แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 1

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับนิวเคลียร์

หัวข้อเนื้อหาประจำบท

ความเป็นมาสำคัญ คำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง สัญลักษณ์ทางนิวเคลียร์ของธาตุ แบบจำลองนิวเคลียส แผนภูมินิวไคลด์

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เพื่อให้ผู้ศึกษาสามารถ

1. อธิบายความหมายและความเป็นมาสำคัญได้
2. อธิบายและยกตัวอย่างคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องได้
3. วิเคราะห์ส่วนประกอบของนิวเคลียสได้
4. เขียนแผนภูมินิวไคลด์และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของนิวเคลียสได้

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. บรรยาย และตอบปัญหาซักถามประเด็นข้อสงสัย
2. ศึกษาจากเอกสารประกอบการสอนและวิดีทัศน์
3. สรุปและทบทวนเนื้อหาเพิ่มเติมเมื่อจบบทที่ 1
4. ศึกษาแหล่งเรียนรู้เพิ่มเติมด้วยตนเอง

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอน
2. วีดีทัศน์
3. สไลด์ประกอบการสอน
4. คำถามท้ายบท

การวัดผลและการประเมินผล

1. สังเกตจากพฤติกรรมการมีส่วนร่วมในห้องเรียน
2. ประเมินผลจากแบบทดสอบก่อนและหลังเรียน
3. ประเมินจากการนำเสนอรายงาน

บทที่ 1

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับนิวเคลียร์

ฟิสิกส์นิวเคลียร์เป็นการศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ของนิวเคลียสและกระบวนการเปลี่ยนแปลงภายในนิวคลีออน ซึ่งพื้นฐานภายในนิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอน นับเป็นเรื่องที่น่าสนใจสำหรับข้อเท็จจริงที่ว่านิวเคลียสที่มีขนาดใหญ่เกิดจากการรวมตัวกันภายในนิวคลีออน อันเนื่องมาจากเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันภายในอะตอมของอนุภาคเหล่านั้น ซึ่งก่อให้เกิดการนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย

ความเป็นมาของฟิสิกส์นิวเคลียร์

ในปี ค.ศ. 1896 เป็นจุดเริ่มต้นของฟิสิกส์นิวเคลียร์ ซึ่งถูกค้นพบโดยเบคเคลเรล (Becquerel) จากการแผ่สารกัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) ซึ่งเขาได้ทำการทดลองเอาแผ่นฟิล์มติดไว้กับกระดาษสีดำและอีกด้านหนึ่งโรยสารประกอบยูเรเนียมแล้วทิ้งไว้ เมื่อนำแผ่นฟิล์มมาล้าง พบภาพเงาที่ปรากฏรอยดำ แสดงว่า มีสารตามธรรมชาติปล่อยรังสีออกมา หลังจากนั้น ปี ค.ศ. 1898 ปิแอร์และมารี คูรี (Pierre and Marie Curie) ประสบความสำเร็จในการแยกธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติของธาตุเรเดียมออกจากแร่พิทช์เบลนด์ และพบว่าการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติของธาตุดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี นอกจากนี้ เมื่อนำธาตุดังกล่าวเข้าใกล้บริเวณสนามแม่เหล็กยังสามารถแยกธาตุกัมมันตรังสีได้ 3 ชนิด ได้แก่ อนุภาคอัลฟา บีตา และแกมมา นอกจากนี้เหตุการณ์ที่สำคัญในการค้นพบอะตอมและรังสีดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 สรุปเหตุการณ์ที่สำคัญของการค้นพบอะตอมและรังสี

ปี ค.ศ	เหตุการณ์สำคัญ
1810	จอห์น ดาลตัน (John Dalton) ได้รวบรวมเรื่องเกี่ยวกับอะตอมและตั้งเป็นทฤษฎีขึ้นเรียกว่า ทฤษฎีอะตอมของ ดอลตัน (Dalton's atomic theory)
1859	Rodert Bunsen และ Gustav Kirrchoff สร้างเครื่องสเปกโตรสโคปีต้นแบบ
1869	ดิมิทรี เมนเดเลเยฟ (Dmitri Mendeleev) คิดค้นระบบตารางธาตุ
1873	แมกซ์แวลล์ (James Clerk Maxwell) เสนอทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์
1888	กำเนิดคลื่นคลื่นวิทยุ (Hertz) และตัวรับคลื่นวิทยุ
1895	ทฤษฎีลอเรนท์ซของอิเล็กตรอน (Lorentz theory of the electron)
1895	วิลเฮล์ม คอนราด เรินต์เกน (Wilhelm Conrad Rontgen) ค้นพบรังสีเอ็กซ์
1886	อองตวน อองรี เบคเคอเรล (Antoine Henri Becquerel) ค้นพบกัมมันตภาพรังสี
1897	เซอร์โจเซฟ จอห์น ทอมสัน (J.James Thomson) คำนวณหาอัตราส่วนประจุต่อมวลของอิเล็กตรอน (e/m)
1898	มารี คูรี (Marie Curies) พบธาตุใหม่คือพอโลเนียมและเรเดียมที่แยกมาจากแร่พิตซ์เบลนด์
1899	เออเนสต์ รัทเทอร์ฟอดร์ด (Ernest Rutherfort) ค้นพบรังสี 2 ชนิด คือ อัลฟา (alpha) และ บีตา (beta) ที่ปลดปล่อยจากยูเรเนียม
1900	พอล วิลลาร์ด (Paul villard) ค้นพบ รังสีแกมมาที่ปลดปล่อยมาจากเรเดียม
1900	ทอมสันเสนอโมเดลของอะตอมที่เรียกว่า Thomson's plum pudding model of the atom
1900	ค้นพบค่าคงที่แพลงค์ (Plack's constant, h) โดย $h = 6.63x10^{-34}$ จูล-วินาที
1901	รางวัลโนเบลชิ้นแรกในสาขาฟิสิกส์มอบให้แก่ วิลเฮล์ม คอนราด เรินต์ (wilhelm Conrad rontgen)
1902	มารี คูรี สกัดเรเดียมคลอไรด์ $RaCl_2$ บริสุทธิ์ได้ 0.1 กรัม จากแร่พิทตซ์เบลนด์ (Conrad rontgen) หลายตัน
1905	อัลเบิร์ต ไอสไตน์ (Albert Einstein) คิดค้นทฤษฎีสัมพันธภาพของไอสไตน์ $\left(E = mc^2\right)$

