12

พลังงานนิวเคลียร์

ปัจจุบันนี้พลังงานส่วนใหญ่ของโลกได้รับฟอสซิลเชื้อเพลิง เช่น ก๊าซ ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ พลังงานจำนวนเล็กน้อยได้จากพลังงานนิวเคลียร์ อย่างไรก็ตามพลังงานนี้ยังเป็นที่โต้เถียงขัดแย้งและยังอยู่ในความคิดคำนึงในการนำมาใช้ แม้กระทั่งนักวิทยาศาสตร์เองทั้ง ๆ ที่พลังงานต่าง ๆ ค่อย ๆ ลดน้อยลง แต่ก็ยังมีข้อคิดว่าจะใช้พลังงานนิวเคลียร์กันดีหรือไม่ มีความปลอดภัยมากน้อยเพียงใด ความคิดนี้ก็ยังถกเถียงวิจารณ์กันทั้งในที่ต่าง ๆ

เพื่อที่จะเข้าใจว่าทำไมพลังงานนิวเคลียร์จึงสำคัญและขณะเดียวกันก็ควรจะศึกษาเรื่องพลังงานนิวเคลียร์ให้ชัดเจนด้วย

นักเคมีในอดีตได้เคยมีความคิดว่าน่าจะลองเปลี่ยนธาตุซึ่งอยู่ในตระกูลต่ำ ๆ ให้กลายเป็นธาตุทองคำ แต่นักเคมีสมัยนั้นก็ยังทำไม่ได้ ปัจจุบันนี้ได้ทราบว่าเมื่อใดนิวเคลียสของธาตุเปลี่ยนแปลง ธาตุนั้นก็จะกลายเป็นธาตุอื่น ๆ ได้ และขณะเดียวกันมีพลังงานออกมาด้วย เป็นที่น่ายินดีว่าขณะนี้มนุษย์สามารถเปลี่ยนธาตุหนึ่งไปเป็นอีกธาตุหนึ่งได้และนำพลังงานมาใช้ได้อีก

12-1 ธาตุกัมมันตภาพรังสี (Radioactivity Elements)

คศ. 1896 เฮนรี่ เบคเคอร์เรล (Henri Becquerel) นักวิทยาศาสตร์ฝรั่งเศส ทำงานอยู่ในมหาวิทยาลัยปารีส ได้นำเอาผลึกของสารประกอบยูเรเนียมผึ่งแดดแล้ววางใกล้กระจกถ่ายรูป (ซึ่งยังมิได้ถ่าย) กระจกนี้ห่อหุ้มด้วยกระดาษสีดำอย่างมิดชิด เมื่อเอากระจกถ่ายรูปไปล้าง ปรากฏว่าบางส่วนของกระจกเสีย เขาได้ทำเช่นนี้ซ้ำอีกหลาย ๆ ครั้ง ปรากฏว่าได้ผลเช่นเดียวกันอย่างเดิม เบคเคอร์เรลคิดว่าก้อนแร่ยูเรเนียมคงจะรับแสงจากดวงอาทิตย์ไว้ แล้วเปล่งรังสีซึ่งตามองไม่เห็นออกมาทะลุผ่านกระดาษดำเข้าสู่กระจกถ่ายรูป ต่อมาในวันหลังอากาศในกรุงปารีสมืดครึ้มไม่มีแดด เบคเคอร์เรลก็นำก้อนแร่ยูเรเนียมและกระจกถ่ายรูปไปล้างพบว่าบางส่วนก็เหมือนถูกแสงเช่นเดิม แสดงว่าก้อนแร่ยูเรเนียมคงจะเปล่งรังสี (radioactivity) ออกมาทะลุกระดาษสู่กระจกถ่ายรูปโดยมิต้องรับแสงดวงอาทิตย์ก่อนในขณะที่เบคเคอร์เรลสงสัยเรื่องนี้อยู่ ได้มีนักศึกษาชื่อมารี คูรี (Marie Curie) กำลังทำปริญญาเอก จึงได้รับเรื่องนี้ไปวิจัย มารี คูรี พบว่าการเปล่งหรือการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่นั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนอะตอมของยูเรเนียมที่มีอยู่ และยังพบว่าธาตุทอเรียมก็มีการเปล่งรังสีได้เช่นเดียวกันกับยูเรเนียม คุณสมบัตินี้ได้ชื่อว่ากัมมันตภาพรังสี (radioactivity) ธาตุที่มีสมบัตินี้เรียกว่าธาตุกัมมันตภาพรังสี (radioactivity elements)

เปียร์คูรี (Pierre Curie) เป็นสามีของมารีคูรี ได้สนใจและร่วมทำการค้นคว้าอยู่ด้วย โดยใช้แร่พิชเบลนด์ (pitchblende) ซึ่งเข้าใจว่าเป็นแหล่งกำเนิดยูเรเนียม วันหนึ่งเขาได้พบว่า

ชิ้นของแร่พิชเบลนด์ชิ้นหนึ่งมีสมบัติกัมมันตภาพรังสีมากกว่าปกติ จากการวัดด้วยเครื่องมือ และจากการคำนวณพบว่ามีอำนาจกัมมันตภาพรังสีมากกว่ายูเรเนียมที่บริสุทธิ์เสียอีก เขาจึงพากันคิดว่าชิ้นของแร่พิชเบลนด์ต้องมีธาตุอื่นซึ่งมีอำนาจกัมมันตภาพรังสีมากกว่าธาตุยูเรเนียม

