รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

นเรศร์ จันทน์ขาว. การตรวจสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี. เอกสารประกอบการอบรมทางวิชาการ, ชมรมตรวจสอบโดยไม่ทำลาย, ตุลาคม 2528.

นิวัฒน์ ตะโพนทอง. การศึกษาวิธีการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีแทร็ก-เอตช์ .วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.

แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. หลักการและเทคนิควิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์ชวนพิมพ์, 2534.

ประสม สุขสว่าง. การศึกษาวิธีการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523.

ยุทธพงศ์ บุษมงคล. การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท. ประกาศนียบัตรบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2524.

ศักดา ศิริพันธุ์. เทคนิคและศิลปะการถ่ายภาพ. กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, 2524.

ภาษาอังกฤษ

Berger H. Neutron Radiography. Amsterdam: Elsevier, 1965.

Brady G.S. and Henry R. Clauser. Material Handbook. U.S.A: McGraw-Hill Book Co.,1977.

Clifford A. Hampel. Rare Metals Handbook. New york: Reinpold Publishing Co., 1954.

Garrett D.A.and Berger H. Atomic Energy Review. Vol.15 No.2. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1977.

Harns A.A. Atomic Energy Review. Vol.15 No.2. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1977.

Hawkesworth M.R. Atomic Energy Review. Vol.15 No.2. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1977.

Lamarsh J.R. Introduction to Nuclear Reactor Theory. Sydney:Addison-Wesley Publishing Co.,1982.

Matsumoto G.,Teramura M., Okubo K. and Ikeda Y. Material evaluation. Vol.42 No.11,1984.

Ma Zhenze and Liu Haigang. Present status and prospects of neutron radiography in China. Paper presented at the 3rd World conferance Osaka,1989.

Von der Hardt P and Rottger R. Neutron Radiography Handbook. Holland:D.Reidel Publishing Co.,1981.

ภาคผนวก ก

1.การคำนาณหาโอกาสในการเกิดอันตรกิริยากับนิวตรอนของสารประกอบลิเทียมเมตาบอเรต (macroscopic cross section of Lithium metaborate for (n, α) reaction)

$$\Sigma_C = \Sigma N_i \sigma_i \qquad (1)$$

เมื่อ Σ_C คือ โอกาสในการเกิดอันตรกิริยากับนิวตรอนแล้วให้อนุภาคอัลฟา ต่อระยะทางการเคลื่อนที่ของนิวตรอน ในสารประกอบลิเทียมเมตาบอเรต (macroscopic cross section of compound)

N_i คือ จำนวนนิวไคลด์ต่อหน่วยปริมาตร(number of nuclide per unit volume)

σ_i คือ ค่าพื้นที่ตัดขวางในการเกิดอันตรกิริยากับนิวตรอนแล้วให้อนุภาคอัลฟาของ
แต่ละธาตุในสารประกอบ(microscopic cross section for i th nuclear species)

และ $$N = \rho N_A/A \qquad (2)$$

เมื่อ N คือ จำนวนนิวไคลด์ต่อหน่วยปริมาตร(number of nuclide per unit volume)

ρ คือ ความหนาแน่นของสารประกอบ(density of compound)

N_A คือ เลขอาโวกาโดร เท่ากับ 6.02×10^{23} (Avogadro's number)

A คือ น้ำหนักอะตอมของสารประกอบ(atomic weight of compound)

แทน (2) ลงใน (1) จะได้

$$\Sigma_C = (\rho N_A/A)_i \ \sigma_i$$

หรือ $$\Sigma_C = (\rho N_A/A) \ (\Sigma \sigma_i)$$

โดย $\Sigma \sigma_i = n_1\sigma_1 + n_2\sigma_2 + n_3\sigma_3 + \ldots$

เมื่อ $n_1, n_2, n_3, \ldots$ คือ จำนวนอะตอมของแต่ละธาตุในสารประกอบ

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \ldots$ คือ ค่าพื้นที่ตัดขวางการเกิดอันตรกิริยากับนิวตรอน แล้วให้รังสีอัลฟาของธาตุแต่ละชนิดในสารประกอบ

ดังนั้นค่าพื้นที่ตัดขวางการเกิดอันตรกิริยากับนิวตรอนแล้วให้รังสีอัลฟาของสารประกอบลิเทียมเมตาบอเรต คำนวณได้ดังนี้

