

동반립자기록에 의한 d-T반응중성자측정

채철, 정연성

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 지적하시였다.

《새로운 과학기술분야를 개척하기 위한 사업도 전망성있게 밀고나가야 합니다. 나라의 과학기술을 세계적수준에 올려세우자면 발전된 과학기술을 받아들이는것과 함께 새로운 과학기술분야를 개척하고 그 성과를 인민경제에 적극 받아들여야 합니다.》

(《김정일선집》 제11권 증보판 138~139페이지)

중성자발생장치의 실제적인 운영과정에서는 d-T반응중성자의 방출률을 실시간적으로 측정평가하는 문제[1, 2]가 중요하게 제기된다.

우리는 중성자발생장치에서 중성자방출률을 비교적 간단한 방법으로 측정평가할수 있는 동반립자기록장치를 제작하고 d-T반응중성자원천의 중성자방출률을 결정하였다.

1. 동반립자기록장치제작과 측정체계구성

중성자발생장치의 이온유도관과 전하접수함사이에 설치된 동반립자기록장치는 그림 1과 같다. T(Ti)표적으로부터 검출기가 설치된 위치까지의 거리는 25cm, 이온의 입사방향에 대한 두 검출기의 각도는 각각 175.5°, 184.5°이다.

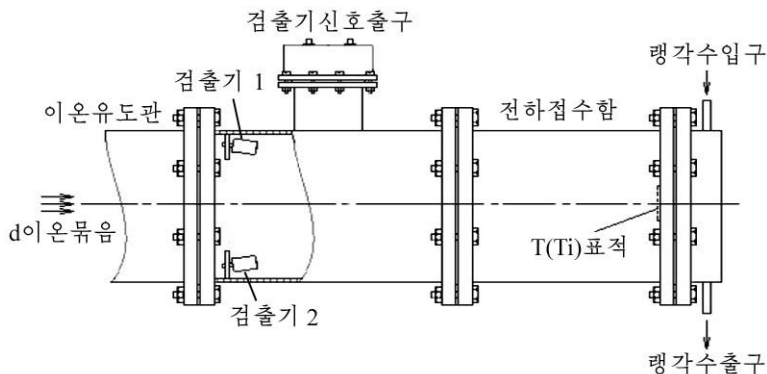


그림 1. 동반립자기록장치

동반립자스펙트럼측정체계구성도는 그림 2와 같다.



그림 2. 동반립자스펙트럼측정체계의 구성도

Au-Si반도체검출기와 결합되는 스펙트르측정체계는 전하수감예비증폭기, NV804형선형증폭기, BH1324MCA형스펙트르분석기로 되어있다.

2. d-T반응중성자원천의 α 스펙트르측정

1) 측정체계의 에네르기눈금새김

측정체계의 에네르기눈금새김은 ^{241}Am 의 5 389, 5 443, 5 486keV α 선과 ^{239}Pu 의 5 107, 5 157keV α 선을 리용하였다. 분석통로에 따르는 에네르기변화관계는 다음과 같은 경험식으로 표시되는 선형특성을 가진다.

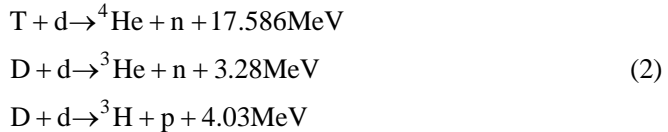
$$E = 0.0 + 5.43 \cdot \text{CH} \quad (1)$$

여기서 CH는 분석기통로번호이고 E는 keV단위로 표시된 α 립자의 에네르기이다.

2) d-T반응중성자원천의 α 스펙트르측정

중성자발생장치의 가속관내부진공도는 $7 \cdot 10^{-4} \text{Pa}$, 가속전압은 100~150kV, 이온전류의 세기는 $200 \mu\text{A}$, 초중수소표적의 방사능은 $18.5 \cdot 10^{10} \text{Bq}$, T표적에 대한 d이온의 쏘임시간은 300s였다.

T표적을 d이온으로 쏘일 때 $E_d = 100 \sim 150 \text{keV}$ 범위에서 가능한 핵반응들은 다음과 같다.



T표적을 d이온으로 쏘일 때 중성자의 방출과 함께 대전립자들인 ${}^4\text{He}$, ${}^3\text{He}$, ${}^3\text{H}$, p가 방출된다.

검출기 1로 측정한 d-T반응중성자원천에서 방출되는 α 스펙트르는 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는바와 같이 620통로근방에서 나타나는 가장 큰 봉우리는 $\text{T(d, n)}{}^4\text{He}$ 반응에서 방출되는 3.3MeV의 α 립자스펙트르이고 690통로근방의 작은 봉우리는 $\text{D(d, p)}\text{T}$ 반응에서 방출되는 3.7MeV양성자에 의한 봉우리이다.