ดังนั้นคณะของมาดามคูรี จึงได้ดำเนินการแยกธาตุที่ยังไม่ได้พบมาก่อนจนสำเร็จ คือได้ธาตุโพโลเนียม (polonium, Po) ซึ่งมีอำนาจกัมมันตภาพรังสีสูงกว่ายูเรเนียม การที่ตั้งชื่อโพโลเนียม เพื่อเป็นเกียรติยศต่อบ้านเกิดเมืองนอนของมารีคูรี คือประเทศโปแลนด์

แต่ทว่าเขายังพบว่ามีบางสิ่งบางอย่างที่มีการแผ่รังสีสูงกว่าโพโลเนียม ต่อมาอีกสองสามเดือนเขาก็สามารถแยกสารออกมาได้ แต่มีเพียงเล็กน้อยมาก (trace) ในที่สุดเขาก็พบว่าสารนี้คือเรเดียม (radium, Ra) แต่กว่าจะพบว่าเป็นเรเดียมก็ใช้เวลาถึงสี่ปีพร้อมทั้งทำงานหนักมากและใช้แร่พิชเบลนด์เป็นตัน ๆ

คศ. 1903 เฮนรี่ เบคเคอร์เรล มารี คูรี และเปียร์ คูรี ได้รับรางวัลโนเบลเกี่ยวกับการศึกษาของการแผ่รังสีของธาตุยูเรเนียม

คศ. 1911 มารี คูรี ได้รับรางวัลโนเบลเป็นครั้งที่สองในการค้นพบธาตุโพโลเนียม และเรเดียม และได้ศึกษาคุณสมบัติของเรเดียมด้วย

12-2 การแผ่รังสีจากนิวเคลียส (Nuclear Radiations)

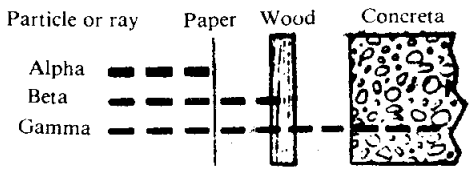
ไอโซโทปของธาตุบางตัวไม่เสถียร ได้แผ่กัมมันตภาพรังสีออกหลายแบบ ซึ่งเรียกว่าไอโซโทปกัมมันตภาพรังสี (radioactive isotopes) บางตัวเกิดในธรรมชาติ บางตัวเกิดขณะที่เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ ในหัวข้อนี้จะพิจารณาการแผ่รังสีจากนิวเคลียส (nuclear radiations) ซึ่งมีได้หลายแบบ จะกล่าวเฉพาะที่รู้จักกันโดยทั่ว ๆ ไป คือ

อนุภาคและรังสีที่เกิดจากการแผ่รังสี

1. อนุภาคอัลฟา (alpha particles)
2. อนุภาคบีต้า (beta particles)
3. รังสีแกมม่า (gamma rays)
4. โพสิตรอน (positrons)
5. นิวตรอน (neutrons)

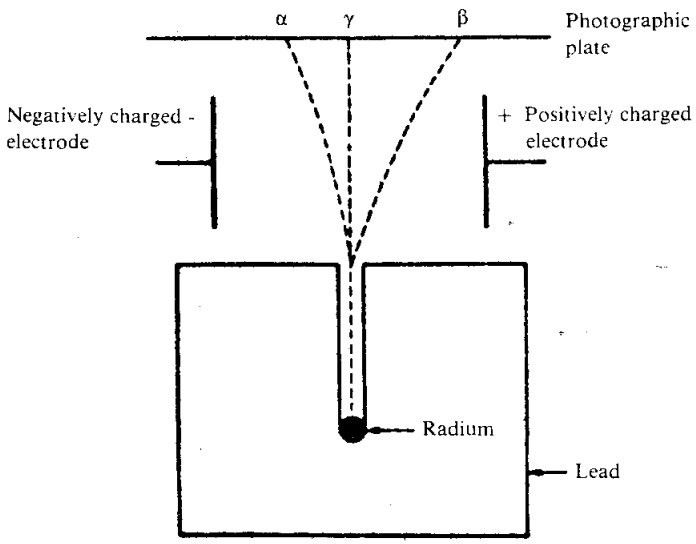
ทั้งอนุภาคอัลฟา บีต้า และรังสีแกมม่า มีคุณลักษณะแตกต่างกัน เช่น อนุภาคอัลฟาจะถูกดูดโดยสนามไฟฟ้าลบ อนุภาคบีต้าจะถูกดูดโดยสนามไฟฟ้าบวก ส่วนรังสีแกมม่าไม่มีผลต่ออำนาจไฟฟ้า พิจารณารูป 12-1

แผนภาพแสดงอำนาจการทะลุผ่านสิ่งต่าง ๆ ของอนุภาคหรือรังสี



ถ้าคิดถึงอำนาจในการทะลุผ่านสิ่งต่าง ๆ ของอนุภาคหรือรังสีต่าง ๆ จะไม่เหมือนกัน กล่าวคือ รังสีแกมม่าจะทะลุผ่านสิ่งต่าง ๆ ได้สูงกว่าทั้งหมด พิจารณาจากแผนภาพข้างบนนี้