$\rho_{LiBO2} = 0.4344\ g/cm^3$

$N_A = 6.02 \times 10^{23}$

$A = 49.75$

$n_{Li} = 1$, $n_B = 1$, $n_O = 2$

$\sigma_{Li} = 940$ barn , $\sigma_B = 3837$ barn , $\sigma_O = 2.7 \times 10^{-4}$ barn

ดังนั้น $\Sigma_C = 0.4344 \times 6.02 \times 10^{23} \times (940 \times 10^{-24} + 3837 \times 10^{-24} + 2 \times 2.7 \times 10^{-4} \times 10^{-24})/49.75$

$= 25.1101\ cm^{-1}$

หมายเหตุ ความหนาแน่นของลิเทียมเมตาบอเรตหาได้จากการบดและอัดลิเทียมเมตาบอเรตให้อยู่ในสภาพเดียวกับที่ใช้งานจริงแล้วนำไปหาค่าน้ำหนักต่อปริมาตร

ภาคผนวก ข

1.การคำนวณหาพิสัยของอนุภาคอัลฟาในสารเรืองแสงสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)

1. การหาพลังงานของอนุภาคอัลฟาจากลิเทียม-6และโบรอน-10

จากสมการ $_3Li^6 + {}_0n^1 \rightarrow {}_2He^4 + {}_1H^3$

Q-value = (6.015123 + 1.008665)-(4.00260+2(1.008665)+1.007825)

= 3.967×10^{-3} amu (endothermic reaction)

= 3.695 MeV

ดังนั้น พลังงานของอนุภาคอัลฟา จากลิเทียม-6 เท่ากับ 3/7 x 3.695 = 1.5835 MeV

จากสมการ $_5B^{10} + {}_0n^1 \rightarrow {}_2He^4 + {}_3Li^7$ (6.1%)

Q-value = (10.012938 + 1.008665) - (4.00260 + 7.016005)

= 2.998×10^{-3} amu (exothermic reaction)

= 2.793 MeV

ดังนั้นพลังงานของอนุภาคอัลฟา(6.1%)จาก โบรอน-10 เท่ากับ 7/11 x 2.793 = 1.7774 MeV

และจากสมการ $_5B^{10} + {}_0n^1 \rightarrow {}_2He^4 + {}_3Li^{7m}$ (93.9%)

ให้ Q-value เท่ากับ 2.31 MeV

ดังนั้นพลังงานของอนุภาคอัลฟา(93.9%)จาก โบรอน-10 เท่ากับ 7/11 x 2.31 = 1.47 MeV

2. พิสัยของอนุภาคอัลฟาในสารประกอบใดๆ (Range of alpha-particle in compound) สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$R = M_C / \sum n_i(A_i/R_i)$$

เมื่อ R คือ พิสัยของอนุภาคอัลฟาในสารประกอบใดๆหน่วยเป็นเซนติเมตร

M_C คือ มวลโมเลกุลของสารประกอบใดๆ

n_i คือ จำนวนโมเลกุลของธาตุต่างๆในสารประกอบนั้น

A_i คือ มวลอะตอมของธาตุต่างๆในสารประกอบนั้น

R_i คือ พิสัยของอนุภาคอัลฟาของธาตุต่างๆในสารประกอบนั้น

R_i มีค่าเท่ากับ $0.56\ A^{1/3}\ R_a$ หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร

A คือ มวลอะตอมของธาตุหนึ่ง

R_a คือ พิสัยของอนุภาคอัลฟาในอากาศและ R_a มีค่าเท่ากับ $0.56E_\alpha$ หน่วยเป็นเซนติเมตร

เมื่อ E_α คือ พลังงานของอนุภาคอัลฟา

ในการคำนวณจะแยกพิจารณาพิสัยของอนุภาคอัลฟาจากลิเทียม-6และโบรอน-10 ในสารประกอบสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)ดังนี้

