

บทที่ 10

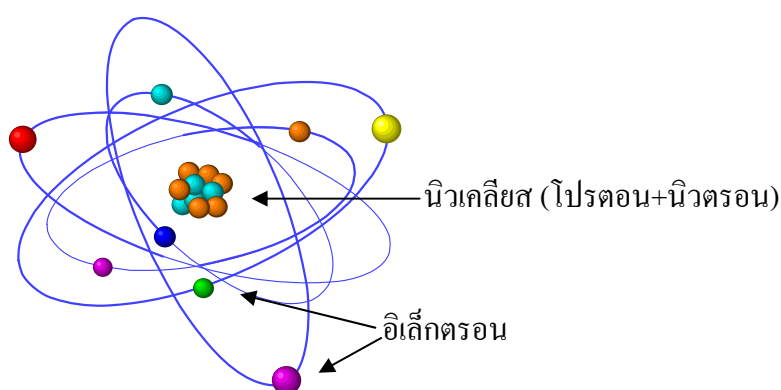
พลังงานนิวเคลียร์

พลังงานนิวเคลียร์เป็นพลังงานสะอาดอีกชนิดหนึ่งที่ทั่วโลกให้ความสนใจนำมาใช้เพื่อประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆมากมาย เช่น การผลิตไฟฟ้า การเกษตร การถนอมรักษาอาหาร การตรวจวินิจฉัยทางการแพทย์ เป็นต้น โดยปกติมนุษย์ทุกคนเกี่ยวข้องกับพลังงานนิวเคลียร์ตลอดเวลาทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น แสงอาทิตย์ที่สาดส่องมายังโลกก็เป็นผลจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นในดวงอาทิตย์หรือในสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบตัวเราก็มีรังสีต่างๆอยู่มากมาย เช่น ในวัสดุจำพวกหิน และแร่ธาตุต่างๆเหล่านี้จะมีรังสีที่ไม่สามารถมองเห็นหรือสัมผัสได้ปะปนอยู่ ซึ่งบางชนิดอาจมีปริมาณน้อยมากจนไม่ส่งผลใดๆต่อร่างกายของเรา แต่บางชนิดก็มีปริมาณรังสีมากพอที่จะเป็นอันตรายได้ พลังงานนิวเคลียร์สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้มากมาย แต่ในขณะเดียวกันก็มักถูกต่อต้านเพราะเกรงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น ปัญหาต่างๆเหล่านี้หากมีการเรียนรู้ให้เข้าใจ และปฏิบัติตามข้อกำหนดที่มีอยู่ก็จะสามารถป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้น และใช้ประโยชน์จากพลังงานนิวเคลียร์ได้อย่างมหาศาล

10.1 อะตอมและโครงสร้างของอะตอม

อะตอม (atom) เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของธาตุทุกชนิดที่มีอยู่ อะตอมจะประกอบด้วยแกนกลางที่มีความหนาแน่นและมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก เรียกว่า นิวเคลียส (nucleus) และบริเวณรอบนอกของนิวเคลียสจะมีอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุเป็นลบเคลื่อนที่อยู่รอบๆ ตลอดเวลา เส้นผ่านศูนย์กลางของอะตอมจะมีขนาดประมาณ 10^{-10} เมตร หรือเรียกว่า 1 อังสตรอม (1^{A}) จำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละอะตอมของแต่ละธาตุจะเท่ากับเลขเชิงอะตอม (atomic number, Z) และมีการจัดเรียงตัวเป็นวงชั้นพลังงาน (shell) โดยชั้นวงในสุดเรียกว่าชั้น K และชั้นถัดออกมาเรียกว่า L, M, N, O และ P ตามลำดับ จำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละชั้นพลังงานจะมีไม่เกิน $2n^2$ เมื่อ n คือ เลขควอนตัม (quantum number) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 สำหรับวง K และมีค่าเป็น 2, 3, 4 และ 5 สำหรับวงถัดออกไปตามลำดับ ลักษณะโครงสร้างของอะตอมดังแสดงในภาพที่ 10.1

ส่วนนิวเคลียสมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10^{-15} เมตร ประกอบด้วยอนุภาคโปรตอนซึ่งเป็นอนุภาคที่มีประจุบวกและอนุภาคนิวตรอนเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุ อนุภาคทั้ง 2 จะมีมวลใกล้เคียงกันและถูกยึดให้อยู่รวมกันเป็นนิวเคลียสด้วยแรงนิวเคลียร์ ซึ่งหากมีการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อพลังงานยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคทั้ง 2 แล้ว จะทำให้เกิดพลังงานส่วนเกินออกมาที่เรียกว่าพลังงานนิวเคลียร์ ซึ่งจะมีค่าพลังงานอยู่ในระดับสูงมากคืออยู่ในช่วงของระดับล้านหรือ เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ (MeV) ในขณะที่ถ้าเปรียบเทียบกับพลังงานแสงซึ่งมีค่าพลังงานในระดับ $1eV$ (สุรพงษ์ พิภพจันทร์. 2539 : 1-2)



ภาพที่ 10.1 แสดงลักษณะโครงสร้างของอะตอม

10.2 นิวเคลียสและชนิดของนิวเคลียส

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า อนุภาคที่อยู่ในนิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอน ซึ่งอนุภาคเหล่านี้ถูกเรียกว่านิวคลีออน (nucleon) ซึ่งอาจหมายถึงโปรตอนหรือนิวตรอนก็ได้ แต่ถ้าเป็นการกล่าวถึงชนิดต่างๆ ของนิวเคลียส จะใช้คำว่านิวไคลด์ (nuclide) ซึ่งเป็นคำทั่วไปที่ใช้เรียกแทนนิวเคลียสของอะตอมของธาตุใดๆ โดยเขียนสัญลักษณ์ของนิวไคลด์ เป็น

$${}^A X_N \text{ หรือ } {}^A X \text{ หรือ } {}_Z X^A \text{ แทนนิวเคลียสของธาตุ } X$$

เมื่อ Z คือเลขเชิงอะตอม (atomic number) หมายถึงจำนวนโปรตอนในนิวเคลียส

A คือเลขมวล (mass number) หมายถึงผลรวมของจำนวนโปรตอนกับจำนวนนิวตรอน

N คือเลขนิวตรอน (neutron number) หมายถึง จำนวนนิวตรอนในนิวเคลียส ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง A, Z และ X ดังนี้

$$A = Z + N \quad Z = A - N \quad N = A - Z$$

ในการจำแนกชนิดหรือประเภทของนิวไคลด์ สามารถจำแนกได้ด้วยกัน 2 วิธี (นวลฉวี รุ่งชนเกียรติ. 2545 : 48-56) คือ

10.2.1 การจำแนกนิวไคลด์ตามเสถียรภาพทางนิวเคลียร์

การจำแนกนิวไคลด์ตามเสถียรภาพทางนิวเคลียร์ (nuclear stability) สามารถจำแนกนิวไคลด์ออกเป็น 2 ประเภท คือ

10.2.1.1 นิวไคลด์เสถียร (stable nuclide) หมายถึง นิวไคลด์ที่มีเสถียรภาพทางนิวเคลียร์ นิวคลีออนจะส่งแรงกระทำซึ่งกันและกันพอดีทำให้เกิดความสมดุล ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือสลายตัว

10.2.1.2 นิวไคลด์กัมมันตรังสี (radioactive nuclide หรือ radionuclide) หมายถึง นิวไคลด์ที่มีจำนวนโปรตอนและนิวตรอนไม่เหมาะสม แรงกระทำระหว่างนิวคลีออนอยู่ในสภาวะไม่สมดุลจึงทำให้นิวไคลด์นั้นพยายามปรับตัวให้เข้าสู่สภาวะสมดุล ด้วยการปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสี

10.2.2 การจำแนกนิวไคลด์โดยอาศัยเลขมวล เลขเชิงอะตอม เลขนิวตรอนและพลังงาน

การจำแนกนิวไคลด์โดยพิจารณาจากเลขมวล เลขเชิงอะตอม เลขนิวตรอนและระดับพลังงานของนิวไคลด์ของธาตุแต่ละชนิด สามารถจำแนกเป็น

10.2.2.1 ไอโซโทป (isotope) หมายถึง นิวไคลด์ที่มีเลขเชิงอะตอมเท่ากัน แต่มีเลขมวลต่างกัน เช่น ไอโซโทปของนิวไคลด์ที่มีเลขเชิงอะตอมเท่ากับ 1 ได้แก่ ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_1\text{H}$

10.2.2.2 ไอโซบาร์ (Isobar) หมายถึง นิวไคลด์ที่มีเลขมวลเท่ากัน แต่มีเลขเชิงอะตอมต่างกัน เช่น ไอโซบาร์ของนิวไคลด์ที่มีเลขมวลเท่ากับ 3 ได้แก่ ${}^3_1\text{H}$, ${}^3_2\text{He}$