รูป 12-1 การแผ่รังสีจากกัมมันตภาพรังสี



จากภาพข้างบนได้มีการนำชิ้นของธาตุเรเดียมวางไว้ที่ตอนล่างของท่อนตะกั่ว เพื่อให้ธาตุเรเดียมเปล่งกัมมันตภาพรังสีพุ่งตรงขึ้นมาในแนวตั้งเท่านั้น เหนือท่อนตะกั่วเป็นฉากซึ่งฉาบด้วยสารประกอบซิงค์ซัลไฟด์ สารประกอบนี้ถ้ามีสิ่งใดตกกระทบจะปรากฏความสว่าง ณ จุดนั้น ๆ การทดลองในตอนนี้พบว่าจะเกิดความสว่างที่ฉาก (photographic plate) ซึ่งอยู่ตรงข้ามกับธาตุเรเดียม

ต่อมาได้นำขั้วอิเลคโตรดทั้งขั้วบวกและขั้วลบ (พิจารณารูป) วางระหว่างท่อนตะกั่วและฉาก ถึงตอนนี้จะเห็นว่าบริเวณนี้เต็มไปด้วยสนามไฟฟ้า และความสว่างที่ฉากนั้นจะเลื่อน

และแผ่ไปทางซ้ายและขวา ส่วนตอนกลางก็ยังมีความสว่างปรากฏด้วย แสดงว่ากัมมันตภาพรังสีที่เปล่งออกมาจากธาตุเรเดียมมีผลต่อขั้วอิเลคโตรดทั้งสองและมีอยู่ 3 ชนิดคือ อัลฟ่า บีต้า และแกมม่า

อนุภาคอัลฟ่า (alpha particles) คือ นิวเคลียสของธาตุฮีเลียม มีเลขมวล (mass number) เท่ากับ 4 มีค่าของเลขอะตอมเท่ากับ 2 อนุภาคอัลฟ่าประกอบด้วยสองโปรตอนและสองนิวตรอน จึงมีประจุ +2 สัญลักษณ์เป็น $^{4}_{2}He$ ถ้าอนุภาคอัลฟ่าได้สองอิเลคตรอนจากอะตอมอื่นหรือจากบรรยากาศ จะกลายเป็นอะตอมฮีเลียม อนุภาคอัลฟ่าซึ่งหลุดจากนิวเคลียสมีอัตราเร็ว ประมาณ $\frac{1}{15}$ เท่าของความเร็วของแสงหรือประมาณ 12,000 ไมล์ต่อวินาที เนื่องจากมวลประจุ และอัตราเร็วของมัน ทำให้มีอำนาจในการซึมทะลุผ่านสิ่งต่าง ๆ มีค่าต่ำและสามารถหยุดยั้งได้ โดยใช้แผ่นกระดาษ บางครั้งไม่สามารถทะลุร่างกาย แต่ถ้าสารกัมมันตภาพรังสีใดให้อนุภาคอัลฟ่า และสามารถทะลุเข้าสู่ร่างกายได้นับว่ามีอันตรายมาก และจะมีอัตรายมากกว่าอนุภาคบีต้าและรังสีแกมม่า

อนุภาคบีต้า (beta particles) ก็คืออิเลคตรอนมีประจุ -1 มวลน้อยมาก สัญลักษณ์เขียนได้ $^{0}_{-1}e$ อนุภาคบีต้าก็หลุดจากนิวเคลียสเชื่อกันว่ามาจากนิวตรอนสลายตัวดังนี้

นิวตรอน ($^{1}_{0}n$) ———→ โปรตอน ($^{1}_{1}p$) + อนุภาคบีต้า ($^{0}_{-1}e$)

อนุภาคบีต้าที่เปล่งจากนิวเคลียสมีความเร็วสูงกว่าอนุภาคอัลฟ่ามากมาย คือประมาณ $\frac{9}{10}$ เท่าของความเร็วของแสง ดังนั้น อำนาจทะลุทะลวงสิ่งต่าง ๆ ได้ดีกว่าอนุภาคอัลฟ่า แต่ถ้าใช้แผ่นอาลูมิเนียมหนา 1 เซนติเมตรจะหยุดยั้งได้ ถ้าอนุภาคบีต้าเข้าไปในร่างกายจะมีอันตราย

รังสีแกมม่า (gamma rays) จัดว่ามีช่วงคลื่นสั้นมาก ไม่มีประจุ ไม่มีมวล รังสีแกมม่าที่เปล่งจากนิวเคลียสจะมีความเร็วเท่ากับแสง อำนาจในการซึมทะลุสูงมาก พร้อมที่จะทะลุร่างกายเพื่อทำอันตรายยีนส์ทำให้เกิดการผ่าเหล่า (mutations)

โพสิตรอน (positron, β^{+}) ก็คืออนุภาคที่มีอำนาจไฟฟ้าบวกมีมวลน้อยมาก ซึ่งไม่ต้องคำนึงถึงมีประจุไฟฟ้า +1 สัญลักษณ์เขียนได้ $^{-}{}^{0}_{+1}e$ เชื่อกันว่า โพสิตอนได้จากนิวเคลียสของธาตุกัมมันตภาพรังสี ดังนี้