ปี ค.ศ	เหตุการณ์สำคัญ
1905	อัลเบิร์ต ไอสไตน์ อธิบายการเกิดผลการเกิดโฟโตอิเล็กทริค (Photoelectric effect) และพลังงานของโฟตอน $\left(E = mc^2\right)$
1909	เบิร์ต มิลลิแกน (Robert Millikan) พบประจุของอิเล็กตรอน $e = 1.60x10^{-19}$ คูลอมบ์ การทดลองเรื่องหยดน้ำมัน (Millkan's oil drop experiment)
1910	เฟรเดอริก ซอดดี (Frederick Soddy) ค้นพบไอโซโทปของธาตุต่าง ๆ
1911	รัทเธอร์ฟอร์ดค้นพบนิวเคลียสของอะตอม และตีพิมพ์บทความทฤษฎีโครงสร้างของอะตอม ซึ่งรู้จักกันในชื่อของอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด (Rutherfordatom) โดยตั้งชื่อแก่นประจุบวกของอะตอมนี้ว่า นิวเคลียส (nucleus)
1911	ชาลส์ ทอมสัน รีส์ วิลสัน (Charles'Thomson Reen Wilson) ประดิษฐ์ห้องหมาก (cloud chamber) ที่ใช้ตรวจวัดรังสีไอออน (ionizing radiation) ได้สำเร็จ
1912	แมกซ์ วฟอน ลัว (max von Laue) ค้นพบคุณสมบัติของรังสีเอ็กซ์
1912	วิกเตอร์ ฟรานซิส เฮสส์ (Victor Francis Hess) ค้นพบรังสีคอสมิก
1913	นิลส์ โบร์ (Niels Bohr) ตั้งสมมติทฤษฎีไฮโดรเจนอะตอนของโบร์ (Bohr's theory of the ll atom)
1913	วิลเลียม เดวิด คูลิดจ (William David Coolidge) ประดิษฐ์หลอดรังสีเอกซ์ที่เรียกว่า Coolidge X-ray tude
1914	ฟรังก์ (james Franck) และ เฮิรตซ์ (Gustav Ludwig Hertz) ได้ทดลองให้เห็นว่าอะตอมมีการการแบ่งระดับของพลังงาน
1917	รัทเธอร์ฟอร์ด ประดิษฐ์เครื่อง Artificial nuclear transformation เครื่องแรก
1922	ออร์เทอร์ ฮอลลี คอมป์ตัน (Arthur holly Compton) ค้นพบผลของคอมป์ตัน (Compton Effect)
1924	หลุยส์ เดอบรอยล์ (louise de broglie) อธิบายอนุภาคมีพฤติกรรมคล้ายคลื่นด้วยสมการ de Broglie, $\lambda = h/p$ เมื่อ λ คือความยาวคลื่น p คือโมเมนตัน และ h คือค่าคงตัวของแพลงค์
1925	กูดสมิท (S.A Goudsmit) และอะเล็นเบ็ค (G.E. Uhlendeck) อธิบายเกี่ยวกับอิเล็กตรอนสปิน (Electron spin)
1925	โวล์ฟกัง เอิร์สต์ เพาลี (Wolfgang Ernst Pauli) คิดค้นหลักการกีดกันเพาลี The Pauli exclusion principle ซึ่งเป็นหลักการทางกลศาสตร์ควอมตัม
1925	เวิร์นเนอร์ ไฮเซนเบิร์ก (Werner heisenderg) เสนอบทความครั้งแรกเกี่ยวกับกลศาสตร์ควอมตัม (quantum mechanics)

ปี ค.ศ	เหตุการณ์สำคัญ
1926	ชโรดิงเจร์ (Erwin Schrodinger) เสนอสมการกลศาสตร์คลื่นชโรดิงเจอร์ (Schrodinger's wave mechanics) ;
1927	เวิร์นเนอร์ ไฮเซนเบิกร์กอธิบายหลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเซนเบิร์ก (Heisenderg uncertaty principle)
1927	เฮอร์แมนน์ โจเซฟ มุลเลอร์ (Hermann Joseph Mueller) ค้นพบว่ารังสีก่อให้ก่อการกลายพันธุ์กรรม
1927	พอล เอเดรียน มอริซ ดิแรก (Paul adrien Maurice Dirac) เสนอทฤษฎีพลศาสตร์ไฟฟ้าเชิงควอมตัม (Quantum electrodynamics) เกี่ยวกับทฤษฎีควอมตัมของการปลดปล่อยและการดูดซับรังสี
1928	พอล เอเดรียน มอริซ มอริซ ดิแรก เสนอสมการคลื่นความสัมพันธของอิเล็กตรอน
1930	Hans Bethe เสนอทฤษฎี Bethe quantum-mechanical stopping-power theory
1930	เออร์เนสต์ ออร์แลนโดว ลอร์เรนซ์ (Ernest Orlando Lawrence) ประดิษฐ์เครื่องไซโคลตรอน
1932	คาร์ล ดี. แอนเดอร์สัน (Carl D. Anderson) ค้นพบโพซิตรอน
1932	เจมส์ แชดวิก (James Chadwick) ค้นพบนิวตรอน
1934	จูเลียต และ คูรี ผลิตไอโซโทปรังสีชนิดต่างๆ
1935	ฮีเดะกิ ยุกะวะ (Hideki Yukawa) ทำนายการมีอยู่ของอนุภาคมีซอน (moesons) และแรงนิวเคลียร์แบบสั้น (short-range nuclear force)
1936	หลุยส์ แฮโรลด์เกรย์ (l.H. Gray) และ (Bragg-Gray) เสนอสูตรหลักการแควิตีเกิดไอออนของแบรกก์-เกรย์ (Bragg – Gray principle)
1937	การค้นพบอนุภาคมีซอน (Mesons) ในรังสี คอสมิก
1938	Otto Hahn และ Fritz Strassmann พบปฏิกิริยาแตกตัวทางนิวเคลียร์
1942	ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain reaction) ทางนิวเครียร์ครั้งแรกที่สร้างขึ้นโดยมนุษย์ภายใต้การดำเนินการของ เอ็นริโก เฟอร์มี (Enrico farmi) ที่มหาวิทยาลัยชิคาโก
1945	การทิ้งระเบิดนิวเคลียร์ครั้งแรกแรก ที่ฮิโรชิมาและนางาซากิ ประเทศญี่ปุ่น
1952	การทดลองระเบิดไฮโดรเจนครั้งแรก (Fusion: hydrogen bomb)