10.2.2.3 ไอโซโทน (Isotone) หมายถึง นิวไคลด์ที่มีจำนวนนิวตรอน (n) เท่ากัน แต่มีเลขเชิงอะตอมและเลขมวลต่างกัน เช่น ไอโซโทนของนิวไคลด์ที่มีเลขนิวตรอนเท่ากับ 2 ได้แก่ ${}^3_1\text{H}$, ${}^4_2\text{He}$

10.2.2.4 ไอโซเมอร์ (Isomer) หมายถึง นิวไคลด์ที่มีเลขมวลและเลขเชิงอะตอมเท่ากัน แต่มีระดับพลังงานไม่เท่ากัน เช่น Tc^{99} และ Tc^{99m}

10.2.2.5 ไอโซไดอะเฟียร์ (Isodiaphere) หมายถึง นิวไคลด์ที่มีจำนวนของผลต่างระหว่างเลขนิวตรอนกับเลขเชิงอะตอมเท่ากัน เช่น Si^{30} , P^{32} , S^{34}

10.2.3 คุณสมบัติบางประการของนิวเคลียส

คุณสมบัติบางประการของนิวเคลียสเมื่ออยู่ในสถานะพื้นฐาน (ground state) ที่สำคัญมีดังนี้

10.2.3.1 มวลและพลังงาน เนื่องจากอะตอมมีขนาดเล็กมากดังนั้นน้ำหนักของอะตอมของธาตุต่างๆ จะใช้ในหน่วยที่เรียกว่า หน่วยมวลอะตอม (atomic mass unit, amu) หรืออาจใช้สั้นๆ เป็น u โดยที่ 1u เท่ากับ $1.6605655 \times 10^{-27}$ กิโลกรัม น้ำหนักทั้งหมดของอะตอมส่วนใหญ่จะเป็นน้ำหนักของนิวเคลียส เนื่องจากอิเล็กตรอนที่อยู่รอบนอกนิวเคลียสมีมวลเพียง 1/1831 เท่าของมวลโปรตอนเท่านั้น จากทฤษฎีสัมพัทธภาพของไอน์สไตน์ เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแสงสามารถเปลี่ยนมวล (m) ให้เป็นพลังงาน (E) ได้ จากสูตร

$$E = mc^2 \quad (10.1)$$

เมื่อ c คือ ความเร็วของแสง = 2.9979×10^8 m/s

ดังนั้นมวล 1u เมื่อเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแสงจะเปลี่ยนเป็นพลังงานได้เป็น

$$E = (1.6605655 \times 10^{-27})(2.9979 \times 10^8)^2 \quad J$$

$$= 1.492412 \times 10^{-10} \quad J$$

$$\begin{aligned} \text{หรือ} &= \frac{1.492412 \times 10^{-10}}{1.602189 \times 10^{-19} \times 10^6} \text{ MeV} \\ &= 931.48 \text{ MeV} \end{aligned}$$

นั่นคือมวล 1u สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ 931.48 MeV เมื่อ 1 eV เป็นพลังงานที่ทำให้อิเล็กตรอน 1 ตัว สามารถเคลื่อนที่ผ่านความต่างศักย์ขนาด 1 โวลต์ได้

10.2.3.2 แรงนิวเคลียร์ (nuclear force) เป็นที่น่าสนใจว่าในนิวเคลียสซึ่งประกอบด้วยนิวตรอนซึ่งไม่มีประจุและโปรตอนซึ่งมีประจุบวกรวมอยู่ด้วยกันได้อย่างไร น่าจะเกิดแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างประจุบวกของโปรตอนแต่ละตัวทำให้ไม่น่าจะอยู่รวมกันได้ ซึ่งการที่นิวคลีออนสามารถอยู่รวมกันได้ แสดงว่าต้องมีแรงอีกชนิดหนึ่งที่มีอำนาจมากกว่าแรงผลักของโปรตอนได้ โดยแรงนี้เรียกว่า แรงนิวเคลียร์ ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

- (1) แรงนิวเคลียร์เป็นแรงดึงดูดทำให้นิวคลีออนอยู่รวมกันได้
- (2) เป็นแรงที่เกิดขึ้นในระยะใกล้ๆ เท่านั้น
- (3) เป็นแรงที่ไม่เกี่ยวกับชนิดของประจุ
- (4) เป็นแรงที่มีค่ามากกว่าแรงดึงดูดหรือแรงระหว่างประจุ

10.2.3.3 พลังงานยึดเหนี่ยว (binding energy, B.E.) เป็นพลังงานที่ทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวนิวคลีออนในนิวไคลด์ไว้ด้วยกัน ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร

$$B.E. = [Zm_p + (A - Z)m_n - m] 931.5 \text{ MeV} \quad (10.2)$$

เมื่อ m_p คือ มวลของโปรตอน = 1.007276 u

m_n คือ มวลของนิวตรอน = 1.008665 u

m คือ มวลที่แท้จริงของนิวไคลด์ ในหน่วย u

หรือในกรณีที่ทราบค่าของมวลอะตอมสามารถหาค่าพลังงานยึดเหนี่ยวได้

$$B.E. = [Z(m_p + m_e) + (A - Z)m_n - M] 931.5 \text{ MeV} \quad (10.3)$$

เมื่อ M คือ มวลอะตอม

m_e คือ มวลอิเล็กตรอน = 0.000548 u

โดย $M = m + Zm_e$

10.3 กัมมันตภาพรังสี

กัมมันตภาพรังสี (radioactivity) คือ อัตราการสลายตัวของไอโซโทปของธาตุที่ไม่เสถียร หรือเรียกว่าไอโซโทปกัมมันตรังสี (radioisotope) ซึ่งเกิดจากการที่นิวเคลียสของไอโซโทปเหล่านี้มีจำนวนนิวตรอนและโปรตอนในนิวเคลียสไม่เหมาะสมหรือไม่เสถียร จึงต้องมีการสลายตัวโดยการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของการแผ่รังสี (radiation) เพื่อปรับตัวเองไปสู่สภาวะที่เสถียรกว่า เช่น อนุภาคแอลฟา อนุภาคบีตา อนุภาคโปรตอน อนุภาคนิวตรอน รังสีแกมมา หรือรังสีเอกซ์รูปใดรูปหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งรูปพร้อมๆกัน ซึ่งไอโซโทปกัมมันตรังสีนี้มีแหล่งที่มาอยู่ 2 แหล่งหลักๆ คือ

10.3.1 ไอโซโทปกัมมันตรังสีในธรรมชาติ

ไอโซโทปกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาตินอกจากจะมีรังสีคอสมิกแล้ว ยังมีรังสีที่เกิดจากไอโซโทปกัมมันตรังสีที่มีมาตั้งแต่โลกเกิด เช่น คาร์บอน-14 โพแทสเซียม-40 ซีเรียม-142 แกโดลิเนียม-152 แสฟเนียม-174 ทอเรียม-232 ยูเรเนียม-235 และยูเรเนียม-238 เป็นต้น การสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสีในธรรมชาติ ที่มีการสลายตัวอย่างต่อเนื่องและไปสิ้นสุดที่ไอโซโทปที่เสถียรมีอยู่ด้วยกัน 4 อนุกรมคือ

10.3.1.1 อนุกรมทอเรียม ($4n$ series) เริ่มต้นจากทอเรียม-232 และไปสิ้นสุดที่ตะกั่ว-208

10.3.1.2 อนุกรมยูเรเนียม ($4n + 2$ series) เริ่มต้นจากยูเรเนียม-238 และไปสิ้นสุดที่ตะกั่ว-206

10.3.1.3 อนุกรมแอกทิเนียม ($4n + 3$ series) เริ่มต้นจากยูเรเนียม-235 และไปสิ้นสุดที่ตะกั่ว-207

10.3.1.4 อนุกรมเนปทูเนียม ($4n + 1$ series) เริ่มต้นจากเนปทูเนียม-237 และไปสิ้นสุดที่บิสมัท-209

สำหรับไอโซโทปในอนุกรมเนปทูเนียม เนื่องจากมีค่าครึ่งอายุสั้นมากและได้สลายตัวไปหมดแล้วจึงไม่พบในปัจจุบัน (สุรพงษ์ พิมพ์จันทร์. 2539 : 1-6)

10.3.2 ไอโซโทปกัมมันตรังสีที่มนุษย์ผลิตขึ้น

เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีที่มนุษย์ผลิตขึ้นจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ประเภทต่างๆ เพื่อนำไอโซโทปเหล่านี้ไปใช้เป็นประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ เช่น การใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เพื่อผลิตโคบอลต์-60 เทคนีเชียม-99m อินเดียม-131 ทองคำ-138 เป็นต้น การใช้เครื่องเร่งอนุภาคไซโคลตรอนผลิตคาร์บอน-11 ไนโตรเจน-13 ฟลูออรีน-18 แกลเลียม-67 และไอโอดีน-123 เป็นต้น และการใช้เครื่องเร่งชนิดไอออนหนัก ในการผลิตธาตุที่หนักกว่ายูเรเนียม เป็นต้น

