

뫼스바우에르스펙트르측정에서 공명선세기스펙트르모의

로춘환, 김진국, 박기철

위대한 수령 김일성동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

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

뫼스바우에르스펙트르는 원천이 설치된 진동자를 진동시키면서 원천과 시편의 상대속도에 따라 공명임펄스들을 분배하는 방법으로 얻는다. 뫼스바우에르스펙트르측정에서는 원천이 설치된 진동자를 주기적으로 운동시키고 그 주기에 맞추어 스펙트르분석기로 시간에 따르는 공명선세기의 분포(공명선세기스펙트르)를, 속도측정장치로 시간에 따르는 진동자 속도의 분포(속도스펙트르)를 측정하여 같은 시각에 측정된 속도값과 공명임펄스계수값으로부터 속도에 따르는 공명선세기의 분포(뫼스바우에르스펙트르)를 얻는다.

우리는 자체로 연구제작한 스펙트르분석기[2]로 공명선세기스펙트르를 모의측정하였다.

1. 시간에 따르는 스펙트르의 분포측정

먼저 ^{57}Co 원천이 설치된 진동자를 미세하게 진동시키면서 시간에 따르는 공명선세기스펙트르를 측정하여 스펙트르분석기가 시간에 따르는 공명임펄스의 분배를 정확히 진행하는가를 확인하였다.

진동장치로는 함수발진기의 임펄스신호에 따라 각이한 속도로 진동하는 전기력학식진동장치[1]를, 함수발진기로는 우리가 개발한 함수발진기[3]와 시누스파, 구형파, 삼각파신호를 출력하는 《KENWOOD FG-273》(진폭 0~15V, 진동수 0~1MHz)을 리용하였다.

실험체제는 그림 1과 같이 구성하였다.

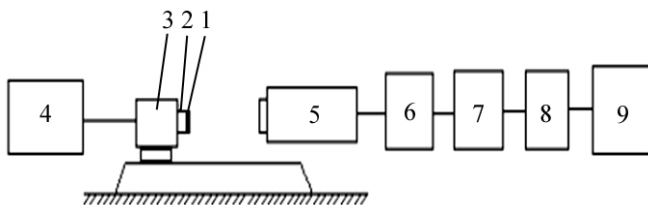


그림 1. 공명선세기스펙트르모의 측정실험체제구성도

1—원천, 2—진동자, 3—전기력학식진동장치, 4—함수발진기,
5—검출기, 6—선형임펄스증폭기, 7—스펙트르분석기,
8—결합부, 9—컴퓨터

원천과 검출기사이거리를 100mm로 하고 함수발진기로 진동수가 10Hz인 삼각파임펄스를 전기력학식진동장치에 입력시켜 진동자가 진동수 10Hz, 진폭이 0.2mm인 등가속직선운동하도록 하였다. 이때 상대속도는 진동의 반주기동안은 -8mm/s 에서 $+8\text{mm/s}$ 까지, 다음 반주기동안은 반대로 균일하게 변한다. 원천과 검출기사이의 거리변화

로 인한 립체각의 변화는 0.004%이며 따라서 립체각변화로 인한 방사선임펄스기록효률의 변화도 0.004%로서 방사선검출의 통계오차에 비하여 무시할수 있다.

^{57}Co 원천의 에너지스펙트르에서 14.4keV γ 선의 봉우리위치는 21통로이다. 공명통로선택모듈에서 $n_1=20$ 통로(기록수 6 107개), $n_2=21$ 통로(8 235개), $n_3=22$ 통로(6 533개), $n_4=23$ 통로(4 378개), $n_5=24$ 통로(3 283개)의 5개 실험점을 리용하여 작성한 $n-\ln Q(n)$ 곡선으로부터 최소두제곱법으로 결정한 봉우리정점위치는 $n_0=20.78$ 통로, 표준편차는 $\sigma=2.64$ 이다.

또한 ^{57}Co 원천의 에너지스펙트르에서는 14.4keV 공명선근방에 이웃한 에너지성분의 γ 선이 존재하지 않지만 폰수준이 비교적 높으므로 $n_0 \pm 3\sigma$ 구간(12.86~28.70통로)을 선택하면 공명 γ 선에 비공명 γ 선(폰성분)이 많이 섞이게 된다. 그러나 $n_0 \pm 2\sigma$ 구간(15.50~26.06통로)에서는 공명선의 대부분(95.5%)을 포함하면서도 폰의 영향을 무시할수 있다. 따라서 $n_0 \pm 2\sigma$ 구간에서 해당하는 파라메터(공명중심통로, 공명통로수)들을 측정하였다.

공명선세기스펙트르측정프로그램의 설정단에서 통로증가시간간격을 $250\mu\text{s}$ 로, 측정통로수를 400으로, 주사회수를 2 000으로 하였을 때 얻어진 공명선세기스펙트르는 그림 2와 같다. 이때 한통로에 해당하는 속도의 증분은 $\Delta v=0.08\text{mm/s}$ 이고 이것은 14.4keV γ 선에 대하여 $\Delta E=3.84 \cdot 10^{-9}\text{eV}$ 의 에너지증분에 해당한다.

