บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 การเกิดรอยบนแผ่นแก้ว

ขณะที่นิวตรอนวิ่งเข้าชนสารที่แตกตัวได้ที่ติดไว้บนแผ่นแก้ว จะทำให้เกิดการแตกตัวขึ้นซึ่งส่วนใหญ่อะตอมของสารที่แตกตัวได้จะแตกออกเป็นสองส่วน มีบางปฏิกริยาที่แตกตัวออกเป็นสามส่วนที่มีขนาดเท่า ๆ กันแต่น้อยมาก [7] ในกรณีที่นิวตรอนพุ่งเข้าชนตรง ๆ จากกฎการทรงตัวของโมเมนตัม ส่วนที่แตกตัวออกมาส่วนหนึ่งจะวิ่งเข้าชนและทำให้เกิดรอยบนผิวแก้ว อีกส่วนหนึ่งจะวิ่งไปในทิศทางตรงกันข้าม สำหรับนิวตรอนที่เกิดขึ้นจากการแตกตัว จะวิ่งหลุดออกไป ไม่ทำให้เกิดปฏิกริยาต่อไปได้ ดังนั้น สำหรับนิวตรอนหนึ่งตัว ถ้าวิ่งเข้าชนตรง ๆ และทำให้เกิดการแตกตัว จะทำให้เกิดรอยขึ้นหนึ่งรอยด้วย สำหรับ Th^{232} และ U^{238} จะทำปฏิกริยากับนิวตรอนเร็ว (fast neutron) เท่านั้น ส่วน U^{235} จะทำปฏิกริยากับทั้งเทอร์มอลนิวตรอน (thermal neutron) และนิวตรอนเร็ว

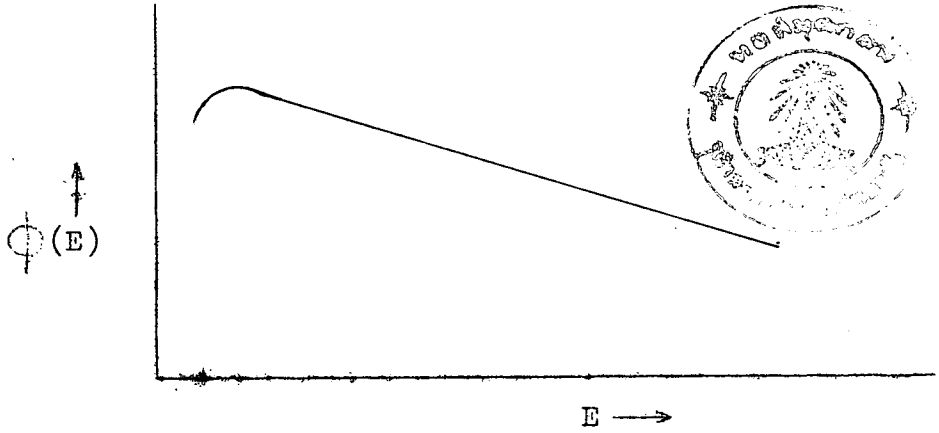
2.2 นิวตรอนฟลักซ์ (Neutron flux) [1,4]

ความหมายของฟลักซ์ อาจจะให้คำจำกัดความได้โดยพิจารณาถึงนิวตรอนที่วิ่งเป็นลำขนานกันมา ฟลักซ์จะหมายถึงจำนวนของนิวตรอนที่วิ่งผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร ในเวลา 1 วินาที หรือถ้านิวตรอนทุกตัวมีความเร็วเท่ากันก็อาจจะกล่าวได้ว่า ฟลักซ์ หมายถึงผลคูณระหว่างความหนาแน่นของนิวตรอนกับความเร็วของนิวตรอนนั้น ค่าของฟลักซ์อันนี้เรียกว่าโตตอล ฟลักซ์ (total flux)

โดยทั่ว ๆ ไปนิวตรอนที่วิ่งเป็นลำขนานกันนั้นไม่ค่อยปรากฏ ส่วนใหญ่จะปรากฏว่ามีนิวตรอนวิ่งอยู่ทุกทิศทุกทาง เช่นในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบสระน้ำ นิวตรอนที่วิ่งอยู่ในน้ำจะวิ่งอยู่ทุกทิศทุกทาง และมีความเร็วต่าง ๆ กัน ซึ่งหมายถึงมีพลังงานต่าง ๆ กันด้วย ค่าของฟลักซ์ในที่นี้ก็จะต้องหาจากผลคูณระหว่างความหนาแน่นของนิวตรอนกับความเร็ว ค่าของดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล ฟลักซ์ (differential flux) = $\phi(E)$ จะมีค่าน้อยกว่าค่าโตตอล ฟลักซ์ ซึ่งหาได้จาก

$$\phi(\text{total}) = \int \phi(E)\, dE \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.1)$$

ค่าดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล ฟลักซ์ สำหรับนิวตรอนเร็วจะมีค่าเปลี่ยนไปตามค่าของพลังงานของนิวตรอนจะแสดงได้ด้วยกราฟ ดังนี้