10.4 การสลายตัวและหน่วยวัดกัมมันตภาพรังสี

นิวเคลียสของไอโซโทปกัมมันตรังสีจะมีการสลายตัวให้อนุภาคหรือพลังงานออกมา เพื่อให้ นิวคลีออนที่อยู่ในนิวเคลียสกลับเข้าสู่ภาวะเสถียร การสลายตัวหรือการแผ่รังสีจะเป็นไปตามกฎการสลายตัวและมีปริมาณอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

10.4.1 กฎการสลายตัวของธาตุรังสี

อัตราการสลายตัวของธาตุรังสี จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับจำนวนนิวเคลียสของธาตุรังสีนั้น ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (10.4)$$

หรือ $A = \lambda N \quad (10.5)$

โดยที่ $N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (10.6)$

เมื่อ A คือ อัตราการสลายตัวต่อวินาที (disintegration per second = dps)

N_0 คือ จำนวนนิวเคลียสของธาตุรังสีที่เวลาเริ่มต้น ($t = 0$)

N คือ จำนวนนิวเคลียสของธาตุรังสีที่เหลือเมื่อเวลา t ใดๆ

และ λ คือ เป็นค่าคงที่ของการสลายตัว (decay constant) มีหน่วยเป็นต่อวินาที

10.4.2 ครึ่งชีวิตของการสลายตัว

ค่าครึ่งชีวิต (half-life, $T_{1/2}$) หมายถึง เวลาที่ธาตุรังสีต่างๆ ใช้ในการสลายตัวหรือแผ่รังสีจนเหลือครึ่งหนึ่งของปริมาณเริ่มต้น ค่าครึ่งชีวิตสามารถหาค่าได้จากสูตรต่อไปนี้

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = 0.693\lambda \quad (10.7)$$

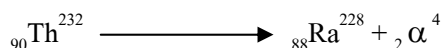
10.4.3 หน่วยวัดกัมมันตภาพรังสี

กัมมันตภาพรังสี หมายถึงอัตราการสลายตัวต่อวินาที (dps) โดยทั่วไปจะใช้หน่วยวัด คือ คูรี (curie, Ci) และเบ็กเกอเรล (Becquerel, Bq) โดย $1 \text{ dps} = 1 \text{ Bq}$ และ $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ dps}$ หรือ $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$

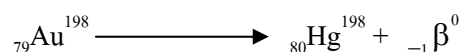
10.4.4 การสลายตัวของธาตุรังสีแบบต่างๆ

เนื่องจากธาตุรังสีหรือไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ไม่เสถียร จะมีการสลายตัวเพื่อปรับตัวให้อยู่ในสภาพที่เสถียรมากขึ้น โดยการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินภายในนิวเคลียสออกมาในรูปอนุภาคหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การสลายตัวของธาตุรังสี มีด้วยกันหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาคหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการปล่อยออกมา ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้ (สุรพงษ์ พิมพ์จันทร์. 2539 : 1-11)

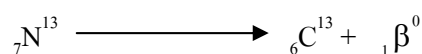
10.4.4.1 การสลายตัวให้อัลฟา (α - emission) อนุภาคแอลฟา คือนิวเคลียสของธาตุฮีเลียม (${}^4_2\text{He}$) มีประจุ +2 เกิดจากการสลายตัวมาจากนิวเคลียสของธาตุนักที่มีโปรตอนมากกว่าปกติ เมื่อสลายตัวแล้วจะได้ธาตุที่มีเลขเชิงอะตอมลดลง 2 และเลขมวลลดลง 4 เช่น



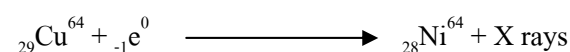
10.4.4.2 การสลายตัวให้บีตาลบ (${}_{-1}\beta^0$ -emission) รัังสีบีตาลบคืออนุภาคที่มีลักษณะเหมือนอิเล็กตรอนซึ่งเกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสที่มีนิวตรอนมากกว่าปกติ นิวตรอนจะเปลี่ยนเป็นโปรตอนพร้อมทั้งให้บีตาลบออกมา เมื่อสลายตัวแล้วจะได้ธาตุที่มีเลขเชิงอะตอมเพิ่มขึ้น 1 และเลขมวลเท่าเดิม เช่น



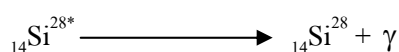
10.4.4.3 การสลายตัวให้บีตาบวก (${}_{+1}\beta^0$ -emission) รัังสีบีตาบวกหรือโพซิตรอนคืออนุภาคที่มีลักษณะเหมือนอิเล็กตรอนแต่มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสที่มีโปรตอนมากกว่าปกติ เมื่อสลายตัวแล้วจะได้ธาตุที่มีเลขเชิงอะตอมลดลง 1 และเลขมวลเท่าเดิม โพซิตรอนที่เกิดขึ้นจะมีสถานะไม่อยู่ตัว โดยจะมีการรวมตัวกับอิเล็กตรอนกลายเป็นรัังสีแกมมา 2 ตัว มีพลังงานเท่ากับ 0.511 MeV เท่ากัน รัังในทิศตรงข้ามกัน เรียกว่ากระบวนการนี้ว่า การประลัย (annihilation) เช่น



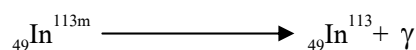
10.4.4.4 การสลายตัวแบบจับขั้วอิเล็กตรอนชั้นเค (electron capture) นิวไคลด์ที่มีโปรตอนมากกว่าปกติแต่มีพลังงานจลน์ไม่สูง จะสลายตัวแบบจับอิเล็กตรอนในชั้นเคเข้ามาในนิวเคลียสเพื่อทำให้อยู่ตัว จึงทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนระหว่างวงโคจรต่างๆ ซึ่งทำให้เกิดรัังสีเอกซ์ขึ้น เมื่อสลายตัวแล้วจะได้ธาตุที่มีเลขเชิงอะตอมลดลง 1 และเลขมวลเท่าเดิม เช่น



10.4.4.5 การสลายตัวให้รัังสีแกมมา (γ -emission) การสลายตัวของนิวไคลด์ที่อยู่ในสถานะตื่นตัว (excited state) ในช่วงไมโครวินาที และพยายามปรับลงสู่สถานะเสถียร โดยการสลายตัวให้รัังสีแกมมาซึ่งไม่มีทั้งมวลและประจุ



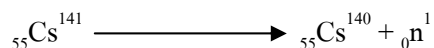
10.4.4.6 การสลายตัวแบบไอโซเมอร์ (isomeric transition) เป็นการสลายตัวของนิวไคลด์ที่อยู่ในสถานะกึ่งเสถียร (metastable state) คือ มีค่าครึ่งชีวิตตั้งแต่วันที่ไปจนถึงหลายๆ ปี พยายามปรับลงสู่สถานะเสถียร โดยสลายตัวให้รังสีแกมมา



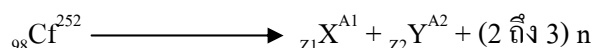
10.4.4.7 การสลายตัวแบบอินเทอร์นัลคอนเวอร์ชัน (internal conversion) เป็นการสลายตัวให้รังสีเอกซ์ออกมา เนื่องจากนิวไคลด์ที่สลายตัวแบบให้รังสีแกมมาที่มีพลังงานต่ำๆ ไปชนอิเล็กตรอนหลุดออกไป ทำให้เกิดรังสีเอกซ์ออกมาด้วย เช่น



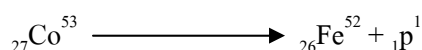
10.4.4.8 การสลายตัวให้นิวตรอน (n-emission) นิวไคลด์ของธาตุหนักที่มีจำนวนนิวตรอนมากกว่าปกติ จะมีการสลายตัวให้รังสีนิวตรอนออกมา เช่น



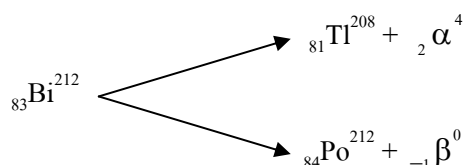
นอกจากนี้นิวไคลด์ของธาตุหนักบางชนิด สามารถเกิดการแตกตัวแบบฟิชชันด้วยตัวเอง (spontaneous fission) เช่น



10.4.4.9 การสลายตัวให้โปรตอน (p-emission) เป็นการสลายตัวของนิวไคลด์ ที่มีโปรตอนมากกว่าปกติ เช่น



10.4.4.10 การสลายตัวแบบให้รังสีหลายชนิดพร้อมกัน (many modes of decay)
นิวไคลด์บางชนิดสลายตัวให้รังสีมากกว่า 1 ชนิด เช่น