ที่มา: (สุพิชชา จันทรโยธา, 2559, น. 3)

นิยามศัพท์ทางนิวเคลียร์

นิวคลีออน (nucleon) หมายถึง อนุภาคที่อยู่ภายในนิวเคลียส (ไม่ระบุว่าเป็นโปรตอนหรือนิวตรอน)

นิวไคลด์ (nuclide) หมายถึง นิวเคลียสของอะตอมใดๆ ที่ระบุเลขเชิงอะตอมและเลขมวล สัญลักษณ์นิวไคลด์ คือ ${}^{A}_{z}X$

นิวคลีไอ (nuclei) หมายถึง นิวเคลียสหลาย ๆ นิวเคลียส (มากกว่า 1 นิวเคลียส)

ไอโซโทป (Isotope) หมายถึง นิวไคลด์ของธาตุชนิดเดียวกัน มีเลขเชิงอะตอม Z เท่ากัน แต่มีเลขมวล A ไม่เท่ากัน

ไอโซโทน (Isotone) หมายถึง นิวไคลด์ของธาตุต่างชนิดกัน แต่มีจำนวนนิวตรอนเท่ากัน ไอโซบาร์ (Isobar) หมายถึง นิวไคลด์ที่มีจำนวนนิวคลีออนเท่ากัน หรือเลขเชิงมวลเท่ากัน

ไอโซเมอร์ (Isomer) หมายถึง นิวไคลด์ชนิดเดียวกัน เลขเชิงอะตอมเท่ากัน แต่มีระดับพลังงาน (energy state) ของนิวเคลียสต่างกัน

ไอโซไดอะเฟียร์ (Isodiaphere) หมายถึง นิวไคลด์ที่มีจำนวนนิวตรอนมากกว่าโปรตอนเป็นจำนวนเท่ากัน

ธาตุกัมมันตรังสี หมายถึง ธาตุที่แผ่รังสีได้ เนื่องจากนิวเคลียสของอะตอมไม่เสถียร เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมสูงกว่า 82

กัมมันตภาพรังสี หมายถึง ปรากฏการณ์ที่ธาตุแผ่รังสีได้เองอย่างต่อเนื่อง รังสีที่ได้จากการสลายตัว มี 3 ชนิด คือ รังสีแอลฟา รังสีบีตา และรังสีแกมมา

สัญลักษณ์ทางนิวเคลียร์ของธาตุ

ปัจจุบันมีธาตุที่ถูกค้นพบแล้วทั้งหมด 117 ธาตุ ที่สามารถนำมาจัดเรียงลำดับในตารางพิริออดิกได้ตั้งแต่หมายเลข 1 ถึง 116 และหมายเลข 118 โดยธาตุ 90 ธาตุแรกเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ นอกนั้นเป็นธาตุที่เกิดจากการสังเคราะห์โดยปฏิกิริยานิวเคลียร์ ธาตุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติที่พบมากบน ผิวโลก (รวมทั้งในมหาสมุทรและบรรยากาศ) มี 10 ธาตุ คิดเป็นปริมาณ 99% โดยน้ำหนักของธาตุทั้งหมดในธรรมชาติ ส่วนธาตุในร่างกายมนุษย์จะประกอบด้วยธาตุหลัก 3 ชนิด คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ซึ่งคิดเป็น 93% โดยน้ำหนักของธาตุทั้งหมดในร่างกายมนุษย์ ธาตุที่พบมากบนผิวโลกและในร่างกายมนุษย์แสดงในตาราง 1.2

ตารางที่ 1.2 ธาตุที่พบมากบนผิวโลกและในร่างกายมนุษย์

ธาตุบนผิวโลก				ธาตุในร่างกายมนุษย์	
ธาตุ	**% โดยน้ำหนัก**	**ธาตุ**	**% โดยน้ำหนัก**	**ธาตุ**	**% โดยน้ำหนัก**
ออกซิเจน	49.1	แมกนีเซียม	1.9	ออกซิเจน	64.6
ซิลิคอน	26.1	ไฮโดรเจน	0.88	คาร์บอน	18.0
อะลูมิเนียม	7.5	ไทเทเนียม	0.58	ไฮโดรเจน	10.0
เหล็ก	4.7	คลอรีน	0.19	ไนโตรเจน	3.1
แคลเซียม	3.4	คาร์บอน	0.09	แคลเซียม	1.9
โซเดียม	2.6	กำมะถัน	0.06	ฟอสฟอรัส	1.1
โพแทสเซียม	2.4	ธาตุอื่น ๆ	0.50	คลอรีน	0.4
				ธาตุอื่น ๆ	0.9

ที่มา: (รานี สุวรรณพฤกษ์, 2556, น. 8)

การเรียกชื่อธาตุนั้นสามารถเขียนเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงเกี่ยวกับอนุภาคมูลฐานของอะตอมตามหลักสากล (IUPAC) โดยเขียนเลขอะตอมไว้มุมล่างซ้าย และเลขมวลไว้มุมบนซ้ายของสัญลักษณ์ของธาตุดังนี้

$$ {}^{A}_{Z}X \qquad (1.1) $$

โดย

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

เมื่อ

X คือ สัญลักษณ์ธาตุ

Z คือ เลขเชิงอะตอม แสดงจำนวนอนุภาคโปรตอนภายในนิวเคลียส

A คือ เลขมวล แสดงจำนวนรวมของอนุภาคโปรตอนกับอนุภาคนิวตรอนในนิวเคลียสหรือเลขแสดงจำนวนนิวคลีออน

