

핵감마공명분석기에 의한 γ 선에너지스펙트르측정

로춘환, 김진국

위대한 수령 김일성동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 원자력기술을 개발하고 원자력발전소를 건설하기 위한 문제를 자체의 기술, 자체의 힘으로 자력갱생하여 완성하여야 합니다.》(《김일성전집》 제62권 459페이지)

뫼스바우에르효과측정용스펙트르분석기에 대하여서는 이미 고찰되었으나 핵스펙트르 자료는 밝히지 않고 한통로미분선별기에 기초한 뫼스바우에르분석기의 과부하특성에 대하여만 밝혔다.[1]

우리는 8통로미분선별기에 기초한 핵감마공명분석기를 리용하여 표준 γ 선원천과 저에너지 γ 선원천의 핵스펙트르측정실험을 진행하고 이 분석기를 핵스펙트르측정과 뫼스바우에르효과측정에 리용할수 있다는것을 확정하였다.

1. 표준 γ 방사성원천의 γ 선에너지스펙트르측정

먼저 연구제작한 핵감마공명분석기에 의한 에너지스펙트르분석특성을 평가하기 위하여 표준원천인 ^{137}Cs 과 ^{60}Co 의 에너지스펙트르를 측정하였다. 검출기로서는 NaI섬광체와 빛전자증배관 《ФЭУ93》을 결합한 섬광검출기를 리용하고 여기에 핵스펙트르측정용고압 안정전원 《NB-850/K》로 ФЭУ93의 음극에 $-1\,300\text{V}$ 의 고압을 걸어주었다.

선형증폭기의 증폭결수를 3배로 하여 256통로구간에서 5min동안 측정한 결과 얻어진 ^{137}Cs 과 ^{60}Co 의 γ 선에너지스펙트르는 그림 1, 2와 같다.

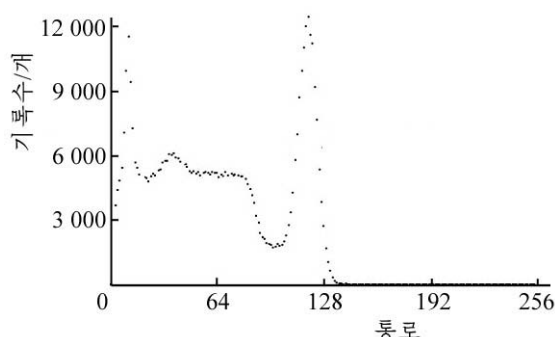


그림 1. ^{137}Cs 의 γ 선에너지스펙트르

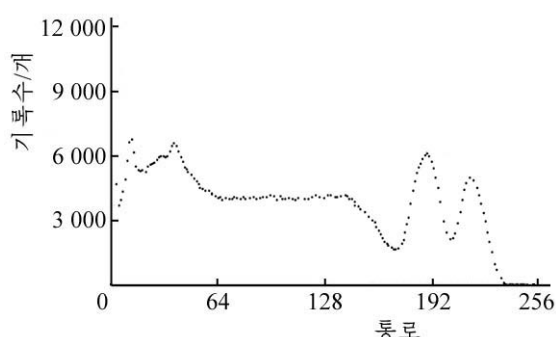


그림 2. ^{60}Co 의 γ 선에너지스펙트르

그림 1, 2에서 보는바와 같이 얻어진 스펙트르는 표준스펙트르와 잘 일치한다는것을 알수 있다. 스펙트르에서 완전흡수봉우리의 위치와 그것에 해당하는 γ 선의 에너지 및 통로-에너지변환결수값은 표 1과 같다.

