsilon_{2B} \quad (1)$$

이며 에너지가  $E_2$ 인 완전흡수봉우리에 떨어지는 임펄스개수는

$$N_{2A} = N_0 \varepsilon_{2A} \varepsilon_{1B} \quad (2)$$

이다. 여기서  $\varepsilon_{1A}$ ,  $\varepsilon_{1B}$ 는 각각 섬광체 A와 B에서 에너지가  $E_1$ 인  $\gamma$  선에 대한 흡수효율,  $\varepsilon_{2A}$ ,  $\varepsilon_{2B}$ 는 각각 섬광체 A와 B에서 에너지가  $E_2$ 인  $\gamma$  선에 대한 흡수효율이다.

임펄스개수의 비

$$n = \frac{N_{1A}}{N_{2A}} = \frac{\varepsilon_{1A} \varepsilon_{2B}}{\varepsilon_{2A} \varepsilon_{1B}} \quad (3)$$

는 섬광체 A와 B의 크기와 포장재료가 같다면 1이고 합동시  $\gamma$  스펙트르는 대칭으로 된다.

만일 A가 B보다 크다면  $n \neq 1$ 이다. 그것은  $E_{1A} \neq E_{1B}$ ,  $E_{2A} \neq E_{2B}$ 이기때문이다. 즉 합동시  $\gamma$  스펙트르에서 완전흡수봉우리넓이는 비대칭으로 된다.

우리는 분석용섬광체 A로 크기가  $\Phi 150 \times 100\text{mm}$ 인 결정을, 조종용섬광체 B로 크기가  $\Phi 63 \times 63\text{mm}$ 인 결정을 리용하였을 때의 합동시  $\gamma$  스펙트르에서 완전흡수봉우리들의 비대칭성을 고찰하였다.(그림 4)

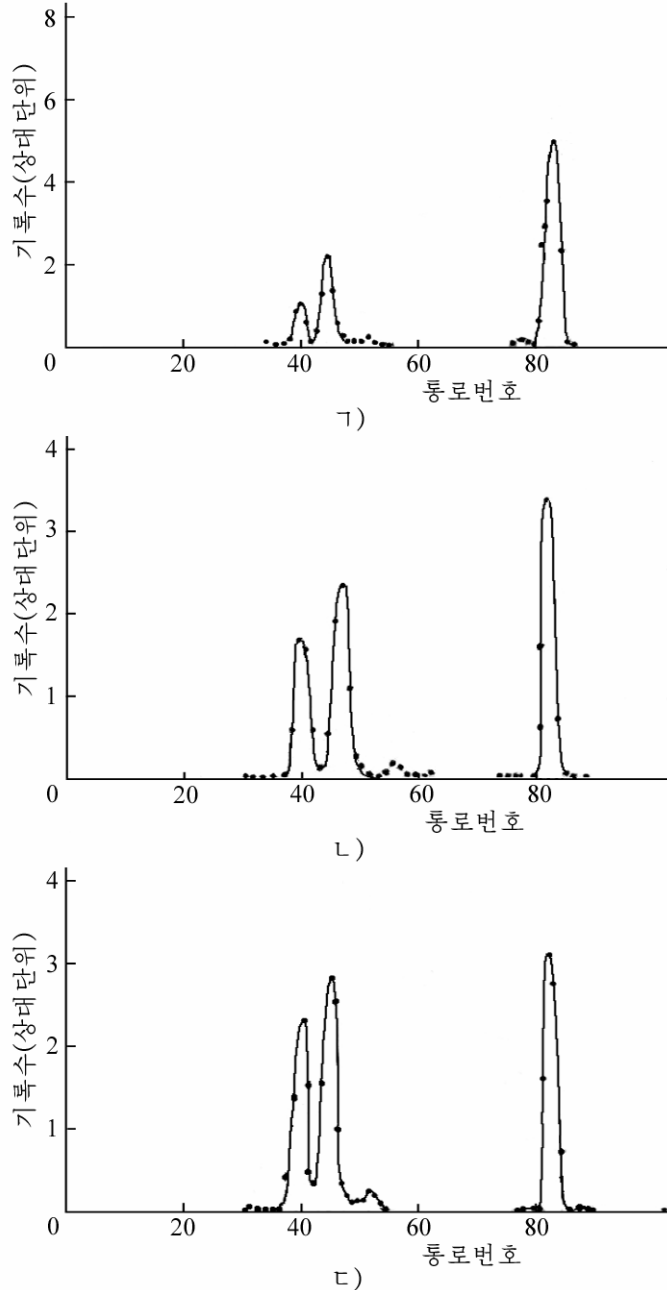


그림 4. 두 섬광체의 크기가 다른 경우  $^{60}\text{Co}$ 의 합동시  $\gamma$  스펙트르  
 a) - c)는  $\Delta V$ 가 각각 0.5, 0.2, 0.1V인 경우

그림 4에서 보는바와 같이 합동시  $\gamma$  스펙트르에서 완전흡수봉우리들의 넓이가 서로 다르며 그 정도는 미분진폭선별기의 창문너비가 커짐에 따라 심하게 나타난다. 그것은 섬광체의 빛전기효율이 크게 차이나는것과 관련된다.

선별기의 창문너비에 따르는 완전흡수봉우리들의 비대칭정도를 정량적으로 고찰하기 위하여 식 (3)의  $n$ 값을 평가하였다.(표)

표. 창문너비에 따르는 $n$ 의 값			
창문너비/V	0.5	0.2	0.1
$N$	0.45	0.58	0.72

표에서 보는것처럼 완전흡수봉우리들의 비대칭정도를 나타내는 양인  $n$ 은 미분진폭선별기의 창문너비가 좁아짐에 따라 1에 가까워진다. 이것은 완전흡수봉우리들의 비대칭정도가 창문너비가 좁아짐에 따라 작아진다는것을 의미한다. 그 이유는 창

문너비를 좁힐수록 완전흡수봉우리에 떨어지는 임펄스뭉이 작아지며 따라서 비대칭의 확률도 작아지는것으로 설명할수 있다.

## 맺 는 말

론문에서는 표준방사성원천인  $^{60}\text{Co}$ 의 합동시  $\gamma$  스펙트르의 비대칭특성을 고찰하였다. 합동시  $\gamma$  스펙트르의 비대칭특성은 미분진폭선별기의 선별력을 정확히 설정하지 못한 경우와 섬광체의 크기가 서로 다른 경우에 나타나게 된다.

미분진폭선별기의 선별력을 정확히 설정하지 못한 경우 선별력설정오차에 따르는 거짓봉우리들이 나타나며 섬광체의 크기가 서로 다른 경우 빛전자봉우리들의 모양이 비대칭적으로 나타나는것으로 특징지어진다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 59, 4, 77, 주체102(2013).
- [2] Н. А. Варганов и др.; Прикладная Сцинтилляционная Гамма-Спектроскопия, 37~78, 1975.
- [3] V. A. Bondarenko et al.; XIII International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei, E3-2005-48, Dubna, 17, 2005.

주체107(2018)년 3월 5일 원고접수

## Asymmetry of Sum-Coincidence Gamma-Ray Spectrometer

Kim Ji Yong, An Jong Do

In this paper, asymmetry of the sum-coincidence gamma-ray spectrum of  $^{60}\text{Co}$  is shown. It comes from the incorrect set up of threshold in the differential discriminator and different size of two scintillators: the former shows additional pseudo-peaks due to set up error of threshold, the latter shows asymmetric shaped photoelectric peaks.

Key words: gamma-ray, sum-coincidence spectrum, asymmetry