N คือ เลขนิวตรอน แสดงจำนวนอนุภาคนิวตรอนภายในนิวเคลียส

ตัวอย่างเช่น $^{137}_{55}Cs$ คือ นิวไคลด์ของธาตุซีเซียม ประกอบด้วยจำนวนโปรตอน (Z) 55 อนุภาค จำนวนนิวตรอน (N) 82 อนุภาค และจำนวนนิวคลีออน (A) 137 อนุภาค ในการเขียนสัญลักษณ์นิวไคลด์อาจเขียนในรูปย่อเป็น ^{137}Cs เรียกว่า ซีเซียม -137 โดยละเว้นการเขียนค่า Z กำกับได้ เนื่องจากเมื่อบ่งบอกว่าเป็นซีเซียม หมายความว่าค่า Z = 55 เพราะเลขเชิงอะตอมเป็นค่าที่บ่งบอกชนิดของอะตอมด้วย

ตารางที่ 1.3 สมบัติของอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบของอะตอม

อนุภาค	สัญลักษณ์	ประจุ	มวลนิ่ง		
			น้ำหนัก (kg)	มวลอะตอม (amu)	พลังงาน (MeV)
โปรตอน	p	+1	1.6726×10^{-27}	1.007277	938.218
นิวตรอน	n	0	1.6749×10^{-27}	1.008665	939.573
อิเล็กตรอน	e	-1	9.1095×10^{-31}	0.000548	0.511

ที่มา: (Si-Hwan KIM et al, 2012, p. 25)

ตัวอย่างที่ 1.1 จงบอกรายละเอียดของนิวไคล์ที่กำหนดต่อไปนี้ ${}^{17}_{8}O$, ${}^{14}_{7}N$, ${}^{35}_{17}Cl^{-}$

<u>ตอบ</u>

${}^{17}_{8}O$	มีเลขเชิงมวล (A)	= 17
	เลขเชิงอะตอม (Z) p = e	= 8
	เลขนิวตรอน (N)	= 17 - 8 = 9
	จำนวนนิวคลีออน	= 17
${}^{14}_{7}N$	มีเลขเชิงมวล (A)	= 14
	เลขเชิงอะตอม (Z) p = e	= 7
	เลขนิวตรอน (N)	= 14 - 7 = 7
	จำนวนนิวคลีออน	= 14
${}^{35}_{17}Cl^{-}$	มีเลขเชิงมวล (A)	= 35
	เลขเชิงอะตอม (Z) p	= 17
	จำนวนอิเล็กตรอน	= 8
	เลขนิวตรอน (N)	= 35 - 17 = 18
	จำนวนนิวคลีออน	= 35

นิวไคลด์ของธาตุบางธาตุอาจจำแนกได้โดยพิจารณาจากเลขเชิงมวล เลขเชิงอะตอม เลขนิวตรอนและระดับพลังงาน ดังนี้

ไอโซโทป (Isotope) หมายถึง นิวไคลด์ที่เลขเชิงอะตอมเท่ากัน แต่มีเลขเชิงมวลต่างกัน แสดงว่านิวไคลด์ที่เป็นไอโซโทปจะมีจำนวนของอนุภาคโปรตอนเท่ากัน แต่จำนวนนิวตรอนต่างกัน ไอโซโทปที่ไม่สลายตัวเรียกว่า ไอโซโทปเสถียร (Stable isotope) ส่วนไอโซโทปที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยการสลายตัวให้รังสีออกมานั้น เรียกว่า ไอโซโทปกัมมันตรังสีหรือไอโซโทปปรังสี ธาตุแต่ละธาตุมีจำนวนไอโซโทปแตกต่างกัน เช่น ไฮโดรเจนมี 3 ไอโซโทป คือ ${}^{1}_{1}H$, ${}^{2}_{1}H$, ${}^{3}_{1}H$ สำหรับทองคำขาว (Platinum, Pt) มีจำนวนไอโซโทปมากถึง 29 ไอโซโทป และจำนวนของไอโซโทปเสถียรและไอโซโทปรังสีของแต่ละธาตุก็จะแตกต่างกันด้วย

ตารางที่ 1.4 สมบัติของอนุภาคที่เป็นไอโซโทป

สัญลักษณ์นิวเคลียร์	ธาตุ	จำนวนอิเล็กตรอน	จำนวนโปรตอน	จำนวนนิวตรอน	เลขมวล
${}_{1}^{1}H$	ไฮโดรเจน, โปรเตรียม	1	1	0	1
${}_{1}^{2}H$	ดิวทีเรียม	1	1	1	2
${}_{1}^{3}H$	ตริเทรียม	1	1	2	3
${}_{6}^{12}C$	คาร์บอน 12	6	6	6	12
${}_{6}^{13}C$	คาร์บอน 13	6	6	7	13
${}_{6}^{14}C$	คาร์บอน 14	6	6	8	14

ไอโซโทน (Isotone) หมายถึง นิวไคลด์ที่มีจำนวนนิวตรอนเท่ากัน แต่มีจำนวนโปรตอนหรือเลขเชิงอะตอมต่างกัน เช่น ${}_{6}^{14}C$, ${}_{7}^{15}N$, ${}_{8}^{16}O$ เป็นไอโซโทน เพราะมีจำนวนนิวตรอนเท่ากัน คือ 8

ไอโซบาร์ (Isobar) หมายถึง นิวไคลด์ที่มีจำนวนนิวคลีออนเท่ากัน หรือเลขเชิงมวลเท่ากัน เช่น ${}_{13}^{29}AL$, ${}_{14}^{29}SI$, ${}_{15}^{29}P$ เป็นไอโซบาร์ เพราะมีเลขเชิงมวลเท่ากัน คือ 29

ไอโซไดอะเฟียร์ (Isodiaphere) หมายถึง นิวไคลด์ที่มีจำนวนนิวตรอนมากกว่าโปรตอนเท่ากัน หรือค่า N –Z เท่ากัน เช่น ${}_{14}^{30}Si$, ${}_{15}^{32}P$, ${}_{16}^{34}S$ เป็นไอโซไดอะเฟียร์ เนื่องจากนิวไคลด์ทั้ง 3 มีค่า N – Z = 2