โปรตอน ($^{1}_{1}p$) ———→ นิวตรอน ($^{1}_{0}n$) + โพสิตอน ($^{0}_{+1}e$)

โพสิตรอนมีอัตราเร็วเช่นเดียวกันกับอนุภาคบีต้า แต่อำนาจการทะลุทะลวงต่ำ

นิวตรอน (neutron, n) นิวตรอนเป็นอนุภาคที่ไม่มีอำนาจไฟฟ้า มีความเร็วประมาณ 10^{-5} ถึง 10^{-1} เท่า ของอัตราเร็วของแสง สัญลักษณ์เป็น $^{1}_{0}n$ มีมวล 1 amu

ตาราง 12-1 คุณสมบัติของอนุภาค (Properties of Particles)

อนุภาค	สัญลักษณ์	มวล	ประจุ	ลำดับอำนาจการซึม*
อัลฟ่า	$^{4}_{2}He$	4	+2	4
บีต้า	$^{0}_{-1}e$	น้อยมากไม่คิด	-1	3
แกมม่า	γ	0	0	1
โพสิตอน	$^{0}_{+1}e$	น้อยมากไม่คิด	+1	5
นิวตรอน	$^{1}_{0}n$	1	0	2

12-3 ปฏิกิริยานิวเคลียร์ (Nuclear Reactions)

ปฏิกิริยานิวเคลียร์เกิดจากนิวเคลียสของอะตอมให้อนุภาคอัลฟ่า อนุภาคบีต้า รังสีแกมม่ามีผลให้เลขอะตอม เลขมวล เกิดการเปลี่ยนแปลงไป

ก่อนที่จะศึกษาปฏิกิริยานิวเคลียร์ควรจะทราบเรื่องต่อไปนี้ด้วย

1. รู้จักสัญลักษณ์ของธาตุกัมมันตภาพรังสีและอนุภาคต่าง ๆ ด้วย สำหรับธาตุนั้นจะเขียน สัญลักษณ์ธาตุและกำกับค่าของเลขมวลและเลขอะตอมไว้ใกล้กับสัญลักษณ์ของธาตุดังนี้

เลขมวล 238
$^{238}_{92}U$
เลขอะตอม 92

2. อนุภาคอัลฟ่าแทนด้วย $^{4}_{2}He$ หรือ α - particles

3. อนุภาคบีต้าแทนด้วย $^{0}_{-1}e$ หรือ β - particles

4. รังสีแกมม่าแทนด้วย γ หรือ γ - ray

5. นิวตรอนแทนด้วย $^{1}_{0}n$

6. โปรตอนแทนด้วย $^{1}_{1}H$

7. ดิวทีเรียมและทริเทียมซึ่งเป็นไอโซโทปของอะตอมไฮโดรเจนหนักแทนด้วย $^{2}_{1}H$ และ $^{3}_{1}T$ ตามลำดับ

8. อนุภาคโพสิตรอนแทนด้วย $^{0}_{+1}e$

---

* ค่า 1 ถือว่าอำนาจการซึมมากที่สุด

ในการเขียนสมการนิวเคลียร์จะต้องคำนึงถึงว่า ต้องให้ผลบวกเลขอะตอมทางซ้ายและขวาเท่ากัน อีกทั้งผลบวกของเลขมวลทั้งสองข้างต้องมีค่าเท่ากัน ดังตัวอย่างกรณีอะตอมของธาตุยูเรเนียมเปล่งอนุภาคอัลฟา จึงเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$^{238}_{92}U \longrightarrow \alpha + {}^{234}_{90}X$$

หรือ $$^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{234}_{90}X$$

ธาตุ $^{234}_{90}X$ ก็คือ $^{234}_{90}Th$ (thorium)

ฉะนั้นเขียนได้เป็น

$$^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{234}_{90}Th$$

ธาตุทอเรียมเป็นธาตุกัมมันตภาพรังสีสลายให้อนุภาคอัลฟา ปฏิกริยาคือ

$$^{234}_{90}Th \longrightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{230}_{88}Ra$$

จะเห็นได้ว่าเมื่ออะตอมของธาตุกัมมันตภาพรังสีเปล่งอนุภาคอัลฟาออกมา เลขมวลของอะตอมนั้นจะลดลง 4 และเลขอะตอมลดลง 2

แต่ถ้าธาตุทอเรียมเปล่งอนุภาคบีต้า ($^{0}_{-1}e$) ปฏิกริยาจะเป็น

$$^{230}_{90}Th \longrightarrow {}^{0}_{-1}e + {}^{234}_{91}Pa$$

จากสมการถ้าอะตอมของธาตุกัมมันตภาพรังสี เปล่งอนุภาคบีต้าออกมา เลขมวลของธาตุทอเรียมจะคงเดิม แต่เลขอะตอมเพิ่มขึ้นเท่ากับหนึ่ง

เมื่อธาตุเปล่งรังสีแกมม่าจะไม่มีการเปลี่ยนเลขอะตอมหรือเลขมวลแต่อย่างใด เนื่องจากรังสีแกมม่าไม่ใช่อนุภาคจึงไม่มีทั้งมวลและประจุ ได้ธาตุเดิมแต่พลังงานลดลงเพราะพลังงานออกมาเมื่อเกิดรังสีแกมม่า ดังสมการ

$$^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{238}_{92}U + \gamma$$

ตัวอย่างของปฏิกิริยานิวเคลียร์.-

1. เขียนสมการนิวเคลียร์สำหรับปฏิกิริยาของธาตุแฟรงค์เซียม $^{221}_{87}Fr$ ซึ่งสลายให้อนุภาคอัลฟ่า

