วิชาฟิสิกส์
ว(40206)
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่6

เรื่อง

ปฏิกิริยานิวเคลียร์

ฟิชชัน

(Fission)

ฟิชชัน เป็นปฏิกิริยานิวเคลียร์ของธาตุหนักที่แตกตัวออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งจะได้ธาตุใหม่ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน และมีค่า B.E./A เพิ่มขึ้น ซึ่ง B.E.หลังปฏิกิริยาจะ*มากกว่า* ก่อนปฏิกิริยาจึงปล่อยพลังงาน

การศึกษาปฏิกิริยาฟิชชันเริ่มจากการที่รัทเทอร์ฟอร์ดพบปฏิกิริยานิวเคลียร์ ในปี พ.ศ. 2477 *เฟร์มี* พบว่าการยิงนิวตรอนไปยังยูเรเนียมนั้นทำให้ได้ธาตุกัมมันตรังสีขึ้นมาหลายธาตุ

ฮาห์นและสตราสมานน์ สามารถตรวจสอบว่าธาตุใหม่คือ แบเรียม-139 มีครึ่งชีวิตเท่ากับ 86 นาที และยังพบว่า ธาตุแลนทานัม-140 ครึ่งชีวิต 40 ชั่วโมงขึ้นด้วย และยังพบว่ายูเรเนียมแตกตัวเป็นสองส่วนได้นิวเคลียสที่มีเลขมวลระหว่าง 90-100 เลขอะตอมประมาณ 35

ไมเนอร์และฟริช อธิบายว่า เป็นปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบฟิชชัน

การยิงนิวตรอนไปยังยูเรเนียมยังทำให้ได้ธาตุที่หนักกว่ายูเรเนียม เช่นธาตุพลูโลเนียม เนปทูเนียม เป็นต้น

นิวเคลียสที่ได้จากฟิชชันของยูเรเนียมเป็นไปได้มากกว่า 40 คู่ มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 30-63 มีเลขมวล 72-158

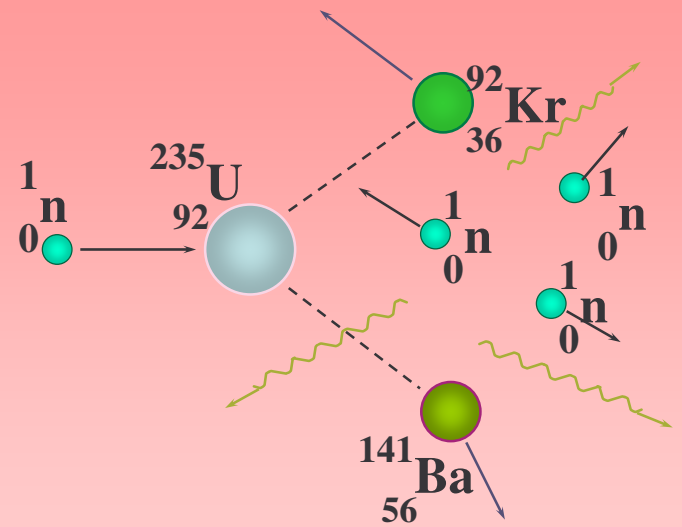
ฟิชชันของยูเรเนียมทุกครั้งที่แตกตัวยังทำให้ได้นิวตรอนพลังงานสูงโดยเฉลี่ยประมาณครั้งละ 2 ถึง 3 ตัว

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 3^{1}_{0}n + E$$

(E หมายถึง พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน)

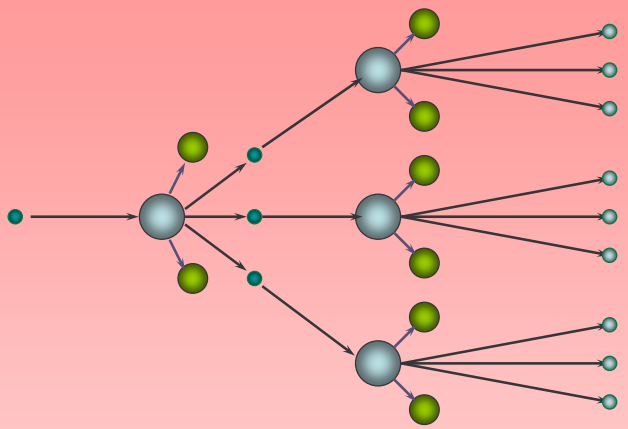
$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{140}_{54}Xe + ^{94}_{38}Sr + 2^{1}_{0}n + \gamma$$

$$+ 200 \quad MeV$$



เมื่อลดพลังงานนิวตรอนที่เกิดจากฟิชชันให้พอเหมาะ คือ ประมาณ 1 eV สำหรับ U-235 หรือ 1 MeV สำหรับ U-238 แล้ววิ่งไปชนนิวเคลียสยูเรเนียมที่อยู่ใกล้ทำให้เกิดฟิชชันต่อไปอีกเรื่อยๆ มีผลให้เกิดการแตกตัวอย่างต่อเนื่อง เรียกว่า ***ปฏิกิริยาลูกโซ่*** **(chain reaction)**