ไอโซเมอร์ (Isomer) หมายถึง นิวไคลด์ที่มีเลขเชิงมวลและเลขเชิงอะตอมเท่ากับ แต่ต่างกันที่พลังงาน โดยเฉพาะเครื่องหมายดอกจัน (*) หรืออักษรเอ็ม (m, metastable state) กำกับไว้บนนิวไคลด์ที่มีพลังงานสูงกว่า เช่น ${}_{27}^{59}Co$, ${}_{27}^{59*}Co$ และ ${}_{56}^{137}Ba$, ${}_{56}^{137m}Ba$ เป็นไอโซเมอร์โดยมี ${}_{27}^{59*}Co$ และ ${}_{56}^{137m}Ba$ เป็นนิวไคลด์ที่มีพลังงานสูงกว่า ${}_{27}^{59}Co$ และ ${}_{56}^{137}Ba$ ตามลำดับ

ตารางที่ 1.5 ชนิดของนิวไคลด์อะตอม

นิวไคลด์	Z	N	A	ตัวอย่าง
ไอโซโทป	=	≠	≠	${}^{1}_{1}H,\ {}^{2}_{1}H$
ไอโซบาร์	≠	≠	=	${}^{90}_{38}Sr,\ {}^{90}_{39}Yr$
ไอโซโทน	≠	=	≠	${}^{59}_{27}Co,\ {}^{60}_{28}Ni$
ไอโซเมอร์	=	=	=	${}^{137m}_{56}Ba,\ {}^{137}_{56}Ba$

ที่มา: (Si-Hwan KIM et al, 2012, p. 28)

ตัวอย่างที่ 1.2 จงบอกรายละเอียดของนิวไคลด์ที่เป็นธาตุไอโซโทปดังต่อไปนี้

${}^{11}_{6}C,\ {}^{12}_{6}C,\ {}^{13}_{6}C,\ {}^{14}_{6}C$

ตอบ ${}^{11}_{6}C,\ {}^{12}_{6}C,\ {}^{13}_{6}C,\ {}^{14}_{6}C$ มีเลขเชิงอะตอมเท่ากัน คือ 6 และ มีเลขเชิงมวลต่างกัน คือ 11, 12, 13 และ 14 ตามลำดับ

ตัวอย่างที่ 1.3 จงบอกรายละเอียดของนิวไคลด์ที่เป็นธาตุไอโซบาร์ ดังต่อไปนี้ ${}^{14}_{6}C,\ {}^{14}_{7}C$

ตอบ ${}^{14}_{6}C,\ {}^{14}_{7}C$ มีเลขเชิงมวลเท่ากัน คือ 14 และมีเลขเชิงอะตอมต่างกัน คือ 6 และ 7 ตามลำดับ

ตัวอย่างที่ 1.4 จงบอกรายละเอียดของนิวไคลด์ที่เป็นธาตุไอโซโทน ดังต่อไปนี้

${}^{14}_{6}C,\ {}^{15}_{7}N,\ {}^{16}_{8}O$

ตอบ ${}^{14}_{6}C,\ {}^{15}_{7}N,\ {}^{16}_{8}O$ มีจำนวนนิวตรอน คือ 8 และ มีจำนวนโปรตอน หรือเลขเชิงอะตอมต่างกัน คือ 6, 7 และ 8 ตามลำดับ

ตัวอย่างที่ 1.5 จงบอกรายละเอียดของนิวไคลด์ที่เป็นธาตุไอโซไดอะเฟียร์ ดังต่อไปนี้

$^{30}_{14}Si,\ ^{32}_{15}P,\ ^{34}_{16}S$

<u>ตอบ</u> $^{30}_{14}Si$ เลขเชิงมวล = 30

เลขเชิงอะตอม = 14

เลขนิวตรอน = 16

เลขนิวตรอน – เลขเชิงอะตอม = 14 - 16 = 2

$^{32}_{15}P$ เลขเชิงมวล = 32

เลขเชิงอะตอม = 15

เลขนิวตรอน = 17

เลขนิวตรอน – เลขเชิงอะตอม = 17 - 15 = 2

$^{34}_{16}S$ เลขเชิงมวล = 34

เลขเชิงอะตอม = 16

เลขนิวตรอน = 18

เลขนิวตรอน – เลขเชิงอะตอม = 18 - 16 = 2

$^{30}_{14}Si,\ ^{32}_{15}P,\ ^{34}_{16}S$ เป็นไอโซไดอะเฟียร์ เนื่องจากนิวไคลด์ทั้ง 3 มีค่า N – Z = 2

ตัวอย่างที่ 1.6 จงบอกรายละเอียดของนิวไคลด์ที่เป็นธาตุไอโซเมอร์ ดังต่อไปนี้ $^{32}_{15}P,\ ^{32m}_{15}P$

<u>ตอบ</u> $^{32}_{15}P,\ ^{32m}_{15}P$ มีเลขเชิงอะตอมเท่ากันคือ 15 มีเลขเชิงมวลเท่ากันคือ 32 และมีพลังงานต่างกัน คือ $^{32m}_{15}P$ มีพลังสูงมากกว่า $^{32}_{15}P$ ดังนั้น นิวไคลด์ทั้งสองเป็นไอโซเมอร์กัน

แบบจำลองของนิวเคลียส

แบบจำลองนิวเคลียร์ของอะตอมได้ถูกเสนอเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1911 โดยรัทเธอร์ฟอร์ด (Rutherford) โดยแบบจำลองนี้มีนิวเคลียสเป็นส่วนประกอบเล็ก ๆ ของอะตอม และในปี ค.ศ. 1911 แซดวิก (Chadwick) ได้ทำการวัดรัศมีของนิวเคลียส มีขนาดในช่วง 10^{-4} m ซึ่งมีค่าน้อยกว่ารัศมีของอะตอมที่มีขนาด 10^{-10} m สำหรับการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการกระเจิงของอนุภาคอัลฟา ซึ่งเป็นประจุบวกจากธาตุหนัก เช่น ทองแดง เงิน และทอง ซึ่งสามารถหารัศมีของนิวเคลียสได้จากการวัดภาคตัดขวาง (cross section) ของอนุภาคตามสมการของรัทเธอร์ฟอร์ดสำหรับการกระเจิงของจุดประจุ