จากตารางธาตุ พบว่าธาตุแฟรงค์เซียมมีเลขอะตอมเท่ากับ 87 จึงเขียนสูตรเป็น $^{221}_{87}Fr$ อนุภาคอัลฟ่าคือ $^{4}_{2}He$

ฉะนั้นจึงเขียนสมการเป็น

$$^{221}_{87}Fr \longrightarrow {}^{4}_{2}He + X \text{ (X คือธาตุที่ได้จากการสลายตัวของ } {}^{221}_{87}Fr)$$

และสามารถคำนวณเลขอะตอมได้ = 87 - 2 = 85

เลขมวลได้ = 221 - 4 = 217

ฉะนั้น X ควรเป็นธาตุ At สมการควรเขียนได้อย่างสมบูรณ์ คือ

$$^{221}_{87}Fr \longrightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{217}_{85}At$$

2. เขียนสมการนิวเคลียร์ของปฏิกริยาซึ่ง $^{40}_{19}K$ สลายให้อนุภาคบีต้า

จากตารางธาตุพบว่าโปแตสเซียม (K) มีเลขอะตอมเท่ากับ 19 ดังนั้น โปแตสเซียมเขียนได้ $^{40}_{19}K$ อนุภาคบีต้าคือ $^{0}_{-1}e$ จึงเขียนสมการเป็น

$$^{40}_{19}K \longrightarrow {}^{0}_{-1}e + X$$

ฉะนั้น X น่าจะมีเลขอะตอมเท่ากับ 19 - (-1) = 20

เลขมวลเท่ากับ (40 - 0) = 40

ดังนั้น X น่าจะเขียน $^{40}_{20}X$ หรือ $^{40}_{20}Ca$

สมการควรเขียนได้อย่างสมบูรณ์ คือ

$$^{40}_{19}K \longrightarrow {}^{0}_{-1}e + {}^{40}_{20}Ca$$

ตัวอย่างสมการนิวเคลียร์

$$^{214}_{83}Bi \longrightarrow {}^{214}_{84}Po + {}^{0}_{-1}e$$

บิสมัท โพโลเนียม

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$$

ไนโตรเจน อนุภาคอัลฟ่า ออกซิเจน โปรตอน

$$^{226}_{88}Ra \longrightarrow ^{4}_{2}He + ^{222}_{86}Rn$$

เรเดียม อัลฟ่า เรดอน

$$^{82}_{35}Br \longrightarrow ^{0}_{-1}e + ^{82}_{36}Kr$$

โบรมีน อนุภาคบีต้า ครีฟตอน

$$^{238}_{92}U + ^{2}_{1}H \longrightarrow ^{238}_{93}Np + 2\,^{1}_{0}n$$

ยูเรเนียม ดิวทีเรียม เนปจูเนียม นิวตรอน

จากสมการนิวเคลียร์ที่แสดงมานี้จะเห็นได้ว่า ผลที่เกิดทางขวามือจะได้ธาตุใหม่ ๆ เกิดขึ้น ซึ่งไม่เหมือนทางซ้ายมือ ข้อแตกต่างระหว่างสมการเคมีและสมการนิวเคลียร์มีหลักอยู่ว่า ปฏิกริยาเคมีเกิดขึ้นเนื่องจากอิเลคตรอนวงนอกสุดของอะตอมของธาตุมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นผลที่ได้รับคือได้สารประกอบต่าง ๆ ไม่เหมือนสารที่เอามาทำปฏิกริยา แต่ทว่าองค์ประกอบของธาตุทางซ้ายมือมีอะไร องค์ประกอบของธาตุทางขวามือยังคงอยู่อย่างเดิม เพราะนิวเคลียสของธาตุไม่เปลี่ยนแปลง พิจารณาสมการเคมี

$$3Ca(OH)_2 + 2H_3PO_4 \longrightarrow Ca_3(PO_4) + 6H_2O$$

$$CaBr_2 + H_2SO_4 \longrightarrow CaSO_4 + 2H\,Br$$

ส่วนปฏิกริยานิวเคลียร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลง ณ ตำแหน่งนิวเคลียสของธาตุ โดยมีการเปล่งอนุภาคอัลฟ่า บีต้าและรังสีแกมม่าแล้วแต่กรณี ธาตุทางซ้ายมือมีอะไร เมื่อเกิดปฏิกิริยาแล้วสารประกอบทางขวามือ จะมีธาตุใหม่ไม่เหมือนเดิมเกิดขึ้น

12-4 กัมมันตภาพรังสีธรรมชาติและกัมมันตภาพรังสีเทียม (Natural and Artificial Radioactivity)

ธาตุบางตัว เช่น ยูเรเนียม เรเดียม จัดว่าเป็นธาตุที่มีกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติ ซึ่งจะค่อย ๆ เปลี่ยนจากธาตุหนึ่งไปเป็นอีกธาตุหนึ่งอย่างช้า ๆ ได้มีธาตุหนัก ๆ หลายธาตุที่มีอำนาจกัมมันตภาพโดยธรรมชาติ แต่ธาตุเบา ๆ หลายธาตุมิได้มีอำนาจกัมมันตภาพรังสี แต่สามารถเปลี่ยนธาตุเบา ๆ ทั้งหลายให้เป็นธาตุที่มีอำนาจกัมมันตภาพรังสีโดยใช้อนุภาคโปรตอน