그림 2에서 보는바와 같이 공명선세기스펙트르는 시간축에 평행인 직선에서 약 1.12%의 분산을 가진다. 공명반응이 일어나지 않는 조건에서 스펙트르는 시간축에 평행인 직선으로 나타나야 한다. 이것은 방사성붕괴와 방사선검출의 통계적과정으로 인한 분산으로서 임펄스기록수들이 전체 시간구간에서 균등분포되었다고 볼수 있다.

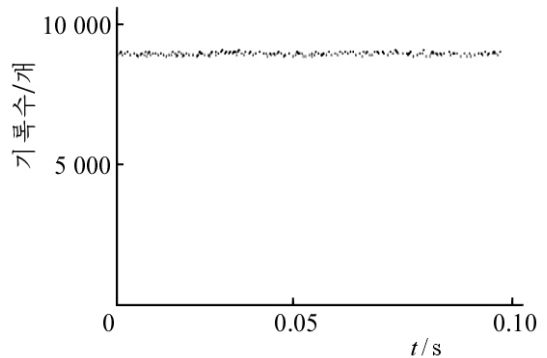


그림 2. 공명선세기스펙트르($\Delta t=250\mu\text{s}$)

측정결과는 스펙트르분석기가 시간에 따라 임펄스들을 정확히 분배하며 창문너비가 시간에 따라 안정하다는것을 보여준다.

2. 상대속도에 따르는 스펙트르의 분포측정

상대속도에 따라 공명임펄스들이 정확히 분배되자면 또한 진동자가 정해진 규칙에 따라 정확히 운동하여야 하며 스펙트르분석기가 진동자와 같은 진동주기와 동기에 맞추어 측정하여야 한다.

우리는 진동자가 운동진폭이 큰 등가속 및 등속운동할 때 공명선세기스펙트르를 측정하였다. 원천과 검출기사이의 거리가 가깝고 진폭이 크면 원천이 검출기를 바라보는 립체각은 시간에 따라 크게 변하게 되며 따라서 검출기에 기록되는 방사선의 세기도 시간에 따라 크게 달라지게 된다.(그림 3)

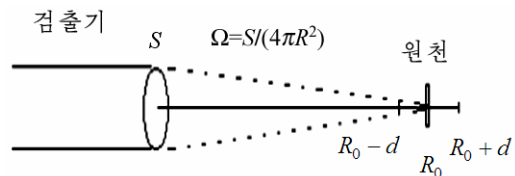


그림 3. 원천의 위치에 따르는 립체각의 변화

진동자의 운동방식에 따라 원천의 위치는 시간에 관한 함수로 표시되고 검출기에 기록되는 방사선의 세기는 원천의 위치에 관한 함수로 표시되므로 시간에 따르는 검출방사선의 세기변화를

측정하는 공명선세기스펙트럼에는 진동자의 운동특성이 그대로 반영되게 된다.

평형상태에서 진동자와 검출기사이의 거리가 R_0 이고 진동자가 함수발진기의 삼각파 임펄스신호에 의하여 진폭이 $2d$, 진동주기가 T , 가속도가 a 인 등가속직선운동을 한다면 진동자가 검출기에서 제일 멀리 떨어져있는 시각(t)에서 검출기와 원천사이의 거리 R 는 다음과 같이 표시된다.

$$R = \begin{cases} R_0 + d - \frac{1}{2}at^2, & 0 < t \leq \frac{T}{4} \\ R_0 - v_{\text{최}} \left(t - \frac{1}{4} \right) + \frac{1}{2}a \left(t - \frac{1}{4} \right)^2, & \frac{T}{4} < t \leq \frac{T}{2} \\ R_0 - d + \frac{1}{2}a \left(t - \frac{1}{2} \right)^2, & \frac{T}{2} < t \leq \frac{3T}{4} \\ R_0 + v_{\text{최}} \left(t - \frac{3}{4} \right) - \frac{1}{2}a \left(t - \frac{3}{4} \right)^2, & \frac{3T}{4} < t \leq T \end{cases} \quad (1)$$

이때 검출기에 들어오는 방사선의 세기는

$$I = \frac{S}{4\pi R^2} \cdot J_0 \quad (2)$$

으로서 평형위치(R)에 대한 비평형위치(R_0)에서의 방사선세기의 비는 다음과 같다.

$$I/I_0 = R_0^2/R^2 \quad (3)$$

$I_0=8\ 000$, $R_0=25\text{mm}$, $d=2\text{mm}$, $a=64\text{mm/s}^2$, $f=1\text{Hz}$ 인 경우 시간에 따르는 방사선세기변화를 계산한 결과와 삼각파임펄스에 의하여 전기력학식진동장치의 진동자가 $R_0=25\text{mm}$, $d=2\text{mm}$, $a=64\text{mm/s}^2$, $f=1\text{Hz}$ 인 등가속직선운동하고 통로증가시간간격이 5ms , 통로수가 200, 반복주사회수가 2 000일 때 방사선세기변화를 측정한 결과는 그림 4와 같다.

