

## บทที่ 10

### แรงนิวเคลียร์และรูปแบบของนิวเคลียส (NUCLEAR FORCE AND NUCLEAR MODELS)

#### 10.1 ลักษณะของแรงนิวเคลียร์

พอสรุปได้ดังนี้

(1) เป็นแรงที่กระทำภายในนิวเคลียส มีค่าสูงเมื่อเทียบกับแรงความโน้มถ่วง ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างมวล และแรงกระทำทางไฟฟ้าซึ่งเป็นแรงผลัก มิฉะนั้นแล้ว นิวคลีออนคงจะต้องถูกแยกออกจากกัน

(2) แรงนิวเคลียร์ควรจะเป็นแรงชนิดจุด กระทำในระยะทางสั้น แต่จะต้องมีแรงซึ่งเป็นแรงผลักกระทำระหว่างอนุภาคโปรตอนด้วย มิฉะนั้นแล้ว นิวคลีออนทั้งหมดคงจะรวมเป็นอนุภาคเดียวกัน

(3) แรงนิวเคลียร์มีความแตกต่างกันน้อยมากระหว่างแรงกระทำสำหรับนิวคลีออน  $n-n$ ,  $n-p$  และ  $p-p$  ดังนั้น จึงหาพลังงานยึดเหนี่ยวสำหรับนิวคลีออนทั้งหมดได้

(4) เป็นแรงที่กระทำในระยะทางสั้น แรงนิวเคลียร์จะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อใกล้รัศมีของนิวเคลียส

(5) กระทำกับนิวคลีออนที่อยู่ใกล้เคียงกันเท่านั้น

(6) เป็นแรงที่มีค่าอิ่มตัว

สรุปได้ว่า แรงนิวเคลียร์เป็นชนิดที่มีความแรงสูง (strong) กระทำในระยะทางสั้น (short range) และมีค่าอิ่มตัว (saturated)

#### 10.2 ลักษณะของนิวเคลียสที่ได้มาจากคุณสมบัติของแรงนิวเคลียร์

(1) นิวเคลียสควรมีลักษณะเป็นทรงกลม

(2) อนุภาคที่รวมกันอยู่ในนิวเคลียสมีลักษณะไม่ยืดหยุ่น จึงวัตรศมีได้จาก

$$R = R_0 A^{\frac{1}{3}}$$

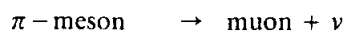
เมื่อ  $R_0$  เป็นค่าคงที่ มีค่าประมาณ 1.4 เฟอรัมี และความหนาแน่นของนิวเคลียส มีค่าคงที่

(3) มีการแจกแจงประจุอย่างสม่ำเสมอภายในบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางของนิวเคลียส

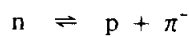
**มิเรอร์นิวเคลียส** (mirror nuclei) หมายถึง นิวเคลียสที่เป็นคล้ายกระจกเงา คือ มีจำนวนนิวคลีออนเท่ากัน (เป็นไอโซบาร์) แต่มีจำนวนนิวตรอนและโปรตอนต่างกัน  $\pm 1$  เช่น  ${}^6_6\text{C}^{13} - {}^6_7\text{N}^{13}$ ,  ${}^7_3\text{Li}^{10} - {}^7_4\text{Be}^{10}$  นิวเคลียสพวกนี้ จะมีลักษณะของระดับพลังงานคล้ายกัน จะต่างกัน แต่เพียงระดับพลังงานส่วนที่ใกล้กับระดับกราวด์เท่านั้น

### 10.3 รูปแบบของแรงนิวเคลียร์

ยูกาวา ได้ตั้งข้อสมมุติว่า มีการแลกเปลี่ยนแรงในนิวเคลียส เริ่มจากการแบ่งปันพายเมซอน ( $\pi$ -meson) หรือไพออน (pions) ให้แก่กัน โดยมีสนามของแรงเกิดขึ้น พาย-เมซอน ไม่มีเสถียรภาพ เมื่อสลายจะเกิดมิวออนและนิวตริโน