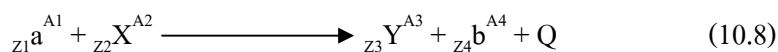


10.5 ปฏิกิริยานิวเคลียร์

ปฏิกิริยานิวเคลียร์ (nuclear reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในนิวเคลียส เกิดขึ้นเมื่อมีอนุภาควิ่งเข้าไปชนกับอะตอมเป้าแล้วทำให้เกิดนิวเคลียสกระดอน (recoil nuclei) และมีอนุภาคซึ่งอาจจะเป็นตัวเดิมหรือตัวใหม่หลุดออกมา (ejected particle) อนุภาควิ่งเข้าชนถ้าเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุจะสามารถวิ่งเข้าไปชนนิวเคลียสได้โดยง่าย แต่ถ้าเป็นอนุภาคชนิดมีประจุถูกต้องด้านด้วยแรงคูลอมบ์ในระยะ 10^{-15} เมตร ซึ่งเป็นบริเวณในเขตเส้นผ่านศูนย์กลางของนิวเคลียส ที่เรียกว่ากำแพงศักย์ (potential barrier) เฉพาะอนุภาคที่มีพลังงานสูงกว่ากำแพงศักย์นี้เท่านั้น จึงจะสามารถผ่านเข้าไปทำอันตรกิริยาได้

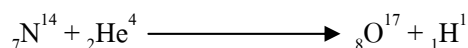
10.5.1 สมการของปฏิกิริยานิวเคลียร์

สมมติให้อนุภาค ${}_Z\text{a}^{A1}$ วิ่งเข้าชนนิวเคลียสของธาตุเป้า ${}_Z\text{X}^{A2}$ และเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นนิวเคลียส ${}_Z\text{Y}^{A3}$ และอนุภาค ${}_Z\text{b}^{A4}$ พร้อมกับพลังงาน (Q-value) ออกมา สมการทั่วไปของปฏิกิริยานิวเคลียร์สามารถเขียนได้ดังนี้



หรือสามารถเขียนแบบสั้นๆ เป็น X (a,b) Y เรียกว่า ปฏิกิริยา (a,b)

เช่น จากสมการ $\text{N}^{14}(\alpha, p)\text{O}^{17}$ สามารถเขียนสมการนิวเคลียร์ได้เป็น



และเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยา (α, p)

ค่าพลังงานจากสมการ (10.8) เป็นค่าพลังงานที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยา โดยหาค่าได้จากผลต่างระหว่างพลังงานจลน์ของอนุภาคก่อนและหลังปฏิกิริยา หรือหาค่าได้จากส่วนพร่องมวล (mass defect, Δm) ซึ่งหมายถึงมวลที่หายไปหลังจากนิวคลีออนรวมตัวกันเป็นนิวเคลียส ถ้าค่าพลังงานเป็นบวกแสดงว่าปฏิกิริยานั้นให้พลังงานออกมา เรียกว่าเป็นปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบคายความร้อน (exothermic nuclear reaction) และถ้าค่าพลังงานเป็นลบ แสดงว่าต้องให้พลังงานเข้าไป จึงจะเกิดปฏิกิริยานั้นและเรียกว่าปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบดูดความร้อน (endothermic nuclear reaction) นอกจากนี้ในการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์จะเป็นไปตามหลักการ ดังนี้

10.5.1.1 ผลรวมของจำนวนนิวคลีออน ก่อนและหลังเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์จะเป็นไปตามหลักการคงตัวของนิวคลีออน (conservation of nucleon) หรือเขียนได้ว่า

$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4 \quad (10.8)$$

10.5.1.2 ผลรวมของจำนวนประจุ ก่อนและหลังเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์จะเป็นไปตามหลักการคงตัวของประจุ (conservation of charges) หรือเขียนได้ว่า

$$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4 \quad (10.9)$$

10.5.1.3 ผลรวมของพลังงานก่อนและหลังปฏิกิริยานิวเคลียร์จะเท่ากัน ซึ่ง
เป็นไปตามหลักการคงตัวของพลังงาน (conservation of energy)

$$\Sigma E_{\text{int}} = \Sigma E_{\text{fi}} \quad (10.10)$$

10.5.1.4 ผลรวมของโมเมนตัมก่อนและหลังปฏิกิริยานิวเคลียร์จะเท่ากัน ซึ่ง
เป็นไปตามหลักการคงตัวของโมเมนตัม (conservation of momentum)

$$\Sigma P_{\text{int}} = \Sigma P_{\text{fi}} \quad (10.11)$$

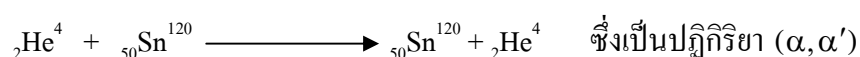
10.5.2 ประเภทของปฏิกิริยานิวเคลียร์

การเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการเช่น ชนิดของอนุภาคที่วิ่งเข้าไปชน ชนิดของธาตุเป้า ลักษณะการชน เป็นต้น ดังนั้นโดยทั่วไปจึงมีการแบ่งประเภทของปฏิกิริยานิวเคลียร์ออกเป็น 6 ชนิด (สุรพงษ์ พิมพ์จันทร์. 2539 : 1-10) คือ

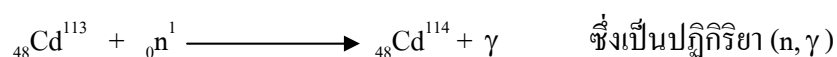
10.5.2.1 ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการกระเจิงแบบยืดหยุ่น (elastic scattering) เมื่ออนุภาคที่มีขนาดใกล้เคียงกันเกิดการชนกัน เช่น โปตรอนกับนิวตรอน ซึ่งจะไม่มีการเหนี่ยวนำให้นิวเคลียสที่ถูกชนเกิดสถานะตื่นตัว แต่อนุภาคมีการแลกเปลี่ยนพลังงานจลน์ซึ่งกันและกัน เช่น การทำให้พลังงานนิวตรอนลดลงเมื่อชนสารที่ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจน เขียนเป็นสมการได้เป็น



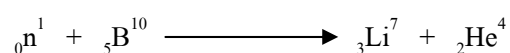
10.5.2.2 ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic scattering) เมื่ออนุภาคที่มีขนาดต่างกันเกิดการชนกัน พลังงานจลน์ของอนุภาคจะทำให้นิวเคลียสที่ถูกชนเกิดสถานะตื่นตัว และจะพยายามปรับตัวเข้าสู่สถานะเสถียร โดยการสลายตัวให้รังสีแกมมาออกมา เช่น การใช้อนุภาคแอลฟาชนกับธาตุดีบุก ซึ่งเขียนเป็นสมการได้เป็น



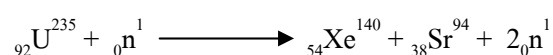
10.5.2.3 ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการจับอนุภาคแล้วให้รังสี (radioactive capture) อนุภาคที่วิ่งเข้าชนนิวเคลียสเป้าจะถูกจับโดยนิวเคลียสแล้วทำให้เข้าสู่สถานะตื่นตัว และต่อมาจึงมีการสลายตัวให้รังสีแกมมาเพื่อลดระดับพลังงานเข้าสู่สถานะเสถียร เช่น การจับนิวตรอนแล้วเกิดรังสีแกมมานับพลัน (prompt gamma rays)



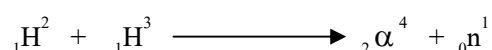
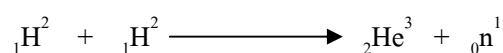
10.5.2.4 ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการจับอนุภาคแล้วปล่อยอนุภาค (capture with particle ejection) เป็นปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นเป็นส่วนใหญ่ เมื่อนิวเคลียสจับอนุภาคแล้วจะปล่อยอนุภาคอีกตัวหนึ่งออกมา ทำให้นิวเคลียสอยู่ในสภาวะตื่นตัวและสลายตัวให้รังสีต่างๆ ออกมาเพื่อกลับเข้าสู่สภาวะเสถียร เช่น ปฏิกิริยานิวตรอนแอลฟา (n, α), นิวตรอนโปรตอน (n, p), นิวตรอนดิวเทรียม (n, d), แอลฟาโปรตอน (α, p), แอลฟานิวตรอน (α, n) เป็นต้น เช่น



10.5.2.5 ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการแตกตัวแบบฟิชชัน (fission) หรือเรียกสั้นๆ ว่า ปฏิกิริยาแบบฟิชชัน ปฏิกิริยาแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อนิวเคลียสของธาตุหนักบางชนิด เมื่อถูกยิงด้วยนิวตรอนหรืออนุภาคบางชนิด จะทำให้นิวเคลียสที่ถูกยิงแตกออกเป็นสองส่วนซึ่งเรียกว่าผลผลิตฟิชชัน (fission product หรือ fission fragment) พร้อมกับมีการปล่อยอนุภาคต่างๆ ออกมา เช่น