ในการวัดฟลักซ์โดยทั่ว ๆ ไปจะได้ค่าโตตอลฟลักซ์ ซึ่งค่าโตตอลฟลักซ์นี้มีความสำคัญในการศึกษาเรื่องนี้เป็นอย่างมาก ดังนั้น จะได้อธิบายวิธีการหาโตตอล ฟลักซ์ บ้างพอสมควร

2.3 วิธีการวัดนิวตรอน ฟลักซ์ [1,4]

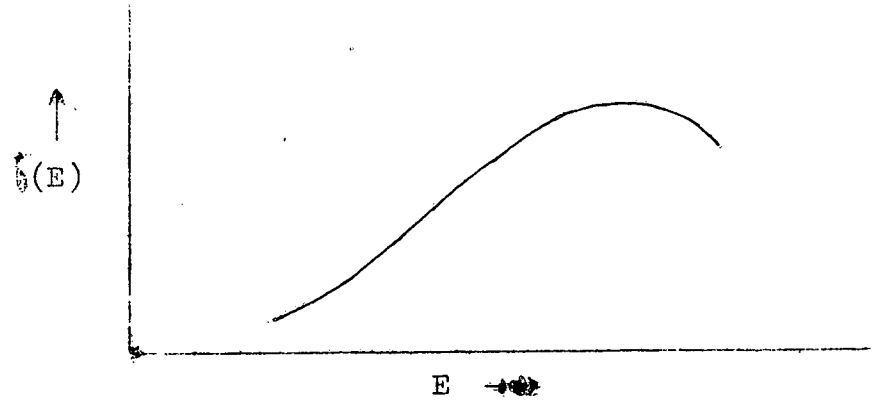
การวัดนิวตรอนที่สดวกวิธีหนึ่งก็คือ การอาศัยวิธีที่ให้นิวตรอนไปทำให้สารธรรมดาที่เหมาะสมกลายเป็นสารกัมมันตรังสี แล้วทำการวัดรังสีที่ส่งออกมาจากสารนั้น ก็อาจจะคำนวณกลับไปหาปริมาณของนิวตรอนที่วิ่งเข้าชนได้ วิธีการนี้เรียกว่า นิวตรอนแอคติเวชั่น (neutron activation) ธาตุที่เหมาะจะใช้เป็นตัววัดนิวตรอนมีดังต่อไปนี้

$Al^{27}(n,\alpha)\ Na,^{24}$ $In^{115}(n,n')\ In^{115\,m}$ $Rh^{103}(n,n')\ Rh^{103\,m}$

$Ni^{58}(n,p)\ Co^{58}$, $P^{31}(n,p)\ Si^{31}$, $S^{32}(n,p)\ P^{32}$

การที่อะตอมของธาตุเหล่านี้จะทำปฏิกริยากับนิวตรอนได้มากน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่เรียกว่า ครอสเซคชั่น (cross section) (σ) ซึ่งคุณสมบัติอันนี้สำหรับธาตุหนึ่ง ๆ ก็ยังเปลี่ยนไปตามพลังงานของนิวตรอนที่วิ่งเข้าชนดังนั้น สำหรับนิวตรอนที่มีพลังงานค่าหนึ่ง ก็มีค่าครอสเซคชั่น ค่าหนึ่งสำหรับธาตุหนึ่ง ค่านี้เรียกว่า ดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล ครอสเซคชั่น (differentialcross section) $\left[\ \sigma(E)\ \right]$

ซึ่งแสดงได้ด้วยกราฟดังนี้



อัตราการเกิดปฏิกริยาของนิวตรอนกับธาตุต่อหนึ่งอะตอม (reaction rate per atom) หาได้จากสมการต่อไปนี้

R = อัตราการเกิดปฏิกริยาต่อ 1 อะตอม $= \int_0^\infty \phi(E)\delta(E)\, dE$ ..(2.2)

การวัดรังสีที่เกิดจากนิวตรอนแอคติเวชั่น (neutron activation) ทำให้สามารถคำนวณหาค่า R ได้ และถ้าให้

$$\bar{\delta} = \frac{\int_0^\infty \phi(E)\, \delta(E)\, dE}{\int_0^\infty \phi(E)\, dE} \quad \ldots\ldots\ldots (2.3)$$

จะได้

$\bar{\delta}$ x total flux = R ..... (2.4)

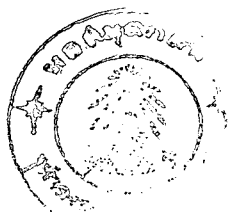
อาศัยสมการ (2.4) หาค่าโตตอล ฟลักซ์ (total flux) โดยทำการทดลองหาค่า R แล้วเปิดตารางตามเอกสารเอาค่า $\bar{\delta}$ มาใช้ สำหรับนิวตรอนเร็วอาจจะถือว่า เป็นนิวตรอนที่มีพลังงานตั้งแต่ 0.1 Mev. ขึ้นไป ก็จะเกิดปัญหาเกี่ยวกับสเปคตรัม (spectrum) ของนิวตรอนขึ้น คือค่า $\bar{\delta}$ ——————————