นิวตรอน อิเลคตรอนหรืออนุภาคอัลฟายิงไปยังนิวเคลียสของธาตุเบา ๆ นั้น และสารกัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นนี้ เรียกว่ามีสมบัติกัมมันตภาพรังสีเทียมดังสมการ

$$^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{14}_{6}C + ^{1}_{1}H$$

นอกจากจะใช้วิธีนี้ยังใช้โดยใส่ธาตุในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู (nuclear reactor)

จากตารางธาตุจะเห็นได้ว่าธาตุที่มีเลขอะตอมมากกว่า 92 ได้มาจากมนุษย์ทำการยิง (bombardment) ธาตุอื่น ซึ่งเรียกว่าธาตุที่มนุษย์สร้าง (man made elements) เช่น ธาตุแคลิฟอร์เนียม (californium) ลอเรนเซียม (lawrencium) เบอร์เคเลียม เป็นต้น

12-5 ครึ่งชีวิต (Half-life)

อัตราการสลายตัว (disintegration) ของเรดิโอไอโซโทปแต่ละธาตุมิได้เท่ากัน ธาตุบางธาตุสลายตัวเร็วมาก บางธาตุช้ามาก ดังนั้น การสลายตัวของเรดิโอไอโซโทปอธิบายได้โดยยึดค่าของครึ่งชีวิต (half-life) ครึ่งชีวิตคือจำนวนเวลาที่ทำให้ธาตุกัมมันตภาพรังสีสลายไปครึ่งหนึ่งค่านี้จะคงที่เฉพาะแต่ละธาตุ เช่น ไอโอดีน - 131 มีครึ่งชีวิตเท่ากับแปดวัน ไนโตรเจน - 13 มีครึ่งชีวิต 10 นาที เหล็ก - 59 มีครึ่งชีวิต 45 วัน ฟอสฟอรัส - 32 มีครึ่งชีวิต 143 วัน

สมมติว่ามีไอโอดีน - 131 อยู่ 100 มิลลิกรัม หลังจากแปดวันจะมีไอโอดีน - 131 เหลืออยู่ 50 มิลลิกรัม และถ้าถัดจากนี้อีก 8 วันต่อมาจะเหลือไอโอดีน 25 มิลลิกรัม

ตาราง 12-2 เรดิโอไอโซโทปบางตัวและครึ่งชีวิต (Some Radioactive Isotopes and Their Half-lives)

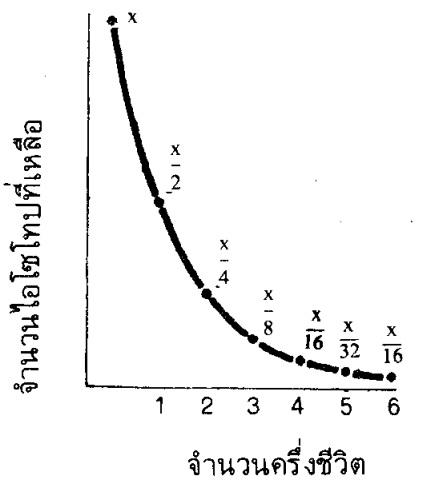
ธาตุ	ไอโซโทป	ครึ่งชีวิต	การแผ่รังสี
ไฮโดรเจน	$^{3}_{1}H$	12 ปี	อนุภาคบีต้า
คาร์บอน	$^{14}_{6}C$	5730 ปี	อนุภาคบีต้า
ฟอสฟอรัส	$^{32}_{15}P$	14 วัน	อนุภาคบีต้า
โปแตสเซียม	$^{40}_{19}K$	1.28×10^{9} ปี	อนุภาคบีต้าและรังสีแกมม่า
โคบอลท์	$^{60}_{27}Co$	5 ปี	อนุภาคบีต้าและรังสีแกมม่า

ธาตุ	ไอโซโทป	ครึ่งชีวิต	การแผ่รังสี
สตรอนเชี่ยม	$^{90}_{38}Sr$	28 ปี	อนุภาคบีต้า
ไอโอดีน	$^{131}_{53}I$	8 วัน	อนุภาคบีต้าและรังสีแกมม่า
เรเดียม	$^{226}_{88}Ra$	1600 ปี	อนุภาคอัลฟ่าและรังสีแกมม่า

ตัวอย่างของการคิดเรื่องครึ่งชีวิตสัมพันธ์กับปริมาณของเรดิโอไอโซโทปมีดังนี้ สมมติว่ามีฟอสฟอรัส - 32 ซึ่งมีครึ่งชีวิตเท่ากับ 14 วัน อยู่ในปริมาณ 500 มิลลิกรัม ให้หาว่าหลังจาก 70 วันแล้วจะมีจำนวนฟอสฟอรัส - 32 เหลืออยู่เท่าใด