เฟร์มี เป็นคนแรกที่สามารถควบคุมการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ ให้สม่ำเสมอได้ โดยควบคุมจำนวนนิวตรอน ที่จะทำให้เกิดฟิชชัน เครื่องมือที่ใช้ผลิตพลังงานนิวเคลียร์สามารถควบคุมอัตราการเกิดฟิชชันและปฏิกิริยาลูกโซ่ เรียกว่า***เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์***(nuclear reactor)



จำนวนนิวตรอนที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 3^n โดย n คือ จำนวนครั้งที่ชน บางปฏิกิริยาฟิชชันที่ได้นิวตรอน 2 ตัว จะได้จำนวนนิวตรอนเท่ากับ 2^n

ในปฏิกิริยาฟิชชันของยูเรเนียม พบว่า การแตกตัวของยูเรเนียม 1 นิวเคลียส จะมีพลังงานเกิดขึ้นประมาณ 200 MeV

การควบคุมปฏิกิริยาฟิชชันให้เกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่จะต้องลดความเร็วของนิวตรอนที่เกิดจากปฏิกิริยาด้วยตัว *มอเดอเรเตอร์* (moderator) เช่น น้ำ เป็นต้น

ฟิวชัน
Fusion

ฟิวชัน เป็นปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกิดจากการหลอมรวมกันของนิวเคลียสของธาตุเบา 2 ธาตุ เป็นนิวเคลียสของธาตุที่ใหญ่ขึ้น พลังงานยึดเหนี่ยวมีค่าสูงขึ้น และปล่อยพลังงานนิวเคลียร์ออกมา

ไฮโดรเจนเป็นธาตุที่เบาที่สุดจึงเชื่อว่าบนดาวฤกษ์ และดวงอาทิตย์จะมีฟิวชันของไฮโดรเจน ซึ่งพบว่าบนดวงอาทิตย์ประกอบด้วยไฮโดรเจนและฮีเลียมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมวลรวมกันจะเป็น 99% ของมวลดวงอาทิตย์ และไฮโดรเจนมีมวลประมาณ 2 เท่าของฮีเลียม

เนื่องจากดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงมาก ประมาณ 10^7 เคลวิน จึงทำให้ไฮโดรเจนแตกตัวเป็นโปรตอน แล้วหลอมรวมกันได้ฮีเลียมกับอนุภาคที่มีมวลเท่ากับอิเล็กตรอนแต่มีประจุไฟฟ้าเป็น +e เรียกว่า *โพซิตรอน*(β^+) ปฏิกิริยาฟิวชันนี้จะให้พลังงานออกมา **26 MeV**

ปฏิกิริยาฟิวชันบนดวงอาทิตย์

① $${}_1^1H + {}_1^1H \longrightarrow {}_1^2H + {}_1^0e$$

② $${}_1^2H + {}_1^1H \longrightarrow {}_2^3He + \gamma$$

ปฏิกิริยา 1 และ 2 จะเกิดขึ้นสองครั้ง จึงได้ β^+ *และ* ${}_2^3He$ *อย่างละ 2 อนุภาค และ* γ *โดยใช้โปรตอน 6 อนุภาค*

③ $${}_2^3H + {}_2^3H \longrightarrow {}_2^4He + 2{}_1^1H$$

จากปฏิกิริยาฟิวชันทั้งสามขั้นตอนอาจเขียนสรุปสมการเป็น

$$4{}_1^1H \longrightarrow {}_2^4He + 2{}_1^0e + 26\ MeV$$

พลังงาน **26 MeV** เกิดจากมวลที่หายไป จึงทำให้มวลของดวงอาทิตย์ลดลง

ฟิวชันของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการ เช่น การหลอมรวมกันของดิวเทอรอนแล้วได้ฮีเลียม

กรณีที่ ①

$${}_1^2H + {}_1^2H \longrightarrow {}_1^3H + {}_1^1H + 4\ MeV$$

$${}_1^3H + {}_1^2H \longrightarrow {}_2^4He + {}_0^1n + 17.6\ MeV$$

กรณีที่ ②

$$_{1}^{2}H + {}_{1}^{2}H \longrightarrow {}_{2}^{3}He + {}_{0}^{1}n + 3.3\ MeV$$

$$_{2}^{3}He + {}_{1}^{2}H \longrightarrow {}_{2}^{4}He + {}_{1}^{1}H + 18.3\ MeV$$