ตามความคิดนี้ โปรตอนและนิวตรอน ก็จะไม่ใช่อนุภาคที่ต่างกัน



ลักษณะอย่างนี้ จะไม่เกิดกับอนุภาคอิสระนอกนิวเคลียส

### 10.4 รูปแบบทางนิวเคลียร์ (Nuclear models)

มีมากมายหลายแบบด้วยกัน แต่จะกล่าวเพียงบางรูปแบบเท่านั้น

(1) **รูปแบบเปลือกหอย** (shell model) เป็นรูปแบบที่ตั้งขึ้นจากคุณสมบัติของการเสถียรภาพของนิวเคลียส โดยอาศัยจำนวนเลขโปรตอนและเลขนิวตรอน นิวเคลียสที่ประกอบด้วยจำนวนโปรตอน หรือจำนวนนิวตรอนเป็นเลขตัวใดตัวหนึ่งจากตัวเลขเหล่านี้ คือ 2, 8, 20, 50, 82 หรือจำนวนนิวตรอน 126 จะเป็นนิวเคลียสที่มีเสถียรภาพ จึงเรียกตัวเลขเหล่านี้ว่าเป็นตัวเลขแมจิก (magic numbers) คือตัวเลขที่แสดงว่ามีจำนวนโปรตอนหรือจำนวนนิวตรอนเต็มในแต่ละเชล

นอกจากนี้ ยังมีตัวเลข 14, 28 และ 40 เรียกว่า ตัวเลขเซมิแมจิก (semimagic numbers)

(2) รูปแบบหยดของเหลว (liquid drop model) เป็นรูปแบบที่เปรียบเทียบแรงนิวเคลียร์กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลว โดยสมมุติว่า นิวเคลียสควรมีลักษณะคล้ายหยดของเหลว คือเป็นรูปทรงกลม เพราะเป็นรูปแบบที่ให้ค่าแรงดึงดูดมากที่สุด การเคลื่อนที่ของโมเลกุลในหยดของเหลวเทียบได้กับการเคลื่อนที่ของนิวคลีออนในนิวเคลียส เมื่อมีแรงดึงดูดทำให้เกิดพลังงานดึงดูด เพื่อป้องกันไม่ให้โมเลกุลเคลื่อนที่พ้นจากผิวของของเหลวได้ เช่นเดียวกับพลังงานยึดเหนี่ยวในนิวเคลียส รูปแบบนี้สามารถอธิบายผลที่เกิดขึ้นจากการทดลองได้ เช่น

(1) ปริมาตรของนิวเคลียส เป็นปฏิภาคกับมวลของนิวเคลียสนั้น เมื่อความหนาแน่นมีค่าคงที่ จะหาได้ว่า

$$R = R_0 A^{\frac{1}{3}}$$

(2) พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนในนิวเคลียส มีค่าลดลงเมื่อนิวเคลียสมีเลขมวล  $A$  สูงขึ้น เปรียบได้กับหยดของเหลวที่มีขนาดใหญ่ พลังงานดึงดูดจะลดน้อยลง

(3) อธิบายการเกิดฟิชชันได้ เนื่องจากนิวคลีออนในนิวเคลียสมีการสั่นอยู่เสมอ เดิมเป็นรูปทรงกลม ต่อมายาวขึ้นเป็นรูปไข่โดยมีปริมาตรคงที่ แต่พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดพลังงานดึงดูดเพิ่มขึ้น เพื่อจะดึงให้กลับสู่สภาพเดิม ถ้าแรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมีค่ามากพอ จะทำให้หยดของเหลวมีรูปร่างคล้ายดรัมเบลล์ ขณะนี้พลังงานดึงดูดจะมีค่าเท่ากับพลังงานตัวปริมาตร ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลวในหยดของเหลวนั้น แทนที่จะทำให้หยดของเหลวกลับมีรูปร่างเหมือนเดิม จะกลายเป็นแยกออก 2 หยด และในที่สุดจะเป็นรูปทรงกลมตามเดิม

(4) ใช้หาค่ามวลและพลังงานยึดเหนี่ยวของนิวเคลียสได้ เรียกการหามวลและพลังงานยึดเหนี่ยว โดยการนำผลที่ได้จากการทดลองมาใช้ด้วย (semi empirical binding energy and mass formula)