การศึกษาโครงสร้างของนิวเคลียสเป็นเรื่องที่ยุ่งยากซับซ้อนมากกว่าโครงสร้างของอะตอม นักวิทยาศาสตร์พยายามนำข้อมูลที่เป็นสมบัติด้านต่างๆ ของนิวเคลียสซึ่งได้จากการทดลองและการคำนวณมาผสมผสานกัน และสร้างเป็นแบบจำลองโครงสร้างของนิวเคลียสมีแบบจำลองหลายแบบที่ถูกเสนอขึ้นมา ซึ่งแต่ละแบบจำลองอธิบายสมบัติของนิวเคลียสได้เพียงบางอย่างเท่านั้น โดยขอนำกล่าวไว้เพียง 2 แบบ เท่านั้น (นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ, 2545)

1. แบบจำลองหยดของเหลว

แบบจำลองหยดของเหลว (liquid drop model) นีลส์ บอร์ (Niels Bohr) และวีลเลอร์ (J.A. Wheeler) เป็นผู้เสนอในปี ค.ศ. 1930 โดยอธิบายว่า แรงนิวเคลียสมีลักษณะเช่นเดียวกับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลว (Cohesive force) ซึ่งเป็นแรงที่มีพิสัยสั้น ดังนั้น นิวคลีออนจะมีแรงกระทำต่อนิวคลีออนที่อยู่ใกล้เคียงเท่านั้น และเนื่องจากความคล้ายกันของแรงระหว่างโมเลกุลของของเหลวกับแรงระหว่างนิวคลีออน นิวคลีออนจึงควรมีลักษณะเป็นหยดของเหลวคือมีรูปร่างเป็นทรงกลม ซึ่งมีแรงตึงผิวมากที่สุด ทำให้นิวไคลด์มีสถานะเสถียรโมเลกุลของของเหลวจะเคลื่อนที่อยู่ภายใน ซึ่งการเคลื่อนไหวนี้จะเป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้น ถ้าของเหลวมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนบางโมเลกุลอาจจะหลุดออกไปจากแรงตึงผิวเปรียบเทียบกับนิวคลีออนที่เคลื่อนที่และชนกันอยู่ตลอดเวลา เมื่อนิวคลีออนตัวหนึ่งตัวใดอยู่ในสถานะกระตุ้นเนื่องจากรับพลังงานภายนอกเข้าไป อาจจะเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวแล้วหลุดออกจากนิวเคลียสได้ แบบจำลองหยดของเหลวนี้ สามารถอธิบายสมบัติของนิวไคลด์ได้หลายประการ เช่น

(1.1) ค่าพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนมีค่าลดลงเมื่อนิวเคลียสใหญ่ขึ้น ถ้าเปรียบเทียบกับของเหลวจะเห็นได้ว่าหยดของเหลวที่มีขนาดใหญ่จะมีแรงตึงผิวลดลง

(1.2) ปริมาตรของนิวไคลด์เป็นปฏิภาคกับมวลของนิวไคลด์ จากการคำนวณหาขนาดของนิวเคลียสทราบว่า

ซึ่งเขียนได้ว่า $$R = R_0 A^{1/3}$$

$$R^3 \propto A$$

ปริมาตรของนิวไคลด์ $$V = \frac{4}{3}\pi R^3$$

ดังนั้น จะได้ว่า $$V \propto m$$

เมื่อ A คือ เลขเชิงมวล และ m คือ มวลของนิวไคลด์

(1.3) อธิบายปรากฏการของนิวเคลียร์ฟิชชัน (Nuclear fission) โดยการเกิดกระบวนการฟิชชันอาจจะอธิบายได้เช่นเดียวกับหยดของเหลวที่แยกออกเป็นสองหยดที่เล็กลง เมื่อมันได้รับแรงที่เหมาะสม

1. แบบจำลองเชลล์

เนื่องจากแบบจำลองหยดของเหลวไม่ได้คำนึงถึงความแตกต่างของนิวคลีออนภายในนิวเคลียสและไม่ได้อธิบายว่าทำไมบางนิวไคลด์เสถียรและบางนิวไคลด์ไม่เสถียรดังนั้น แบบจำลองเชลล์เป็นแบบจำลองที่อธิบายโครงสร้างของนิวเคลียสได้ดีแบบหนึ่งโดยมีพื้นฐานมาจากการพิจารณาข้อมูลต่าง ๆ ทางนิวเคลียร์ เช่น

(2.1) เมื่อพิจารณาเสถียรภาพของนิวไคลด์ พบว่านิวไคลด์ที่มีจำนวนนิวตรอนหรือโปรตอนเป็นเลข 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 มักจะเป็นนิวไคลด์ที่มีเสถียรภาพมาก ตัวเลขชุดนี้เรียกว่าเลขกล (Magic number) และจากการทดลองให้พลังงานไอโซโทปของธาตุ เช่น ตะกั่ว เพื่อทำให้นิวตรอนหลุดออกมา พบว่าต้องให้พลังงานแก่ไอโซโทปที่มีจำนวนนิวตรอนเป็นเลขคู่มากกว่าไอโซโทปที่อยู่ข้างเคียง แสดงว่าไอโซโทปที่มีจำนวนนิวตรอนเป็นเลขคู่มีเสถียรภาพมากกว่าไอโซโทปที่มีจำนวนนิวตรอนเป็นเลขคี่