10.5.2.6 ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการรวมตัวของนิวเคลียสของธาตุเบา (fusion) หรือเรียกสั้นๆ ว่าปฏิกิริยาแบบฟิวชัน เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการรวมตัวของนิวเคลียสธาตุเบา เช่น นิวเคลียสของไฮโดรเจน



10.6 ความหมายและประเภทของพลังงานนิวเคลียร์

พลังงานนิวเคลียร์หรือพลังงานปรมาณู เป็นพลังงานที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ ซึ่งพระราชบัญญัติพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2508 ได้ให้ความหมายของพลังงานนิวเคลียร์ว่า พลังงานไม่ว่าลักษณะใดที่เกิดจากการปลดปล่อยออกมา เมื่อมีการแยกหรือแปลงนิวเคลียสของปรมาณู หรือพลังงานรังสีเอกซ์ ซึ่งในทางวิชาการหมายถึง พลังงานไม่ว่าลักษณะใดซึ่งเกิดจากนิวเคลียสของอะตอม (วราวุธ ขจรฤทธิ์ และ สมพร จงคำ. 2542 : 42) พลังงานนิวเคลียร์ที่สำคัญสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

10.6.1 พลังงานนิวเคลียร์แบบฟิชชัน

พลังงานนิวเคลียร์แบบฟิชชัน เป็นพลังงานซึ่งเกิดจากการแตกตัวของนิวเคลียสของธาตุหนัก เช่น ยูเรเนียม พลูโทเนียม เมื่อถูกยิงด้วยอนุภาคนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ทำให้เกิดการแตกตัวหรือแยกตัวของนิวเคลียสออกเป็นสองส่วนซึ่งมีเลขมวลใกล้เคียงกัน รวมทั้งมีอนุภาคอื่นๆ หลุดออกมาด้วย เช่น นิวตรอน เป็นต้น ซึ่งพลังงานนิวเคลียร์แบบฟิชชันที่สำคัญมีอยู่ 2 แบบ คือ

10.6.1.1 พลังงานนิวเคลียร์จากการแตกตัวแบบฟิชชันด้วยตัวเอง ซึ่งเกิดจากไอโซโทปของธาตุหนักที่มีเลขเชิงอะตอมตั้งแต่ 90 หรือธาตุที่เริ่มขึ้นไป เนื่องจากธาตุเหล่านี้มีจำนวนนิวตรอนในนิวเคลียสมากกว่า 140 ตัว ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างนิวคลีออนลดลง เป็นเหตุให้เกิดการแตกตัวได้เอง เช่น ทอเรียม-233 ยูเรเนียม-235 ยูเรเนียม-238 พลูโทเนียม-236 พลูโทเนียม-239 แคลิฟอร์เนียม-252 เป็นต้น

10.6.1.2 พลังงานนิวเคลียร์จากการแตกตัวแบบฟิชชันซึ่งเกิดจากการถูกชนด้วยอนุภาคนิวตรอน (neutron induced fission) โดยเมื่อมีการยิงนิวเคลียสของธาตุหนัก เช่น ทอเรียม-233 ยูเรเนียม-235 พลูโทเนียม-239 เป็นต้น ด้วยอนุภาคนิวตรอน ทำให้ธาตุเป้าหมายเกิดการแตกตัวออกเป็นสองส่วน เช่น ใช้นิวตรอนยิงธาตุยูเรเนียม-235 สามารถแสดงด้วยปฏิกิริยานิวเคลียร์ได้ดังนี้



จากสมการนิวเคลียร์นี้ จะเห็นว่าเมื่อนิวเคลียสของธาตุยูเรเนียมถูกยิงด้วยอนุภาคนิวตรอน จะเกิดเป็นนิวเคลียสใหม่ที่แตกออกมาเป็นสองส่วนคือ นิวเคลียสของแบเรียม-138 กับคริปทอน-95 พร้อมกับได้นิวตรอนใหม่อีก 3 ตัว ซึ่งนิวตรอนที่ได้นี้สามารถนำไปทำปฏิกิริยาต่อไปในลักษณะที่ต่อเนื่องที่เรียกว่า ปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) ได้

10.6.2 พลังงานนิวเคลียร์แบบฟิวชัน

พลังงานนิวเคลียร์แบบฟิวชัน เป็นพลังงานที่เกิดจากการรวมตัวของนิวเคลียสของธาตุเบาหรือเป็นพลังงานที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน ซึ่งเป็นการรวมตัวหรือหลอมตัวเข้าด้วยกันของนิวเคลียสธาตุเบา ภายใต้ความกดดันและอุณหภูมิสูงมากๆ อาจทำให้มีอุณหภูมิสูงถึงร้อยล้านองศา จึงเรียกปฏิกิริยาแบบนี้ว่าปฏิกิริยานิวเคลียร์ความร้อน (thermonuclear fusion) โดยที่

อะตอมหรืออนุภาคใดๆ ที่อยู่ภายในอุณหภูมิสูงระดับนี้จะอยู่ในสภาพที่เรียกว่าพลาสมา (plasma) ซึ่งเป็นสถานะที่ 4 นอกเหนือจากการเป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนที่อยู่ใจกลางดวงอาทิตย์ จะถูกกดดันให้มีความหนาแน่นสูงถึง 10 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร พลังงานนิวเคลียร์แบบฟิวชันที่ให้ออกมาจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของตัวกลาง ความสามารถในการทำปฏิกิริยานิวเคลียร์ และอุณหภูมิ

10.6.3 พลังงานนิวเคลียร์ที่ได้จากเครื่องเร่งอนุภาค

เครื่องเร่งอนุภาคเป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น เพื่อจุดประสงค์ในการใช้เร่งอนุภาคที่มีประจุ ให้มีพลังงานจลน์ที่สูงพอที่จะนำไปใช้ในการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ โดยปกติอนุภาคที่ถูกเร่งได้แก่ อิเล็กตรอนหรืออนุภาคที่มีประจุบวกน้ำหนักเบา เช่น โปรตอน ดิวเทรอน แอลฟา เป็นต้น หรือในบางครั้งก็สามารถใช้กับอนุภาคที่มีประจุหนักมากได้เหมือนกัน เช่น คาร์บอน พลังงานจลน์ของอนุภาคที่ถูกเร่งนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องเร่งอนุภาค โดยเครื่องเร่งอนุภาคบางชนิดมีความสามารถเร่งให้อนุภาคมีพลังงานได้ถึงระดับเมกะอิเล็กตรอน โวลต์ (MeV) จนถึงระดับจิกะอิเล็กตรอน โวลต์ (GeV)

10.6.4 พลังงานนิวเคลียร์ที่เกิดจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี

พลังงานนิวเคลียร์ชนิดนี้ เป็นพลังงานที่ได้จากการสลายตัวของธาตุรังสีที่มีอยู่ในแหล่งธรรมชาติบนโลก ธาตุรังสีเหล่านี้จะให้รังสีชนิดต่างๆ ออกมา เช่น แอลฟา บีตา แกมมา และนิวตรอน เป็นต้น ซึ่งเป็นรังสีที่มีค่าพลังงานที่แน่นอน

10.7 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (nuclear reactor) เป็นแหล่งกำเนิดหลักที่สำคัญของการเกิดปฏิกิริยาแบบฟิวชัน เพื่อนำเอาพลังงานที่เกิดจากปฏิกิริยาไปใช้ประโยชน์ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์มีหลายประเภทแต่มีองค์ประกอบที่สำคัญคล้ายกันดังนี้ (นวลฉวี รุ่งชนเกียรติ. 2545 : 249-255)

10.7.1 องค์ประกอบของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์

องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ประเภทต่างๆ มีดังนี้

10.7.1.1 แกนเครื่องปฏิกรณ์ (reactor core) ประกอบด้วยแท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ ซึ่งมักทำอยู่ในรูปของออกไซด์ของธาตุหนักจำพวก ทอเรียม ยูเรเนียม พลูโทเนียม เป็นต้น ซึ่งมีข้อดีคือมีสภาพนำความร้อน (thermal conductivity) ต่ำ การนำเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใส่ในแกนเครื่องปฏิกรณ์จะต้องมีวัสดุห่อหุ้ม เพื่อทำหน้าที่แยกแท่งเชื้อเพลิงออกจากสิ่งแวดล้อมซึ่งป้องกันไม่ให้เกิดผลผลิตจากปฏิกิริยาฟิชชันกระจายออกไป ป้องกันโครงสร้างของแท่งเชื้อเพลิงและช่วยในการถ่ายเทความร้อน โดยทั่วไปเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์จะทำงานที่อุณหภูมิสูง จึงต้องทำเชื้อเพลิงให้เป็นเม็ดหรือเป็นรูปทรงกระบอกสั้นๆ เพื่อป้องกันการแตกร้าวที่อุณหภูมิสูง และจะบรรจุในวัสดุห่อหุ้มที่ทำเป็นแท่งยาว เรียกว่า แท่งเชื้อเพลิง (fuel rod) วัสดุห่อหุ้มโดยทั่วไปทำมาจาก โลหะผสมของเซอร์โคเนียมกับนิกเกิล โครเมียม เหล็ก และดีบุก เป็นต้น