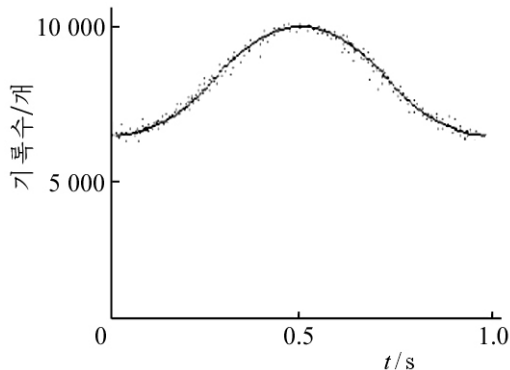


그림 4. 시간에 따르는 방사선세기변화
실선-계산값, 점-측정값

진동자가 등속직선운동을 하는 경우 원천과 검출기사이의 거리는 다음과 같다.

$$R = \begin{cases} R_0 + d - vt, & 0 < t \leq T/2 \\ R_0 - d + v(t - 1/2), & T/2 < t \leq T \end{cases} \quad (4)$$

$I_0=8\ 000$, $R_0=25\text{mm}$, $d=2\text{mm}$, $v=8\text{mm/s}$, $f=1\text{Hz}$ 인 경우 시간에 따르는 방사선의 세기변화를 계산한 결과와 직각파임펄스에 의하여 진동자가 $R_0=25\text{mm}$, $d=2\text{mm}$, $v=8\text{mm/s}$, $f=1\text{Hz}$ 인

등속직선운동하고 톱로증가시간간격이 5ms, 톱로수가 200, 반복주사회수가 2 000일 때 방사선세기변화를 측정한 결과는 그림 5와 같다.

그림 5에서 보는바와 같이 측정과정에는 일정한 분산이 나타나지만 계산결과와 잘 일치하였다. 이것은 진동자가 함수발진기의 직각파에 의하여 정확히 등속직선운동하며 스펙트르분석기가 진동자의 속도에 따르는 임펄스의 분배를 정확히 진행한다는것을 보여준다.

실험결과는 우리가 개발한 스펙트르분석기를 리용하여 등속 및 등가속측정방식에서 뫑스바우에르스펙트르를 정확히 측정할수 있다는것을 보여준다.

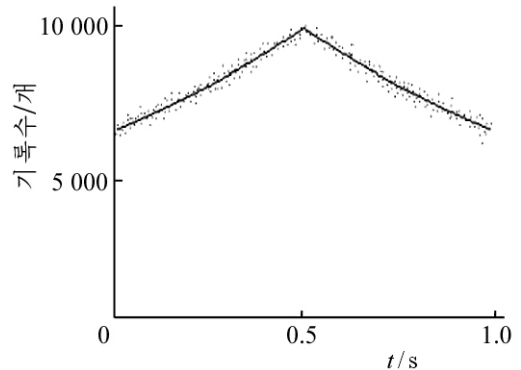


그림 5. 시간에 따르는 방사선세기변화
실선—계산값, 점—측정값

맺 는 말

우리가 제작한 스펙트르분석기를 리용하여 진동자가 등가속 및 등속직선운동할 때 공명선세기스펙트르를 측정한 결과는 리론값과 잘 일치하였다. 이것은 이 분석기를 리용하여 뫑스바우에르스펙트르를 측정할수 있다는것을 보여준다.

참 고 문 헌

- [1] 로춘환 등; 위대한 령도자 김정일동지께서 김일성종합대학에 불멸의 령도자육을 옮기신 50돛기념 전국과학톱론회론문집(물리 원자력), 김일성종합대학출판사, 209~210, 주체100(2011).
- [2] 로춘환 등; 김책공업종합대학창립 60돛기념 과학톱론회 과학론문집(핵물리, 화학), 김책공업종합대학출판사, 20~21, 주체97(2008).
- [3] 로춘환 등; 원자력, 2, 22, 주체96(2007).

주체104(2015)년 12월 5일 원고접수

Investigation on Resonance Ray Intensity Spectrum Simulation Measurement by the Mossbauer Spectrum Measurement Mode

Ro Chun Hwan, Kim Jin Guk and Pak Ki Chol

We carried out the resonance ray intensity spectrum simulation measurement experiment using the vibration device, function generator and the resonance ray intensity spectrum measurement program in velocity measurement mode, confirmed that the spectrum analyzer manufactured ourselves can be used in Mossbauer spectrum measurement of equilibrium acceleration and equilibrium velocity measurement mode.

Key words: Mossbauer spectrum, resonance ray, program