(2.2) นิวไคลด์ที่มีจำนวนนิวตรอน หรือโปรตอนเป็นเลขกล มักจะเป็นนิวไคลด์ที่มีปริมาณมากในธรรมชาติ (Natural abundance) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นิวไคลด์ที่มีจำนวนนิวตรอนและโปรตอนเป็นเลขกลทั้งคู่ เช่น ธาตุวานาเดียม มีไอโซโทปเสถียร 2 ไอโซโทป คือ ^{50}V และ ^{51}V ไอโซโทปแรก ซึ่งมีจำนวนนิวตรอนเป็นเลขกล (28) มีปริมาณมากถึง 99.75% ของปริมาณวานาเดียมทั้งหมด ส่วน ^{51}V ซึ่งมี 29 นิวตรอนมีปริมาณอยู่เพียงน้อยมาก ตัวอย่างของนิวไคลด์ที่มีเลขกลคู่ ^{16}O ซึ่งมี 8 โปรตอน และ 8 นิวตรอน มีปริมาณในธรรมชาติถึง 99.756% ในขณะที่ ^{17}O และ ^{18}O เป็นนิวไคลด์เสถียรมีปริมาณในธรรมชาติน้อยมาก นอกจากนี้ยังมีตัวอย่างนิวไคลด์ที่มีจำนวนโปรตอนหรือนิวตรอนเป็นเลขกลและมีปริมาณมากในธรรมชาติ ได้แก่ $^{118}Sn\ (Z = 50)$, $^{88}Sr\ (N = 50)$

(2.3) นิวไคลด์ที่มีจำนวนโปรตอนเป็นเลข 20, 28, 50, 82 หรือจำนวนนิวตรอนเป็นเลข 20, 28, 50, 82 จะมีไอโซโทปเสถียรมากกว่านิวไคลด์ที่อยู่ข้างเคียง เช่น $Ca\ (Z = 20)$ มี

ไอโซโทปที่อยู่ตัว 6 ไอโซโทป $Sn(Z=50)$ มีไอโซโทปเสถียร 10 ไอโซโทป

(2.4) นิวไคลด์ที่มีจำนวนนิวคลีออนเท่ากับเลขกล จะมีภาคตัดขวางสำหรับปฏิกิริยาการจับนิวตรอน (Neutron capture cross section, σ_c) น้อยกว่านิวไคลด์ที่อยู่ข้างเคียง แสดงว่านิวไคลด์เหล่านี้มีโอกาสน้อยมากที่จะทำปฏิกิริยากับนิวตรอน เช่นเดียวกับแก๊สเฉื่อยที่มักไม่ทำปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากมีอิเล็กตรอนในวงนอกอยู่เต็ม หน่วยของภาคตัดขวางเรียกว่า บาร์น (barn) เช่น $^{116}Sn\ (Z=50)$ มีค่า $\sigma_c = 0.006$ บาร์น ในขณะที่ $^{115}In\ (Z=49)$ มีค่า $\sigma_c = 2600$ บาร์น

ตารางที่ 1.6 ระดับพลังงานที่ใช้เพื่อทำให้นิวตรอนหลุดออกจากไอโซโทปของตะกั่ว

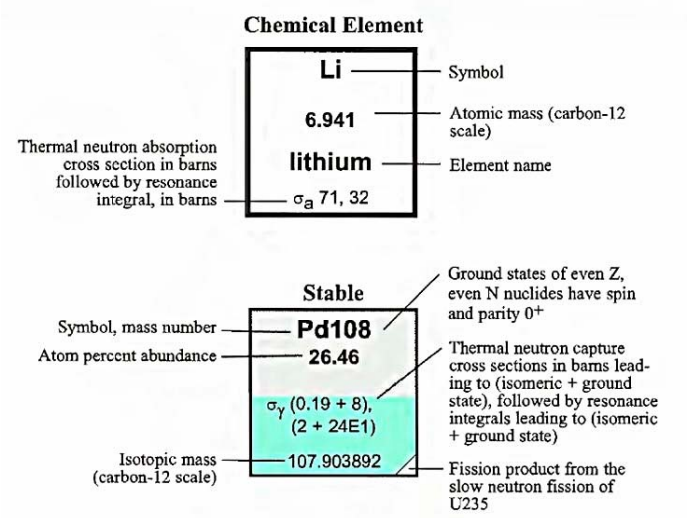
ไอโซโทป	จำนวนนิวตรอน	พลังงานที่ใช้ (Me V)
^{205}Pb	123	6.64
^{206}Pb	124	8.16
^{207}Pb	125	6.73
^{208}Pb	126	7.38
^{209}Pb	127	5.87
^{210}Pb	128	5.23
^{211}Pb	129	3.77

ที่มา: (นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ, 2545, น. 64)

แผนภูมินิวไคลด์

แผนภูมินิวไคลด์ (Nuclides chart) หรือแผนภูมิไอโซโทป (Isotopes chart) เป็นภาพแสดงรายละเอียด พร้อมสมบัติต่าง ๆ ของนิวไคลด์ทั้งหมด โดยจัดเรียงนิวไคลด์ของแต่ละธาตุไว้ตามลำดับค่าเลขเชิงอะตอม และจำนวนนิวตรอน ซึ่งอยู่ในแกน x และแกน y เริ่มจากธาตุที่เบาที่สุด คือ ไฮโดรเจน ธาตุที่หนักกว่าจะเรียงซ้อนตามลำดับขึ้นไป เช่น ฮีเลียม ลิเทียม เบริลเลียม นิวไคลด์ของธาตุชนิดเดียวกัน หรือไอโซโทปจะอยู่บนแกนขวาง (Horizontal) เดียวกัน และนิวไคลด์ที่เป็นไอโซโทปจะอยู่ในแกนแนวตั้ง (Vertical) เดียวกัน ส่วนนิวไคลด์ที่เป็นไอโซบาร์ก็จะอยู่ในแนวทแยงขวางกันแกนทั้งสอง

รายละเอียดของแต่ละนิวไคลด์ แสดงไว้ในช่องสี่เหลี่ยม ซึ่งข้อมูลที่บรรจุไว้นั้น แตกต่างกันไป นิวไคลด์ที่อยู่ในช่องที่มีการแรเงาเป็นนิวไคลด์ที่เสถียร เมื่อมองในภาพรวมแล้ว นิวไคลด์เสถียรจะอยู่ในแนวเส้นทแยงมุมกับแกนทั้งสอง บางแผนภูมิอาจใช้สีสัน เพื่อบอกค่าครึ่งชีวิต รูปแบบการสลายตัว หรือค่าการดูดกลืนนิวตรอน (Neutron absorption) รายละเอียดข้อมูลของนิวไคลด์เสถียรที่แสดงไว้ เช่น เปอร์เซ็นต์อะบันแดนซ์ (%abundance) มวลอะตอมและภาพตัดขวางการจับเทอร์มัลนิวตรอน (Thermal neutron capture cross section) ส่วนนิวไคลด์กัมมันตรังสีมีข้อมูลสมบัติการสลายตัวต่าง ๆ เช่น รูปแบบการสลาย ครึ่งชีวิต พลังงานของรังสี และมวลอะตอม ดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 นิวไคลด์ของธาตุ