표 1. 완전흡수붕우리위치와 γ 선에너르기 및 변환결수

원천	에너지/keV	통로	변환결수	기록수/개
^{137}Cs	662	107	6.186	14 405
^{60}Co	1 170	189	6.190	6 147
	1 330	213	6.244	5 568

표 1로부터 평균변환결수를 계산하면 다음과 같다.

$$\bar{k} = \frac{\sum_{i=1}^3 k_i}{3} = 6.206$$

이때 적분비선형성(%)은 다음과 같다.

$$\eta_{\text{적}}(\%) = \left(1 - \frac{k}{\bar{k}}\right)_{\text{최}} \cdot 100 \approx 0.6$$

다음으로 분해능을 결정하기 위하여 ^{137}Cs 의 완전흡수붕우리를 정규분포함수로 분리하였다. 붕우리의 뒤면이 콤프톤산란꼬리와 겹치지 않았으므로 이 부분의 5개 측정값을 취하여 $n - \ln Q(n)$ 곡선을 그리고 이 곡선이 통로축과 사귀는 점을 붕우리위치(n_0)로 결정하면 $n_0 = 107.20$ 통로이며 이때 반폭은 다음과 같다.

$$\Delta n_{1/2} = 2\sigma\sqrt{\ln 2} \approx 9.86$$

이로부터 분해능(%)을 결정하면 다음과 같다.

$$\eta = \frac{9.86}{107.2} \cdot 100 \approx 9.19$$

2. 저에너르기 γ 선에너르기스펙트르측정

뫼스바우에르공명에너지는 대체로 150keV이하의 대역에 놓인다. 그러므로 뫼스바우에르스펙트르를 측정하자면 이 저에너지대역의 γ 선을 정확히 측정할수 있어야 한다.

실험에서는 저에너지 γ 선원천인 ^{241}Am (17.8, 26.3, 59.5keV)와 ^{239}Pu (53keV), ^{57}Co (14.4, 122, 136keV)의 에너지스펙트르를 측정하고 분석하였다. 저에너지 γ 선검출기로서 두께가 1.0mm인 NaI(Tl)섬광체와 빛전자증배관 《ФЭУ93》을 결합한 섬광검출기를 리용하였다. 검출기창문에서 γ 선의 약화를 줄이기 위해 두께가 0.1mm인 Be창을 검출기창문으로 리용하였으며 원천자체내에서 저에너지 γ 선의 흡수를 줄이기 위해 ^{239}Pu 와 ^{241}Am 원천으로는 두께가 각각 1.5, 2.0mm인 원판형원천을, ^{57}Co 원천으로는 CoCl_2 (^{57}Co 17.3%)용액을 러지우에 흡착시켜 만든 질량두께가 20mg/cm²인 얇은 원천을 리용하였다. 리용된 ^{241}Am , ^{239}Pu , ^{57}Co 원천들의 방사능은 각각 $3.8 \cdot 10^9$, $5 \cdot 10^6$, $6 \cdot 10^7$ Bq이다.

측정시간이 5min인 경우 얻어진 ^{241}Am 의 γ 선에너지스펙트르는 그림 3과 같다.

같은 측정조건에서 20min동안 측정한 결과 얻어진 ^{239}Pu 의 γ 선에너지스펙트르는 그림 4와 같다.

같은 측정조건에서 2min동안 측정한 결과 얻어진 ^{57}Co 의 γ 선에너지스펙트르는 그림 5와 같다.

그림 3-5에서 보는바와 같이 ^{241}Am 의 에너지스펙트르는 17.8, 26.3, 59.5keV의 3개의 봉우리가 선명하게 갈라졌으며 ^{239}Pu 의 γ 선에너지스펙트르에서는 53keV에 해당되는 하나의 봉우리가 관측되었다. 한편 ^{57}Co 의 에너지스펙트르에서는 14.4keV와 122keV의 봉우리는 갈라졌으나 122keV와 136keV의 봉우리는 갈라지지 않았다. 이것은 검출기의 분해능이 높지 못한것과 122keV와 136keV의 에너지차가 매우 작고 122keV선의 상대세기(91%)가 136keV선의 상대세기(9%)보다 훨씬 크기 때문이다.

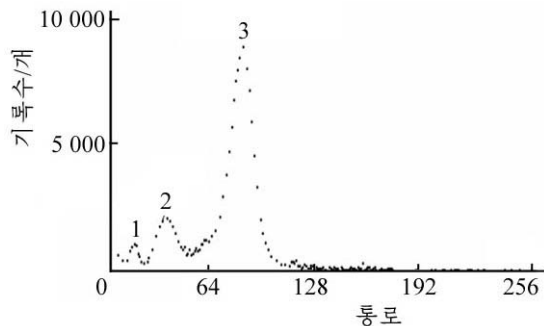


그림 3. ^{241}Am 의 γ 선에너지스펙트르
1-3은 $E_\gamma = 17.8, 26.3, 59.5\text{keV}$ 인 경우

얻어진 완전흡수봉우리위치와 γ 선에너지사이관계는 표 2와 같다.