## 10.5 รูปแบบที่ใช้กับปฏิกิริยานิวเคลียร์

(1) รูปแบบนิวเคลียสเชิงประกอบ (compound nucleus model) เป็นรูปแบบหนึ่งที่ใช้ทำนายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น เมื่อนิวเคลียสถูกกลืนอนุภาคตกกระทบ โดยสมมุติว่าพลังงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบที่เรียกว่า พลังงานกระตุ้น จะมีการแจกแจงแบบสุ่ม ๆ ระหว่างนิวคลีออนในนิวเคลียสเชิงประกอบนั้น ทำให้นิวเคลียสเชิงประกอบมีเวลาที่มีชีวิตอยู่ยาวนาน ในที่สุดนิวเคลียสเชิงประกอบที่ถูกกระตุ้นก็จะส่งอนุภาคหรือรังสีแกมมาออกมา เหลือนิวเคลียสใหม่ทิ้งไว้

(2) รูปแบบการเกิดปฏิกิริยาโดยตรง (direct interaction) ไม่มีการสมมุติว่ามีการแบ่งปันพลังงานของอนุภาคที่ตกกระทบแบบสุ่มให้กับนิวคลีออนในนิวเคลียส รูปแบบนี้จะอธิบายถึงการเกิดปฏิกิริยาเมื่ออนุภาคตกกระทบ เข้าชนกับนิวคลีออนหนึ่งหรือสองสามนิวคลีออนในนิวเคลียสที่เป็นเป้า บางตัวอาจจะกระเด็นออกมาโดยตรง หรือบางทีอนุภาคตกกระทบนั้น อาจจะหลุดออกมาจากนิวเคลียสหลังจากที่สูญเสียส่วนหนึ่งของพลังงานไปในการชน

---

## แบบฝึกหัดบทที่ 10

ข้อ 10.1 โจทย์ จงอธิบายถึงลักษณะของแรงนิวเคลียร์ตามทีู่กกว่าเคยอธิบายไว้  
(คำตอบ อธิบายตามหัวข้อ 10.1)

ข้อ 10.2 โจทย์ จงอธิบายถึงลักษณะของนิวเคลียสที่ได้มาจากคุณสมบัติของแรงนิวเคลียร์  
(คำตอบ อธิบายตามหัวข้อ 10.2)

ข้อ 10.3 โจทย์ ให้ความหมายของ มิเรอร์นิวคลีไอ (mirror nuclei), แมจิกนัมเบอร์

เฉลย มิเรอร์นิวคลีไอ หมายถึง นิวคลีไอที่เป็นคล้ายกระจกเงา คือมีจำนวนนิวคลีออนเท่ากัน (เป็นไอโซบาร์) แต่มีจำนวนนิวตรอนและโปรตอนต่างกัน  $\pm 1$  เช่น  ${}^6\text{C}^{13} - {}^6\text{N}^{13}$ ,  ${}^3\text{Li}^7 - {}^4\text{Be}^7$  นิวคลีไอพวกนี้ จะมีลักษณะของระดับพลังงานคล้ายกัน จะต่างกันแต่เพียงระดับพลังงานส่วนที่ใกล้กับระดับกราวด์เท่านั้น

แมจิกนัมเบอร์ เป็นตัวเลขที่แสดงว่า ถ้านิวคลีไอมีจำนวนโปรตอนหรือนิวตรอนเป็นตัวเลขเหล่านี้แล้ว นิวคลีไอเหล่านั้นมักจะมีเสถียรภาพ (ตามรูปแบบเปลือกหอย) ตัวเลขเหล่านี้ได้แก่ 2, 8, 20, 50, 82 หรือนิวตรอน 126

ข้อ 10.4 โจทย์ จงอธิบายถึงรูปแบบของนิวเคลียส

- (ก) รูปแบบเปลือกหอย
- (ข) รูปแบบหยดของเหลว

เฉลย

(ก) รูปแบบเปลือกหอย

เป็นรูปแบบที่ตั้งขึ้นจากคุณสมบัติการเสถียรภาพของนิวเคลียส โดยอาศัยหลักว่า ถ้าโปรตอนหรือนิวตรอนมีจำนวนเต็มในแต่ละเชล นิวเคลียสนั้นจะมีเสถียรภาพ

(ข) รูปแบบหยดของเหลว

เป็นรูปแบบที่เปรียบเทียบแรงนิวเคลียร์กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลว โดยสมมุติว่านิวเคลียสควรมีลักษณะคล้ายหยดของเหลว คือเป็นรูปทรงกลม เพราะเป็นรูปที่ให้ค่าแรงดึงผิวมากที่สุด การเคลื่อนที่ของโมเลกุลในหยดของเหลวเปรียบเทียบได้กับการเคลื่อนที่ของนิวคลีออนในนิวเคลียส เมื่อมีแรงดึงผิว ทำให้เกิดพลังงานดึงผิวเพื่อป้องกันไม่ให้โมเลกุลเคลื่อนที่พ้นผิวของของเหลวได้ เช่นเดียวกับพลังงานยึดเหนี่ยวของนิวเคลียส