ที่มา: (Richard and Virginia, 1996, p.6)

บทสรุป

การค้นพบอะตอมเริ่มขึ้นจากทฤษฎีอะตอมของดอลตัน และเริ่มมีการศึกษากัมมันตภาพรังสีที่ปล่อยอนุภาค บีตา แกมมา และอัลฟา จากการศึกษาภายในอะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสและอิเล็กตรอน ซึ่งภายในนิวเคลียสมีอนุภาคหลักอยู่ 2 ชนิด คือ โปรตอนและนิวตรอน โดยนิวเคลียสของธาตุที่ประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอนรวมเรียกว่า นิวคลีออน สำหรับโปรตอนเป็นอนุภาคที่มีประจุบวก โดยขนาดของประจุเท่ากับ 1.6×10^{-19} C และโดยมีมวลนิ่ง 1.67252×10^{-27} kg หรือมีค่าเท่ากับ 1.007277 u สำหรับนิวตรอน เป็นอนุภาคที่เป็นกลางทางไฟฟ้า ไม่มีประจุ และโดยมีมวลนิ่ง 1.67482×10^{-27} kg หรือมีค่าเท่ากับ 1.008665u และสำหรับอิเล็กตรอน เป็นอนุภาคที่มีประจุลบ โดยขนาดของประจุเท่ากับ 1.6×10^{-19} C และโดยมีมวลนิ่ง 9.1×10^{-31} kg หรือมีค่าเท่ากับ 0.000548u นิวไคลด์ของธาตุสามารถจำแนกจากการพิจารณาเลขเชิงมวล เลขเชิงอะตอม เลขนิวตรอนและระดับพลังงาน ซึ่งอยู่ในรูปของนิวไคลด์ที่เป็นไอโซโทป ไอโซโทน ไอโซบาร์ ไอโซเมอร์ และไอโซไดอะเฟียร์ สำหรับการศึกษาแบบจำลองนิวเคลียร์ทั้งแบบจำลองแบบหยดของเหลวและแบบจำลองเชลล์ ซึ่งอธิบายแรงนิวเคลียสว่ามีลักษณะเช่นเดียวกับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลว ทำให้สามารถอธิบายสมบัติของนิวไคลด์ได้หลายประการ เช่น ค่าพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนมีค่าลดลงเมื่อนิวเคลียสใหญ่ขึ้น ปริมาตรของนิวไคลด์เป็นปฏิภาคกับมวลของนิวไคลด์ เป็นต้น นอกจากนี้ การบอกรายละเอียดของนิวไคลด์สามารถศึกษาได้จากแผนภูมินิวไคลด์ (Nuclides chart) หรือแผนภูมิไอโซโทป โดยมีรายละเอียดของแต่ละนิวไคลด์ แสดงไว้ในช่องสี่เหลี่ยม เพื่อบอกค่าครึ่งชีวิต รูปแบบการสลายตัว เปอร์เซ็นต์อะบันแดนซ์ มวลอะตอมและภาพตัดขวางการจับเทอร์มัลนิวตรอน

คำถามท้ายบทที่ 1

1. จงอธิบายความเป็นมาของการค้นพบอะตอมและรังสี

2. จงหาจำนวนนิวคลีออนของธาตุจากสัญลักษณ์ที่กำหนดให้ ${}^{23}_{11}Na$

3. จงหาจำนวนโปรตอน นิวตรอน อิเล็กตรอน ของธาตุ ${}^{59}_{27}Co$

4. จงเขียนสัญลักษณ์นิวไคลด์ กำหนดให้นิวไคลด์มีอนุภาคนิวตรอน 10 อนุภาค และอนุภาคโปรตอน 9 อนุภาค

5. จงเขียนสัญลักษณ์นิวไคลด์ของพลูโตเนียม –240 ที่มีจำนวนนิวตรอน 146

6. จงยกตัวอย่างสัญลักษณ์นิวไคลด์ที่มีจำนวนโปรตอนเท่ากันแต่มีจำนวนนิวตรอนไม่เท่ากัน

7. จงบอกรายละเอียดพร้อมยกตัวอย่างของนิวไคลด์ที่เป็นไอโซโทน

8. จากธาตุที่กำหนด คู่ใดเป็น ไอโซโทป ไอโซโทน และไอโซบาร์ ${}^{11}_{6}C,\ {}^{12}_{6}C,\ {}^{13}_{6}C,\ {}^{14}_{6}C$ ${}^{30}_{14}Si,\ {}^{32}_{15}P,\ {}^{34}_{16}S\ {}^{14}_{6}C,\ {}^{14}_{7}C\ {}^{14}_{6}C,\ {}^{15}_{7}N,\ {}^{16}_{8}O$

9. จงวิเคราะห์แบบจำลองของนิวเคลียสว่าแบบจำลองใดที่นักศึกษาคิดว่าใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด เพราะเหตุผลใด

10. จงเขียนแผนภูมินิวไคลด์ที่ระบุรายละเอียดของค่าครึ่งชีวิต รูปแบบการสลายตัว เปอร์เซ็นต์อะบันแดนซ์ มวลอะตอมและภาพตัดขวางการจับเทอร์มัลนิวตรอน

เอกสารอ้างอิง

นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ. (2545). **วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รานี สุวรรณพฤกษ์. (2556). **เคมีทั่วไป 1**. กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์.

สุพิชชา จันทรโยธา. (2559). **การจัดการกากกัมมันตรังสี.** กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Si, H. K., Hee, C. N, Deck, J. L., Doo, J. L., Dong, S. S., Won, Z. O., & Soo, D. S. (2012) . **Introduction to Nuclear Engineering**. Korea: Korea nuclear association.

Richard, B. F. and Virginia, S. S. (1996). **Table of Isotopes (8th ed, Volume I Part I).** California: John Wiley & Sons.