วิธีคิด 1 ครึ่งชีวิตใช้เวลา 14วัน ถ้า 70 วัน จะมีอยู่เท่ากับ

$$\frac{70 \text{ วัน} \times \text{ครึ่งชีวิต}}{14 \text{ วัน}} = 5 \text{ ครึ่งชีวิต}$$



จากกราฟ จะเห็นว่า 5 ครึ่งชีวิตจำนวน ^{32}P ที่เหลือควรเป็น $\frac{X}{32}$ เมื่อ X คือปริมาณของฟอสฟอรัสที่ตั้งต้น ในกรณีเท่ากับ 500 mg

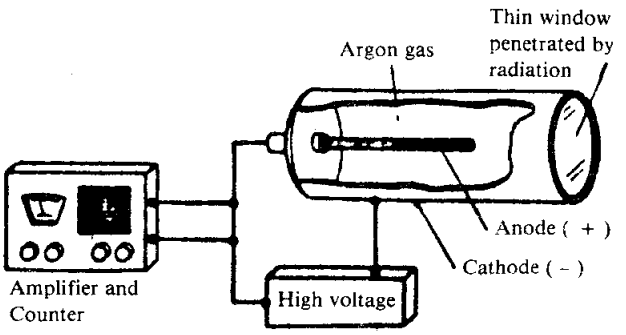
ปริมาณที่เหลืออยู่เท่ากับ $\frac{500}{32}$ mg = 15.6 mg

ความรู้ครึ่งชีวิตนำไปใช้ในการหาอายุของซากสิ่งมีชีวิตหรือสิ่งหักพังที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ เรียกวิธีการนี้ว่า Radiocarbon Dating

12-6 การตรวจและการวัดการแผ่รังสี (Detection and Measurement of Radiation)

ถ้าต้องการตรวจหาปริมาณการแผ่รังสีจำเป็นจะต้องใช้เครื่องมือตรวจเพราะเราไม่สามารถจะได้ยิน หรือรู้สึก หรือดมกลิ่นได้ โดยเฉพาะเรื่องของสารกัมมันตภาพรังสีนับว่ามีอันตรายมาก ดังนั้นมนุษย์จึงจำเป็นต้องประดิษฐ์เครื่องมือใช้ตรวจและวัดปริมาณของการแผ่รังสี โดยทั่ว ๆ ไปใช้เครื่องมือไกเกอร์เคาน์เตอร์ (Geiger Counter) เครื่องมือนี้จัดว่ามีประสิทธิภาพสูงในการตรวจและวัดปริมาณของอนุภาคและรังสี เครื่องมือนี้ตรวจและวัดได้แม้กระทั่งมีสารอยู่ในปริมาณน้อยมากซึ่งเรียกปริมาณน้อยมากนี้ว่า "เทรซเซอร์ (tracer)"

หลักเกณฑ์ง่าย ๆ ของเครื่องมือนี้ประกอบด้วยกระบอกแก้วภายในมีกระบอกโลหะ ตรงกลางกระบอกโลหะมีลวดทำด้วยโลหะเล็ก ๆ บรรจุอยู่และต่อไปยังขั้วบวกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงมาก ส่วนตัวกระบอกโลหะต่อไปยังขั้วลบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะติดต่อกับเครื่องขยายเสียงและเครื่องนับจำนวนอนุภาคด้วย ภายในกระบอกแก้วมีก๊าซหรือไอที่มีความกดดันต่ำ เช่น ก๊าซอาร์กอนหรือไอของแอลกอฮอล์ฟุ้งกระจาย ขณะใช้เครื่องมือนี้วัดหรือนับจำนวนอนุภาค จะพบว่าขณะที่อนุภาควิ่งมากระทบกับอะตอมของก๊าซในหลอดแก้วจะกระแทกอิเลคตรอนให้หลุดออกจากอะตอมของก๊าซนั้น อิเลคตรอนจะวิ่งมายังลวดโลหะซึ่งต่อกับขั้วบวก ในขณะเดียวกันก็จะเกิดปริมาณของอิเลคตรอนไหลไปสู่ลวดโลหะ ส่วนกระบอกก็ทำหน้าที่เป็นขั้วลบ ดังนั้นจะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในวงจรนั้น ๆ กระแสจะมามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณอนุภาคที่ตกกระทบ เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นจะไปทำให้เครื่องขยายเสียงดัง เครื่องนับจำนวนก็จะทำงานทันที ที่กล่าวมานี้เป็นเพียงหลักการของเครื่องมือ ส่วนรายละเอียดหรือการสร้างเครื่องมือให้มีประสิทธิภาพสูงเป็นเรื่องของผู้ประดิษฐ์ภายหลัง



รูปเครื่องมือ ไกเกอร์เคาน์เตอร์

12-7 การแปรธาตุเทียม (Artificial Transmulation)