10.7.1.2 ตัวทำให้เย็น (coolant) ทำหน้าที่ถ่ายเทพลังงานความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาฟิชชันเพื่อเปลี่ยนให้ไปอยู่ในรูปที่จะนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุด และไม่ทำให้เชื้อเพลิงหลอมเหลว ตัวทำให้เย็นควรมีคุณสมบัติคือมีสภาพนำความร้อนสูง ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ง่าย เป็นต้น โดยตัวทำให้เย็นนี้อาจอยู่ในรูปของก๊าซหรือของเหลวก็ได้ ตัวทำให้เย็นที่เป็นก๊าซได้แก่ ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ฮีเลียม ส่วนที่เป็นของเหลว ได้แก่ โซเดียมเหลว เป็นต้น

10.7.1.3 มอดเรเตอร์ (moderator) ทำหน้าที่เป็นสารหน่วงนิวตรอนเพื่อลดพลังงานของนิวตรอนที่เกิดจากปฏิกิริยาฟิชชัน ซึ่งเป็นนิวตรอนที่มีความเร็วทำให้ช้าลงเพื่อให้มีโอกาสเกิดปฏิกิริยามากขึ้น โดยจะลดความเร็วของนิวตรอนลงให้เทียบเท่ากับโมเลกุลของก๊าซที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน โดยทั่วไปสารหน่วงนิวตรอนควรมีคุณสมบัติคือ มีความคงตัวสูง ไม่เปลี่ยนแปลงทางเคมีง่าย มีมวลน้อยใกล้เคียงกับนิวตรอนเพื่อรับการถ่ายเทพลังงานจากการชนของนิวตรอน เป็นของแข็งหรือของเหลวที่มีความหนาแน่นมากกว่าก๊าซ เป็นต้น

10.7.1.4 แท่งควบคุม (control rod) ทำหน้าที่ควบคุมนิวตรอนให้เกิดปฏิกิริยาฟิชชันมากหรือน้อยตามต้องการ วัสดุที่ใช้มักเป็นพวกสารประกอบ เช่น โบรอนคาร์ไบด์ หรือโลหะเช่น แคดเมียม หรือไอโอดีน เป็นต้น

10.7.1.5 ตัวสะท้อน (reflector) ทำหน้าที่สะท้อนนิวตรอนที่กระจายออกไป ให้กลับมาที่แกนเครื่องปฏิกรณ์เพื่อทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงต่อไป เป็นการลดการสูญเสียนิวตรอน วัสดุนิยมใช้เป็นสารสะท้อนนิวตรอนคือ เบริลเลียม และคาร์บอน เป็นต้น

10.7.1.6 เครื่องกำบังรังสี (shielding) ทำหน้าที่กำบังรังสีต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาฟิชชัน วัสดุที่ใช้ทำเครื่องกำบังรังสีต้องเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง เช่น ตะกั่ว คอนกรีต เหล็ก เป็นต้น

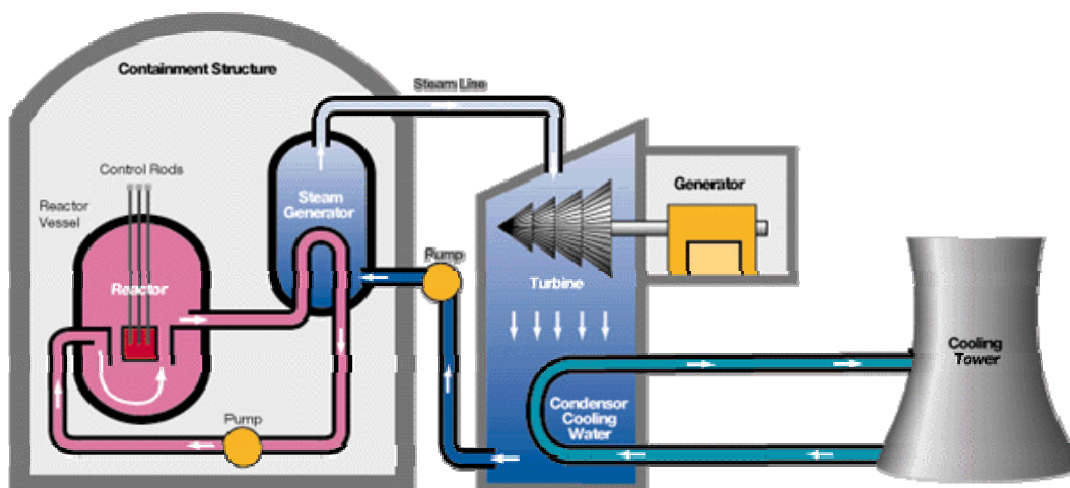
10.7.2 ประเภทของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์

การจำแนกเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ สามารถจำแนกได้หลายวิธี เช่น การจำแนกตามวัตถุประสงค์การใช้งาน การจำแนกตามสถานะของเชื้อเพลิงและมอดูเรเตอร์ การจำแนกตามชนิดของตัวทำให้เย็น การจำแนกตามประเภทของนิวตรอนที่ทำให้เกิดฟิชชัน เป็นต้น ในที่นี้จะถือเอาการจำแนกประเภทของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ตามวัตถุประสงค์การใช้งานเป็นหลัก สามารถจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

10.7.2.1 เครื่องปฏิกรณ์วิจัย (research reactor) เป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่ออกแบบเพื่อใช้เป็นแหล่งผลิตนิวตรอน หรือรังสีต่างๆ เพื่อใช้ในงานวิจัยในสาขาต่างๆ ทั้งระดับพื้นฐานและประยุกต์ เช่น สาขาฟิสิกส์ ชีววิทยาและเคมี ซึ่งอาจเรียกเครื่องปฏิกรณ์นี้ว่า เครื่องปฏิกรณ์การทดลอง (experiment reactor) เครื่องปฏิกรณ์การศึกษา (educational reactor) เครื่องปฏิกรณ์อับรังสี (irradiating reactor)

10.7.2.2 เครื่องปฏิกรณ์กำลัง (power reaction) เป็นปฏิกรณ์ที่ถูกออกแบบเพื่อใช้ในการผลิตนิวเคลียร์ถ่านหินเครื่องปฏิกรณ์ประเภทนี้ให้พลังงานความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาฟิชชันซึ่งสามารถนำไปเผาเชื้อเพลิง เช่น ไฮโดรเจน มีเทน หรือแอมโมเนีย เพื่อเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานในการขับเคลื่อนจรวดที่ต้องการส่งออกไปนอกโลก หรือเอาความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นไปต้มน้ำให้กลายเป็นไอน้ำเพื่อขับเคลื่อนกังหันใบพัดของเรือเดินสมุทร เรือดำน้ำ หรือเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเรียกกันว่า โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ (nuclear power plant, NPP) โดยในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะเรื่องของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เพราะมีความใกล้ชิดกับความยั่งยืนของมนุษย์มากที่สุด จากการรายงานของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency, IAEA) เมื่อวันที่ 28 เมษายน พ.ศ. 2546 พบว่ามีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์อยู่ทั่วโลกจำนวน 437 โรงใน 33 ประเทศ มีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวมประมาณ 358 จิกะวัตต์ และอยู่ระหว่างการดำเนินการก่อสร้างอีก 33 โรง ใน 12 ประเทศ ซึ่งประเทศที่มีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มากที่สุดในโลกคือสหรัฐอเมริกา มีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์จำนวน 104 โรง รองลงมาคือฝรั่งเศสและญี่ปุ่นมีประเทศ ละ 59 และ 54 โรงตามลำดับ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่นิยมใช้กันอยู่มีด้วยกัน 3 แบบคือ