측정값에 기초하여 최소두제곱법을 리용

하여 에너지눈금새김을 하면 다음과 같다.

$$E_i = a \cdot n_i + b$$

$$a = \frac{n \sum n_i \cdot E_i - \sum n_i \sum E_i}{n \sum n_i^2 - (\sum n_i)^2} \approx 0.685$$

$$b = \frac{\sum n_i^2 \cdot \sum E_i - \sum n_i \sum n_i E_i}{n \sum n_i^2 - (\sum n_i)^2} \approx -0.367$$

즉

$$E_i = 0.685n_i - 0.367$$

표 2. 완전흡수봉우리위치와 γ 선에너지

에너지/keV	통로
14.4	21
17.8	26
26.3	38
53.0	77
59.5	87
122.0	178

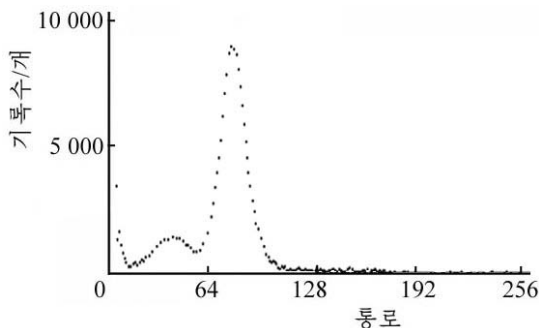


그림 4. ^{239}Pu 의 γ 선에너지스펙트르

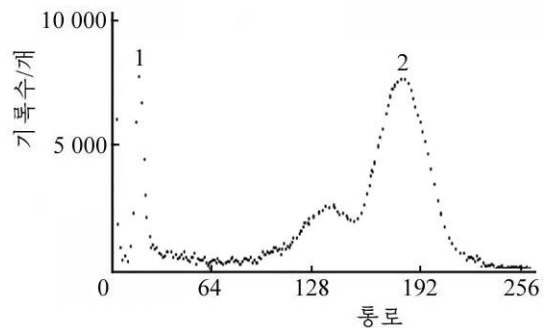


그림 5. ^{57}Co 의 γ 선에너지스펙트르

1, 2는 $E_\gamma = 14.4, 122\text{keV}$ 인 경우

이에 기초하여 적분비선형성을 평가하면 다음과 같다.

$$\eta_{\text{적}}(\%) = \left(1 - \frac{k}{k_{\text{최}}}\right) \approx 2.61$$

이것은 두꺼운 섬광체를 리용하였을 때보다 1.0mm 두께의 얇은 섬광체가 낮은 에너지기대역에서 적분비선형성이 좀 크다는것을 보여준다.

맺 는 말

- 1) 핵감마공명분석기를 리용하여 몇가지 표준 γ 선원천들의 에너지스펙트럼특성을 평가함으로써 핵스펙트럼분석기로 리용할수 있다는것을 확정하였다.
- 2) 몇가지 저에너지 γ 선원천들의 에너지스펙트럼을 측정하고 그 결과를 분석하여 핵스펙트럼측정과 뢰스바우에르효과측정도 할수 있다는것을 확정하였다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 54, 7, 84, 주체97(2008).

주체103(2014)년 2월 5일 원고접수

Energy Spectrum Measurement by Nuclear γ Resonance Analyzer

Ro Chun Hwan, Kim Jin Guk

We have done nuclear spectrum measurement experiment of standard γ ray source and low energy γ ray source using the nuclear γ resonance analyzer based on 8 channels discriminator and confirmed that this analyzer can be used to nuclear spectrum and Mossbauer effect measurement.

Key words: nuclear γ resonance analyzer, nuclear spectrum measurement, Mossbauer effect