ซึ่งมีอยู่ในตารางตามเอกสาร ได้มาจากการกำหนดค่า $\phi(E)$ ไว้อย่างหนึ่ง ซึ่งค่า $\phi(E)$ จากตารางและจากการทดลองมักจะไม่ตรงกัน ทั้งนี้เพราะในตารางใช้ค่า $\phi(E)$ซึ่งหามาจาก ฟิชชั่น สเปคตรัม (fission spectrum) ซึ่งแตกต่างออกไปจากสเปคตรัมโดยทั่ว ๆ ไป ในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

ดังนั้น ถ้าใช้ธาตุหลาย ๆ ธาตุวัดฟลักซ์ ในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู โดยใช้ค่า $\bar{\sigma}$ ของแต่ละธาตุ ตามตารางในเอกสารจะได้ค่าฟลักซ์ออกมาไม่ตรงกัน และนอกจากนี้ค่า $\bar{\sigma}$ ยังไม่แน่นอน ค่าที่ดีที่สุดสำหรับธาตุที่มีผู้นิยมใช้ เช่น กำมะถัน อลูมิเนียม ก็ยังคลาดเคลื่อนได้ถึงร้อยละสิบ

วิธีการวัดฟลักซ์อีกวิธีหนึ่ง ก็โดยอาศัย เทรสโฮล ดีเทคเตอร์ (threshold detector) ก็เช่นเดียวกัน แต่อาศัยสมการ(2.5) แทน

$$\bar{\sigma}_{eff} = \frac{\int_{E\,eff.}^{\infty} \phi(E)\,\sigma(E)\,dE}{\int_{Eeff.}^{\infty} \phi(E)\,dE} \quad .....(2.5)$$



$$R = \bar{\sigma}_{eff.} \int_{Eeff.}^{\infty} \phi(E)\,dE \quad ..... \quad (2.6)$$

$E_{eff.}$ หมายถึง เอฟเฟคติฟ เทรสโฮล เอนเนอร์ยี่ (effective thersholdenergy)

$\int_{E_{eff.}}^{\infty} \phi(E)\,dE$ หมายถึงฟลักซ์ทั้งหมดเหนือเทรสโฮล เอนเนอร์ยี่

$$R = \phi(total)\,\bar{\sigma} = \phi_{eff.}\,\bar{\sigma}_{eff.} \quad ..(2.7)$$

วิธีการที่ใช้ก็คือใช้ธาตุหลาย ๆ ธาตุวัดฟลักซ์ของนิวตรอนในชวงพลังงานต่าง ๆ กัน ซึ่งเป็นการทราบสเปคตรัมของนิวตรอนทั้งหมดได้ เช่น สมมุติ ใช้ธาตุ 2 ธาตุ ทำการวัดได้ผลดังนี้

detector	threshold	$\phi_{eff.}$
A	8 Mev.	3×10^{12}
B	5 Mev.	5×10^{12}

อาจจะถือได้ว่ามีฟลักซ์ ในช่วงพลังงาน 5 - 8 Mev. เท่ากับ $5 \times 10^{12} - 3 \times 10^{12} = 2 \times 10^{12}$ ทำอย่างเดียวกันนี้ในช่วงพลังงานอื่น ๆ สำหรับธาตุตัวอื่น ๆ โดยวิธีการนี้ค่าฟลักซ์จะหาได้จากการวัดค่า R แล้วนำค่าครอสเซคชั่นที่ปรากฏอยู่ในตารางตามเอกสารมาใช้ก็จะเป็นการทราบสเปคตรัมได้คร่าว ๆ

2.4 นิวตรอนโดส (Neutron dose)[1]

นิวตรอนโดส หมายถึงปริมาณของพลังงานที่นิวตรอนคายให้แก่เนื้อวัตถุที่ทำปฏิกริยากับนิวตรอน ปริมาณการดูดกลืน (absorbed dose) จำนวน 1 แรด (rad) หมายถึงพลังงานที่นิวตรอนคายให้แก่วัตถุเป็นปริมาณ 100 เอร์ก (erg) ต่อกรัมของวัตถุ

ในกรณีของนิวตรอนเร็ว การคายพลังงานเป็นจำนวนมากของนิวตรอนจะเกิดขึ้นเมื่อนิวตรอนชนกับไฮโดรเจนในวัตถุ ดังนั้น โดสจึงขึ้นกับว่าวัตถุนั้นประกอบด้วยธาตุอะไรบ้าง

สำหรับในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ได้มีผู้ทำตารางของโดสเรท (dose rate) ของนิวตรอนเอาไว้ ซึ่งปรากฏตามตารางที่ 1 ค่าเหล่านี้ได้มาจากการวัดด้วยไอออนไนเซชั่นเชมเบอร์ (ionisation chamber)