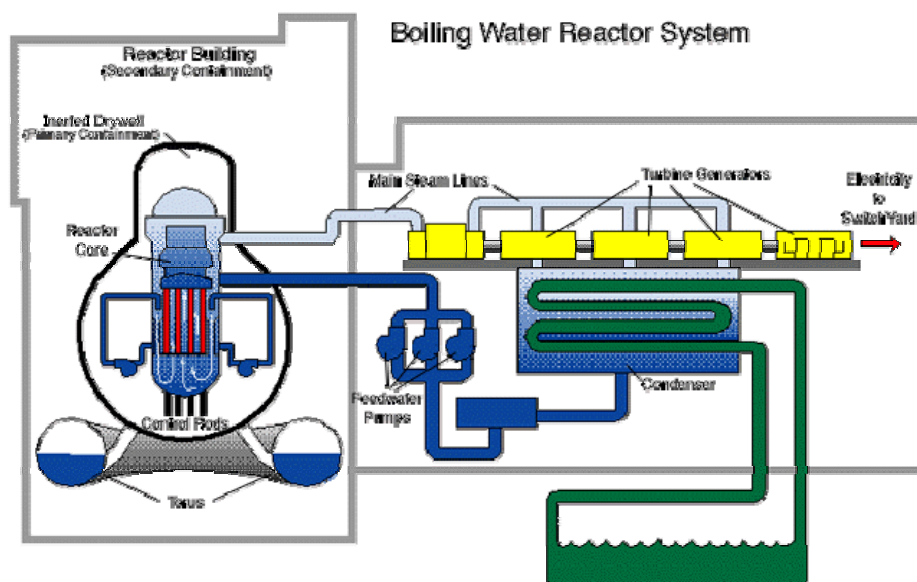
(1) โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำความดันสูง (pressurized water reactor, PWR) จะใช้ความร้อนที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์มาต้มน้ำที่อยู่ภายในถังขนาดใหญ่ซึ่งมีการอัดความดันไว้เพื่อไม่ให้น้ำเดือดกลายเป็นไอ โดยนำน้ำส่วนนี้ไปถ่ายเทความร้อนให้แก่ น้ำที่อยู่ในเครื่องผลิตไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำออกมา ไอน้ำที่เกิดขึ้นจะไปขับให้กังหันไอน้ำเกิดการหมุนซึ่งทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ สาเหตุที่ไม่นำเอา น้ำจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ไปใช้ขับกังหันโดยตรงเป็นเพราะเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันซึ่งอาจมีสารรังสีเจือปนอยู่แพร่กระจายไปยังอุปกรณ์ส่วนอื่นๆตลอดจนเพื่อป้องกันการรั่วของสารกัมมันตรังสีสู่สิ่งแวดล้อม การทำงานของโรงไฟฟ้าแบบนี้จะค่อนข้างซับซ้อนในการเดินเครื่องโรงไฟฟ้า ลักษณะและผังการทำงานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำความดันสูง ดังแสดงในภาพที่ 10.2



ภาพที่ 10.2 แสดงผังการทำงานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบความดันสูง
ที่มา (The Virtual Nuclear Tourist. 2004. On-line)

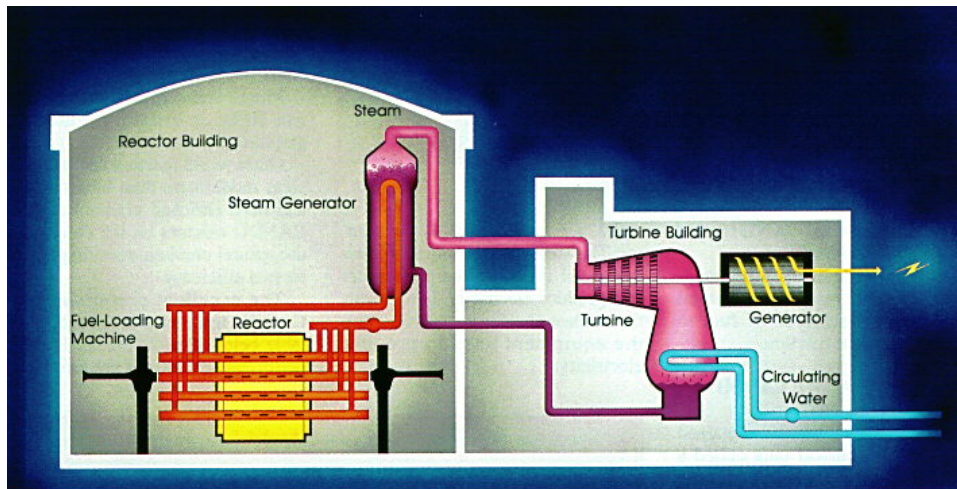
(2) โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำเดือด (boiling water reactor, BWR) จะใช้ความร้อนจากปฏิกิริยานิวเคลียร์มาต้มน้ำที่อยู่ในถัง ซึ่งจะได้อิอน้ำไปขับกังหันให้หมุนเพื่อผลิตไฟฟ้า ความดันภายในถังจะถูกควบคุมไว้ที่ประมาณ 7 เมกะพาสคัล ซึ่งต่ำกว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำความดันสูงทำให้สามารถลดอุปกรณ์บางส่วนลงไปได้ เช่น ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน ป้อนเครื่องผลิตไอน้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตามโรงไฟฟ้าแบบนี้ต้องมีระบบสิ่งก่อสร้างที่สามารถป้องกัน

รังสีได้เป็นอย่างดีเพราะไอน้ำที่นำมาใช้นั้นอาจมีการปนเปื้อนรังสี ลักษณะและผังการทำงานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำเดือดดันสูง ดังแสดงในภาพที่ 10.3



ภาพที่ 10.3 แสดงผังการทำงานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำเดือด
ที่มา (The Virtual Nuclear Tourist. 2004 . On-line)

(3) โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำมวลหนัก (canadian deuterium uranium reactor, CANDU) หรือเรียกว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบแคนดู ลักษณะการทำงานจะคล้ายกับโรงไฟฟ้าแบบน้ำความดันสูง ส่วนที่แตกต่างคือถังที่ใช้ในการต้มน้ำถูกเปลี่ยนจากถังขนาดใหญ่เป็นการต้มน้ำภายในท่อขนาดเล็กซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำมวลหนัก (D_2O) มาเป็นตัวระบายความร้อนจากแกนเครื่องปฏิกรณ์ และยังใช้เป็นตัวหน่วงความเร็วนิวตรอนด้วย เนื่องจากมีคุณสมบัติในการดูดกลืนนิวตรอนน้อยกว่าน้ำธรรมดา ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตามแกนของปฏิกรณ์ชนิดนี้จะมีขนาดใหญ่และซับซ้อนกว่า 2 แบบแรก เนื่องจากต้องมีการตรวจวัดหลายจุด และต้องใช้ระบบควบคุมปฏิกิริยาหลายอย่างเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงการเกิดปฏิกิริยาในแกนเครื่องปฏิกรณ์ นอกจากนี้มักมีปัญหาการโค้งงอของท่อบรรจุเชื้อเพลิงเมื่อใช้งานไปนานๆ (สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ. 2547. ออนไลน์) ลักษณะและผังการทำงานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำมวลหนัก ดังแสดงในภาพที่ 10.4



ภาพที่ 10.4 แสดงผังการทำงานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำมวลหนัก
ที่มา (The Virtual Nuclear Tourist. 2004 . On-line)

10.8 ประเทศไทยกับการใช้พลังงานพลังงานนิวเคลียร์

การนำเอาพลังงานนิวเคลียร์มาใช้ประโยชน์ในประเทศไทยนั้น ถือว่ายังน้อยมากเมื่อเทียบกับประเทศที่พัฒนาแล้ว ทั้งๆ ที่มีการเริ่มนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มาแล้วไม่น้อยกว่า 40 ปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของการนำมาใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าซึ่งในปัจจุบันนี้ไม่มีเลยแม้แต่โรงเดียว แต่ก็มิใช่ปัญหาใหญ่สำหรับประเทศไทยในสภาวะปัจจุบัน เพราะยังมีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานอื่นๆ อีกมากมาย ทั้งที่เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ซากดึกดำบรรพ์เป็นเชื้อเพลิง และแหล่งพลังงานหมุนเวียนหรือพลังงานทดแทน ซึ่งรัฐบาลพยายามส่งเสริมและสนับสนุน อย่างไรก็ตามเมื่อมองถึงอนาคตเมื่อประเทศมีความเจริญเติบโตมากขึ้น ความจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจะมากขึ้นเรื่อยๆ การใช้พลังงานนิวเคลียร์เพื่อผลิตไฟฟ้าจะมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพราะเป็นแหล่งที่ให้พลังงานได้อย่างมหาศาล เช่น การใช้ยูเรเนียม 235 เพียง 1.23 กรัม สำหรับเป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาฟิชชันในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ จะได้พลังงานออกมาถึง 1 เมกะวัตต์ต่อวัน (นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ. 2545 : 242) ซึ่งถือว่ามียอัตรการเปลี่ยนเป็นพลังงานที่สูงมากเมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานอื่นๆ ดังนั้นหากคิดถึงความจำเป็นในการใช้ไฟฟ้าในอนาคตแล้ว สิ่งที่ต้องคำนึงคือการเตรียมความพร้อมทั้งทางด้านกำลังคน ความพร้อมทางด้านเศรษฐกิจ ความพร้อมทางด้านแหล่งเชื้อเพลิง และความพร้อมในการป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นทั้งเรื่องของสิ่งแวดล้อม การรั่วไหลของกัมมันตภาพรังสี การกำจัดกากนิวเคลียร์ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งที่จะต้องมีการเตรียมความพร้อมส่วนปัญหาทางด้านเทคโนโลยีของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มิใช่ปัญหาใหญ่ เพราะในต่างประเทศได้มี

การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเหล่านี้ให้มีความปลอดภัยและทันสมัยอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้ยังมีสิ่งที่สำคัญที่สุดคือ การสร้างความเข้าใจให้กับประชาชนเพื่อลดกระแสการต่อต้าน และสร้างความเชื่อมั่นหากต้องมีการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เพื่อผลิตไฟฟ้า (ชัยวัฒน์ คุประตกุล. 2545 : 279-281) ในประเทศไทยการใช้พลังงานจากนิวเคลียร์สามารถจำแนกลักษณะการใช้และสถานที่ใช้งานดังนี้

ตารางที่ 10.1 แสดงชนิดต้นกำเนิด สถานที่ใช้ และการใช้พลังงานนิวเคลียร์ที่มีอยู่ในประเทศไทย

ชนิดต้นกำเนิด	สถานที่ใช้งาน	การใช้ประโยชน์
1. ปฏิกริยาฟิชชัน 1.1 ฟิชชันไอโซโทป แคลิฟอร์เนียม 232 1.2 เครื่องปฏิกรณ์วิจัย	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ บริษัทขุดเจาะน้ำมัน สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ	การวิจัยโดยใช้นิวตรอน การสำรวจก๊าซธรรมชาติ การวิจัยโดยใช้นิวตรอน การผลิตไอโซโทป กัมมันตรังสี
2. ปฏิกริยาฟิวชัน 2.1 เครื่องกำเนิดนิวตรอน	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	การวิเคราะห์ธาตุ การวิจัยโดยใช้นิวตรอน
3. เครื่องเร่งอนุภาค 3.1 เครื่องเอกซเรย์ 3.2 เครื่องเร่งอนุภาค 3.3 เครื่องซินโครตรอน	คลินิกและโรงพยาบาล สถาบันและโรงงานอุตสาหกรรม โรงพยาบาล สถาบันอัญมณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	การถ่ายภาพอวัยวะ การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก การรักษามะเร็ง เนื้อเยื่อ การเปลี่ยนสีอัญมณี อุตสาหกรรม Lithography, Micromachining
4. ไอโซโทปกัมมันตรังสี	สถาบันของรัฐและเอกชน มากกว่า 100 แห่ง	ทางอุตสาหกรรม 80 แห่ง ทางการแพทย์ 30 แห่ง ทางการเกษตร 5 แห่ง ทางการศึกษาวิจัย 10 แห่ง

ที่มา (วารสาร ขจรฤทธิ์ และ สมพร จงคำ. 2542 : 59)

10.9 ผลกระทบจากการใช้พลังงานนิวเคลียร์

พลังงานนิวเคลียร์มีประโยชน์มากมายและเป็นแหล่งที่ให้พลังงานสูงมาก ดังนั้นการนำเอาพลังงานจากนิวเคลียร์มาใช้ประโยชน์ก็ย่อมมีผลกระทบเกิดขึ้นทั้งในแง่ดีและไม่ดี ซึ่งสามารถจำแนกข้อดีและข้อเสียได้ดังนี้

10.9.1 ข้อดีของการใช้พลังงานนิวเคลียร์

10.9.1.1 สามารถใช้ประโยชน์ได้ในวงกว้าง เช่น ในทางการแพทย์เพื่อการรักษาโรคมะเร็ง การตรวจและวินิจฉัยโรค การทำให้ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ปลอดเชื้อ ใช้ในทางอุตสาหกรรม เช่น การฉายรังสีอาหารเพื่อกำจัดเชื้อจุลินทรีย์บางชนิด ใช้ในทางการเกษตร เช่น การฉายรังสีผลิตผลทางการเกษตรเพื่อปรับปรุงคุณภาพ ยับยั้งการงอก ชะลอการสุก ชะลอการบาน กำจัดแมลง ใช้เป็นแหล่งพลังงานในการผลิตไฟฟ้าหรือโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เป็นต้น

10.9.1.2 พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์เป็นพลังงานสะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ แต่ต้องมีการควบคุมการแผ่กระจายของรังสีหรือมีการกำจัดสารปนเปื้อนต่างๆ เป็นอย่างดี

10.9.1.3 เป็นแหล่งพลังงานที่ให้ค่าพลังงานต่อหน่วยน้ำหนักเชื้อเพลิงสูงมาก และตัวเชื้อเพลิงมีอายุการใช้งานได้นานนับปี

10.9.1.4 ในกรณีที่แหล่งผลิตไฟฟ้าจะทำให้ระบบการผลิตไฟฟ้ามีความมั่นคงสูง เพราะเป็นระบบที่มีขนาดใหญ่ และสามารถเดินเครื่องได้รวดเร็ว

10.9.2 ข้อเสียของการใช้พลังงานนิวเคลียร์

10.9.2.1 หากเกิดการรั่วไหลของรังสีต่างๆจะควบคุมได้ยาก และมีระดับของความอันตรายสูง

10.9.2.2 เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่มีให้พลังงานสูง หากเกิดอุบัติเหตุจะสร้างความเสียหายได้อย่างมากมายมหาศาล

10.9.2.3 ในการลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ต้องใช้ทุนสูง และต้องมีการเตรียมความพร้อมหลายๆ ด้านเป็นอย่างดี

10.9.2.4 สารกัมมันตรังสีที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ส่วนใหญ่จะมีค่าครึ่งชีวิตยาวนานนับร้อยนับพันปี ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องของการจัดการกากกัมมันตรังสี

10.9.2.5 ปัญหาในเรื่องการยอมรับของสาธารณชน ซึ่งจะต้องใช้เวลาในการสร้างความเข้าใจ เพื่อให้มีการยอมรับ

10.10 บทสรุป

พลังงานนิวเคลียร์เป็นพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นภายในนิวเคลียสที่ไม่เสถียร ซึ่งอาจเกิดจากนิวเคลียสที่ไม่เสถียรโดยธรรมชาติหรือนิวเคลียสที่ถูกทำให้ไม่เสถียร โดยการให้อนุภาคอื่นวิ่งเข้าไปชน ไม่ว่าจะป็นกรณีใดก็ตามการปรับตัวเพื่อกลับเข้าสู่ภาวะเสถียรของนิวเคลียสเหล่านี้จะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมา ทั้งในรูปของการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ หรือในรูปของพลังงานจลน์ของอนุภาคที่มีประจุ เช่น อนุภาคแอลฟา หรือ บีตา เป็นต้น การนำเอาพลังงานนิวเคลียร์มาใช้ประโยชน์นั้น สามารถใช้ได้อย่างกว้างขวางทั้งทางด้านการแพทย์ ทางอุตสาหกรรม การเกษตร การศึกษาวิจัย นอกจากนี้ยังใช้เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าที่เรียกว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ซึ่งจะเป็นแหล่งผลิตพลังงานที่สำคัญในโลกอนาคต ซึ่งประเทศไทยเองต้องตระหนักถึงความจำเป็นที่จะต้องใช้โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในอนาคต และควรมีการเตรียมความพร้อมทั้งด้านบุคลากร เทคโนโลยี แหล่งเชื้อเพลิง และงบประมาณต่างๆ เพื่อรองรับความต้องการใช้พลังงานในวันข้างหน้า

10.11 คำถามทบทวน

1. จงอธิบายถึงลักษณะของโครงสร้างของอะตอม
2. จงอธิบายถึงการจำแนกนิวไคลด์ตามเสถียรภาพทางนิวเคลียร์
3. จงอธิบายและบอกคุณสมบัติของแรงนิวเคลียร์
4. จงบอกความหมายของค่าพลังงานยึดเหนี่ยว
5. จงอธิบายถึงแหล่งที่มาของไอโซโทปกัมมันตรังสี
6. จงให้ความหมายของคำว่ากัมมันตภาพรังสี
7. จงบอกความหมายของคำว่าครึ่งชีวิตของสารรังสี
8. จงให้ความหมายและอธิบายพลังงานนิวเคลียร์มาพอสังเขป
9. จงบอกถึงประเภทและหลักการทำงานพื้นฐานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์
10. จงอธิบายถึงข้อดีและข้อเสียในการใช้ประโยชน์จากพลังงานนิวเคลียร์

เอกสารอ้างอิง

- ชัยวัฒน์ คูประตกุล. (2545). **วิทยาศาสตร์กับมนุษย์**. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : สารคดี.
- นวลฉวี รุ่งชนเกียรติ. (2545). **วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วราวุธ ขจรฤทธิ์ และ สมพร จงก้า. (2542). **พลังงานนิวเคลียร์และการใช้ประโยชน์**. กรุงเทพฯ : สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ. (2547). **เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:
<http://www.oaep.go.th>.
- สุรพงษ์ พิมพ์จันทร์. (2539). **การป้องกันอันตรายจากรังสี**. กรุงเทพฯ : สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- The Virtual Nuclear Tourist. (2004). **Nuclear Plants Around the World**. [On-line]. Available:
<http://www.nucleartourist.com>.