ข้อ 10.5 โจทย์ รูปแบบหยดของเหลว สามารถอธิบายปรากฏการณ์อะไรได้บ้าง

เฉลย รูปแบบหยดของเหลวสามารถอธิบายผลที่เกิดขึ้นจากการทดลองได้ เช่น

- (1) ปริมาตรของนิวเคลียสเป็นปฏิภาคกับมวลของนิวเคลียสนั้น เมื่อความหนาแน่นมีค่าคงที่ จะหาได้ว่า

$$R = R_0 A^{\frac{1}{3}}$$

- (2) พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนในนิวเคลียส มีค่าลดลง เมื่อนิวเคลียสมีเลขมวลสูงขึ้น เปรียบได้กับหยดของเหลวที่มีขนาดใหญ่ พลังงานตึงผิวจะลดน้อยลง
- (3) อธิบายการเกิดฟิชชันได้ เนื่องจากนิวคลีออนในนิวเคลียสมีการสั่นอยู่เสมอ เดิมเป็นรูปทรงกลม ต่อมายาวขึ้นเป็นรูปไข่โดยมีปริมาตรคงที่ แต่พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดพลังงานตึงผิวเพิ่มขึ้นเพื่อจะดึงให้กลับสู่สภาพเดิม ถ้าแรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมีค่ามากพอ จะทำให้หยดของเหลวมีรูปร่างคล้ายดรัมเบลล์ ขณะนี้พลังงานตึงผิวจะมีค่าเท่ากับพลังงานทวิปริมาตร ทำให้เกิดแรงดึงดูระหว่างโมเลกุลของของเหลวในหยดของเหลวนั้น แทนที่จะทำให้หยดของเหลวกลับมีรูปร่างเหมือนเดิม จะกลายเป็นแยกออก 2 หยด และในที่สุดจะเป็นรูปทรงกลมตามเดิม
- (4) ใช้หาค่ามวลและพลังงานยึดเหนี่ยวของนิวเคลียสได้ เรียกการหาสูตรพลังงานยึดเหนี่ยวและมวล โดยนำทั้งทฤษฎีและผลที่ได้จากการทดลองมาใช้ด้วย

ข้อ 10.6 โจทย์ จงอธิบายรูปแบบของนิวเคลียสที่สามารถนำมาใช้กับปฏิกิริยานิวเคลียร์

- (ก) รูปแบบนิวเคลียสเชิงประกอบ  
(ข) รูปแบบการเกิดปฏิกิริยาโดยตรง

เฉลย

(ก) รูปแบบนิวเคลียสเชิงประกอบ

เป็นรูปแบบหนึ่งที่ใช้ทำนายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น เมื่อนิวเคลียสถูกกลืนอนุภาคตกกระทบ โดยสมมุติว่า พลังงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบที่เรียกว่าพลังงานกระตุ้น จะมีการแจกแจงแบบสุ่ม ๆ ระหว่างนิวคลีออนในนิวเคลียสเชิงประกอบนั้น ทำให้นิวเคลียสเชิงประกอบมีเวลาที่ชีวิตอยู่ยาวนาน ในที่สุด นิวเคลียสเชิงประกอบที่ถูกกระตุ้นก็จะส่งอนุภาคหรือรังสีแกมมาออกมาเหลือนิวเคลียสใหม่ทิ้งไว้

(ข) รูปแบบการเกิดปฏิกิริยาโดยตรง

ไม่มีการสมมติว่า มีการแบ่งปันพลังงานของอนุภาคที่ตกกระทบแบบสุ่มให้กับนิวคลีออนในนิวเคลียส รูปแบบนี้จะอธิบายถึงการเกิดปฏิกิริยา เมื่ออนุภาคตกกระทบเข้าชนกับนิวคลีออนหนึ่งหรือสองสามนิวคลีออนในนิวเคลียสที่เป็นเป้า บางตัวอาจจะกระเด็นออกมาโดยตรง หรือบางทีอนุภาคตกกระทบนั้น อาจจะหลุดออกมาจากนิวเคลียสหลังจากที่สูญเสียส่วนหนึ่งของพลังงานไปในการชน

---