ได้ทราบแล้วว่าสารกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาตินั้นจะสลายตัวให้อนุภาคและรังสีออกมาตลอดเวลาแล้วแต่กรณี และจะเปลี่ยนแปลงกลายเป็นธาตุใหม่เกิดขึ้น เป็นเช่นนี้เรื่อย ๆ ไปจนกลายเป็นธาตุตามปกติ กล่าวคือไม่มีกัมมันตภาพรังสี นั่นคือการแปรธาตุตามธรรมชาติ ในการแปรธาตุนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่นิวเคลียสขณะที่สารกัมมันตภาพรังสีแตกสลาย (Disintegrate) ไปนี้ มวลของสารบางส่วนจะหายไปบ้าง ซึ่งอาจจะคำนวณได้จากสมการของไอน์สไตน์เมื่อมนุษย์ทราบหลักเกณฑ์และความเป็นจริง มนุษย์ก็พยายามที่จะทำการเปลี่ยนธาตุหนึ่งให้เป็นอีกธาตุหนึ่ง โดยใช้หลักที่ว่าต้องทำให้นิวเคลียสของธาตุเกิดการเปลี่ยนแปลงให้ได้ ฉะนั้นจึงเกิดการแปรธาตุเทียมเกิดขึ้น

มนุษย์ได้ใฝ่ฝันมานานหนักหนาแล้วเป็นศตวรรษ ๆ ที่จะเปลี่ยนธาตุหนึ่งให้เป็นธาตุอื่น ๆ ให้จงได้ เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วเขาก็ลองใช้อนุภาคอัลฟ่า (α - particle) ยิงเข้าไปที่นิวเคลียสของธาตุ อนุภาคอัลฟ่าที่ใช้ก็ได้จากสารกัมมันตภาพรังสีจากธรรมชาติ ปรากฏว่าได้ธาตุใหม่เกิดขึ้น

คศ. 1919 Rutherford นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษได้ใช้อนุภาคอัลฟ่ายิงนิวเคลียสของธาตุไนโตรเจน ผลก็คือได้ธาตุออกซิเจนและไฮโดรเจนดังสมการ

$$^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H$$

จากสมการนี้จะสังเกตเห็นว่าปริมาณตัวเลขทางซ้ายบน จะเท่ากับปริมาณตัวเลขทางขวามือบน ปริมาณตัวเลขทางซ้ายมือล่าง จะเท่ากับปริมาณตัวเลขทางขวามือล่างเช่นกัน สมการนี้แสดงว่าถ้าใช้อนุภาคอัลฟ่ายิงนิวเคลียสของไนโตรเจน จะได้ธาตุออกซิเจนและอนุภาคโปรตอน ต่อจากนั้นก็ได้มีการใช้อนุภาคอัลฟ่ายิงธาตุอื่นอีกเช่น

$$^{27}_{13}Al + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{30}_{14}Si + ^{1}_{1}H$$

คศ. 1932 Chadwick ได้ใช้อนุภาคอัลฟ่ายิงนิวเคลียสของธาตุเบอริลเลียม (Berryllium) ได้ธาตุคาร์บอน พร้อมทั้งพบว่ามีนิวตรอนเกิดขึ้น นับว่าเป็นการค้นพบนิวตรอนครั้งแรก

$$^{9}_{4}Be + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{12}_{6}C + ^{1}_{0}n$$

เบอริลเลียม อัลฟ่า คาร์บอน นิวตรอน

ค.ศ. 1932 ได้มีการใช้อนุภาคอัลฟ่ายิงธาตุต่าง ๆ เพราะเนื่องจากว่าเป็นอนุภาคตัวเดียวที่พบว่าเกิดจากธาตุกัมมันตภาพรังสี ต่อมาได้มีการประดิษฐ์เครื่องมือ Cyclotron ขึ้นโดย E.O. Lawrence แห่งมหาวิทยาลัยคาลิฟอร์เนีย เครื่องมือนี้ใช้เร่งอนุภาคใด ๆ ก็ได้ เพื่อให้เกิดพลังงานสูงพอที่จะถูกนิวเคลียสได้ อนุภาคที่ใช้เร่งอาจเป็นโปรตอน (proton) ดิวตรอน (deutrons) และฮีเลียมอิออน หรือแม้กระทั่งนิวตรอนซึ่งไม่มีอำนาจไฟฟ้าเลยก็ได้ ตัวอย่างซึ่งใช้อนุภาคโปรตอน ดิวตรอน และนิวตรอนยิงนิวเคลียสของธาตุต่าง ๆ ดังนี้

$$^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}H\ (proton) \longrightarrow ^{4}_{2}He + ^{4}_{2}He$$

$$^{24}_{12}Mg + ^{2}_{1}H\ (Deutron) \longrightarrow ^{24}_{11}Na + ^{1}_{1}H + ^{1}_{1}H\ (protons)$$

$$^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n\ (neutron) \longrightarrow ^{11}_{5}B + ^{4}_{2}He$$

นอกจากเครื่องมือไซโคลตรอน (Cyclotron) แล้วก็ยังมีซินโครตรอน (synchrotron) เบตาตรอน (Betatron) อีกด้วย ความมุ่งหมายเดียวกันสำหรับธาตุที่มนุษย์ทำขึ้นโดยการใช้ยิงอนุภาคเข้าไปในธาตุอื่นนั้น ปรากฏว่าผลที่เกิดขึ้นไม่อยู่ตัว และเปล่งอนุภาคออกมาทำให้ได้ธาตุอื่นเกิดขึ้น เช่น

$$^{24}_{12}Mg + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{24}_{12}Na + ^{1}_{1}H\ (\ ^{24}_{11}Na\ \text{ไม่อยู่ตัวและคายอนุภาคบีต้า})$$

$$^{24}_{11}Na \longrightarrow ^{24}_{12}Mg + (\ ^{0}_{-1}e\ )$$