$\text{D(d, n)}{}^3\text{He}$, $\text{D(d, p)}\text{T}$ 반응에서 방출되는 ${}^3\text{He}$, ${}^3\text{H}$ 의 에네르기는 1MeV 이하이고 잡음스펙트르우에 놓이므로 구별되지 않는다.

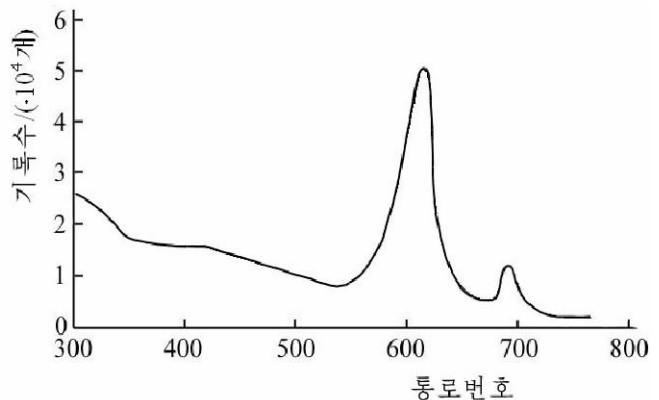


그림 3. d-T반응중성자원천에서 방출되는 α 스펙트르

3. d-T반응중성자방출률결정

θ_α 방향으로 l 만 한 거리에 설치된 검출기의 립체각을 Ω_α 라고 하고 단위시간동안에 기록되는 d-T반응에서 방출되는 α 립자의 수를 $N(\theta_\alpha)$ 라고 하면 중성자방출률은 다음의 식에 의하여 결정할수 있다.

$$Y_n = \frac{N(\theta_\alpha)}{K_\alpha} A_\alpha(\theta_\alpha) B_\alpha \quad (3)$$

여기서 K_α 는 중성자발생장치에 설치된 α 립자검출기에서 T표적으로부터 검출기를 바라보는 립체각에 대한 보정인자이다. 즉

$$K_\alpha = \frac{\Omega_\alpha}{4\pi} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{l}{\sqrt{r^2 + l^2}} \right) \quad (4)$$

검출기동작면적의 반경이 $r = 2\text{mm}$, T표적으로 검출기까지의 거리가 $l = 250\text{mm}$ 이므로 립체각에 대한 보정인자는 $K_\alpha \approx 0.5$ 이다.

d-T반응에서 α 립자방출의 비등방성보정인자 $A_\alpha(\theta_\alpha)$ 는 $\theta_\alpha = 184.5, 175.5^\circ$ 에서 0.83정도이고 B_α 는 1이다.

스펙트르분석과 α 립자방출률결정은 분석프로그램 UMS38을 리용하여 진행하였다. 동반립자스펙트르를 리용하여 결정한 d-T반응의 중성자방출률값은 표와 같다.

표. d-T반응의 중성자방출률

E_d / MeV	110	120	130	140	150
$N(\theta_\alpha)$	4 000	3 360	2 880	2 400	1 760
T/s	300	300	300	300	300
Y_n / s^{-1}	$2.5 \cdot 10^8$	$2.1 \cdot 10^8$	$1.8 \cdot 10^8$	$1.5 \cdot 10^8$	$1.1 \cdot 10^8$
$\Delta Y_n / \%$	2.8	2.8	3.0	3.2	3.2

중성자방출률결정에서의 오차는 α 립자계수값 $N(\theta_\alpha)$ 결정에서의 오차, 립체각 Ω_α 결정에서의 오차, 비등방성보정인자 $A_\alpha(\theta_\alpha)$ 의 오차에 의하여 결정된다.

맺 는 말

1) 동반립자기록방법을 리용하여 d-T반응중성자측정을 위한 동반립자기록장치를 제작하였다.

2) 동반립자기록장치를 리용하여 중성자발생장치에서 발생하는 d-T반응의 α 스펙트르를 측정하고 T(Ti)표적에서 중성자방출률을 결정하였다.

참 고 문 헌

[1] B. Akkus et al.; Annals of Nuclear Energy, 28, 437, 2001.

[2] Yao Zeen et al.; Chinese Journal of Computational Physics, 125, 6, 744, 2008.

주체103(2014)년 3월 5일 원고접수

On the Measurement of Neutron of d-T Reaction using Record of Associated Particle

Chae Chol, Jong Yon Song

We made the record device of associated particle for measurement of the neutron of d-T reaction using the record method of associated particle.

And we measured the α spectrum of d-T reaction in the neutron generator by using this device, and determined the neutron yield in the target of T(Ti).

Key words: associated particle, d-T reaction