2.1 พิสัยของอนุภาคอัลฟาจากลิเทียม-6

พลังงานของอนุภาคอัลฟาจากลิเทียม-6 = 1.5835 MeV

เมื่อตัวกลางเป็นอากาศ $R_a = 0.56 \times 1.5835 = 0.8868$ เซนติเมตร

เมื่อตัวกลางเป็นกลางเป็นสังกะสี

$A_{Zn}=65.38$

$Ri_{Zn}=0.56 \times (65.38)^{1/3} \times 0.8868$

$=2.0006$ mg/cm^2

ความหนาแน่นของสังกะสีเท่ากับ 7140 mg/cm^3

$Ri_{Zn}=2.0006 mg/cm^2 / 7140\ mg/cm^3$

$=2.802 \times 10^{-4}$ เซนติเมตร

เมื่อตัวกลางเป็นกำมะถัน

$A_S = 32.07$

$Ri_S = 0.56 \times (32.07)^{1/3} \times 1.5835$

$= 2.8173$ mg/cm^2

ความหนาแน่นของกำมะถันเท่ากับ 2070 mg/cm^3

Ri_S =2.8173mg/cm^2/2070 mg/cm^3

=1.3610 x 10^{-3} เซนติเมตร

เมื่อตัวกลางเป็นเงิน

A_{Ag} =107.87

Ri_{Ag} =0.56x(107.87)$^{1/3}$x1.5835

=4.2212 mg/cm^2

ความหนาแน่นของเงินเท่ากับ 10500 mg/cm^3

Ri_{Ag}=4.2212mg/cm^2/10500 mg/cm^3

=0.4020 x 10^{-4} เซนติเมตร

ดังนั้นพิสัยของอนุภาคอัลฟาจากลิเทียม-6ในสารประกอบสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)มีค่าเท่ากับ

$$R_{Li}=M_C/\sum n_i(A_i/R_i)$$

เมื่อ M_C=205.32

$n_1=n_2=n_3=1$

A_1=65.38, A_2=32.07, A_3=107.87

R_1=0.2802x10^{-4} cm., R_2=1.361x10^{-3} cm., R_3=0.4020x10^{-4} cm.,

R_{Li}=205.32/((65.32/0.2802 x10^{-3})+(32.07/1.361 x10^{-3})+(107.87/0.4020 x10^{-3}))

=8.8075 x10^{-4} เซนติเมตร

2.2 พิสัยของอนุภาคอัลฟาจากโบรอน-10

พลังงานของอนุภาคอัลฟาจากโบรอน-10=1.47 MeV

เมื่อตัวกลางเป็นอากาศ R_a=0.56x1.47=0.8232 เซนติเมตร

เมื่อตัวกลางเป็นสังกะสี(Zn)

A_{Zn}=65.38

R_{iZn}=0.56x(65.38)$^{1/3}$x(0.8232)

=1.8571 mg/cm^2

ความหนาแน่นของสังกะสีเท่ากับ 7140 mg/cm^3

$R_{iZn}=1.8571 mg/cm^2/7140 \quad mg/cm^3$

$=2.60x10^{-4}$ เซนติเมตร

เมื่อตัวกลางเป็นกำมะถัน(S)

$A_S=32.07$

$R_{is}=0.56x(32.07)^{1/3}x(0.8232)$

$=1.4646 \quad mg/cm^2$

ความหนาแน่นของกำมะถันเท่ากับ 2070 mg/cm^3

$R_{is}=1.4646 mg/cm^2/2070 mg/cm^3$

$=7.075x10^{-4}$ เซนติเมตร

เมื่อตัวกลางเป็นเงิน(Ag)

$A_{Ag}=107.87$

$R_{iAg}=0.56x(107.87)^{1/3}x(0.8232)$

$=2.1944 \quad mg/cm^2$

ความหนาแน่นของเงินเท่ากับ 10500 mg/cm^3

$R_{iAg}=2.1944 mg/cm^2/10500 mg/cm^3$

$=2.090x10^{-4}$ เซนติเมตร

ดังนั้นพิสัยของอนุภาคอัลฟาจากโบรอน-10ในสารประกอบสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) มีค่าเท่ากับ

$$R_B=M_C/\sum n_i(A_i/R_i)$$

เมื่อ $M_C=205.32$

$n_1=n_2=n_3=1$

$A_1=65.38$, $A_2=32.07$, $A_3=107.87$

$R_1=2.601x10^{-4}$cm., $R_2=7.075x10^{-4}$cm., $R_3=2.090x10^{-4}$ cm.

$R_B=205.32/((65.83/2.601x10^{-4})+(32.07/7.075x10^{-4})+(107.87/2.090x10^{-4}))$

$=2.526x10^{-4}$ เซนติเมตร

ประวัติผู้เขียน

นางสาวศศิพันธุ์ ณ สงขลา เกิดวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2513 ที่โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ กรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อพ.ศ. 2535