ปฏิกิริยาทั้งสองมีโอกาสเท่าๆกันโดยใช้ $_{1}^{2}H$ 6 ตัว ได้ $_{2}^{4}He$, $_{1}^{1}H$, $_{0}^{1}n$ และปล่อยพลังงานออกมา 21.6 MeV

กรณีที่ 1 ดิวเทอรอน 2 ตัว ได้ทริตรอน ($_{1}^{3}H$ *คือ นิวเคลียสของธาตุทริเทียม*) ในกรณีที่ 2 ได้ $_{2}^{3}He$ เมื่อดิวเทอรอนวิ่งชน $_{1}^{3}H$ หรือชน $_{2}^{3}He$ จะได้ $_{2}^{4}He$

พลังงานที่ได้จากการที่ดิวเทอรอนรวมเป็นฮีเลียม คือ 21.6 MeV ถ้าคำนวณจากดิวเทอเรียม 1 kg จะให้พลังงานถึง 3.45×10^{14} J

ในน้ำ 1 ลิตร มีดิวเทอเรียม $\frac{1}{32}$ g ซึ่งจะให้พลังงานถึง 7.5×10^{9} J พลังงานนี้เทียบได้กับน้ำมันเชื้อเพลิง 200 ลิตร

ดิวเทอเรียมมีอยู่ประมาณ 10^{17} kg ซึ่งให้พลังงานจากฟิวชัน 10^{32} กิโลวัตต์-ปี และสามารถใช้ได้นานมาก ปัจจุบันนี้สามารถแยกดิวเทอรอนออกมาได้ง่าย มีค่าใช้จ่ายประมาณ 25 สตางค์ต่อน้ำ 1 ลิตร แต่ยังมีปัญหาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตพลังงานจากฟิวชัน

ตัวอย่างปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน

$$^{3}_{2}He + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{7}_{4}Be + \gamma$$

$$^{12}_{6}C + ^{1}_{1}H \longrightarrow ^{13}_{7}N + \gamma$$

$$^{14}_{7}N + ^{1}_{1}H \longrightarrow ^{15}_{8}O + \gamma$$

$$^{15}_{7}N + ^{1}_{1}H \longrightarrow ^{12}_{6}C + ^{4}_{2}He$$

โจทย์ปฏิกิริยานิวเคลียร์

1. จากปฏิกิริยาฟิวชันต่อไปนี้ จะได้พลังงานเท่าไร

$$^{6}_{3}Li + ^{6}_{3}Li \longrightarrow ^{12}_{6}C$$

ให้มวลของ $^{6}_{3}Li = 6.01516\ u$

ให้มวลของ $^{12}_{6}C = 6.01516\ u$

2. จากปฏิกิริยาฟิวชัน

$$4\,^{1}_{1}H \longrightarrow ^{4}_{2}He + 2\,^{0}_{1}e$$

ถ้า มวลของ $^{1}_{1}H = 1.00782\ u$

มวลของ $^{4}_{2}He = 4.00290\ u$

ถ้า มวลของ $^{1}_{1}e = 0.00055\ u$

3. ถ้า $^{13}_{6}C$ เกิดจากการนำนิวตรอน 1 ตัว มารวมกับ $^{12}_{6}C$ จงหาพลังงานยึดเหนี่ยวของนิวตรอน เมื่อ

มวลอะตอม $^{12}_{6}C = 12.000\ u$

มวลอะตอม $^{13}_{6}C = 13.003354\ u$

มวลอะตอม $^{1}_{0}n = 1.0086650\ u$

4. เมื่อนิวเคลียสของ U-235 เกิดฟิชชัน จะให้พลังงาน 200 MeV จงคำนวณหาว่าจะต้องเกิดฟิชชันกี่ครั้ง/วินาทีจึงจะทำให้ได้กำลัง 10 เมกะวัตต์

5. ปฏิกิริยาฟิวชันบนดวงอาทิตย์เปลี่ยนไฮโดรเจนเป็นพลังงานของรังสี ถ้าในแต่ละวินาทีจะมีพลังงานจากดวงอาทิตย์ 3.9×10^{26} j จงคำนวณว่ามวลของดวงอาทิตย์จะลดลงด้วยอัตราเร็วกี่กิโลกรัมต่อวินาที

6. จงหาพลังงานจากปฏิกิริยาฟิวชัน

$$ {}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n $$

เมื่อ มวลของ ${}^{2}_{1}H = 2.01412\ u$

มวลของ ${}^{3}_{1}H = 3.016049\ u$

มวลของ ${}^{3}_{1}He = 3.016049\ u$

มวลของ ${}^{1}_{0}n = 3.016049\ u$