

## บทที่ 8

### อะตอมและนิวเคลียส

#### เค้าโครงเรื่อง

- 8.1 อะตอม
- 8.2 ขนาดของอะตอม
- 8.3 สเปกตรัมของอะตอม
- 8.4 นิวเคลียส
- 8.5 โครงสร้างของนิวเคลียส
- 8.6 กัมมันตภาพรังสี
- 8.7 การวัดกัมมันตภาพรังสี
  - 8.7.1 หัววัดกัมมันตภาพรังสี
  - 8.7.2 หน่วยจากเครื่องวัดกัมมันตภาพรังสี
- 8.8 ผลจากการได้รับกัมมันตภาพรังสี
- 8.9 การป้องกันกัมมันตภาพรังสี
- 8.10 ประโยชน์ของกัมมันตภาพรังสีด้านการแพทย์

#### สาระสำคัญ

1. อะตอมประกอบด้วยอิเล็กตรอน โปรตรอน และนิวตรอน นิวเคลียสเป็นแก่นของอะตอม ซึ่งประกอบด้วยโปรตรอนและนิวตรอนอัดรวมกันอยู่ อิเล็กตรอนโคจรอยู่โดยรอบนิวเคลียส
2. การที่ธาตุหนึ่ง ๆ มีโปรตรอนหรือนิวตรอนต่างออกไป เรียกว่าเกิดไอโซโทปของธาตุนั้น ๆ
3. ไอโซโทปแบ่งเป็นไอโซโทปธรรมดาและไอโซโทปรังสี
4. กัมมันตภาพรังสี ก่อทั้งประโยชน์และโทษ การใช้ต้องรู้จักป้องกัน
5. การแพทย์ที่ใช้กัมมันตภาพรังสีตรวจวินิจฉัยโรคคือสาขาเวชศาสตร์นิวเคลียร์

#### จุดประสงค์ของการเรียนรู้

1. เพื่อให้ให้นักศึกษารู้จักกัมมันตภาพรังสีทั้งในเชิงประโยชน์และโทษ
2. เพื่อรู้จักหน่วยที่ใช้อธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับกัมมันตภาพรังสี
3. เพื่อรู้จักการป้องกันอันตรายจากกัมมันตภาพรังสี

รายละเอียดของอะตอม เช่น สมการที่ใช้อธิบายนั้นต้องอาศัยทฤษฎีควอนตัม ซึ่งจะไม่กล่าวถึงในบทเรียนนี้ ทฤษฎีอะตอมช่วยไขปริศนาเกี่ยวกับโครงสร้างอะตอมของสารต่างๆ ในศตวรรษที่ 17 นิยมคิดว่าเกี่ยวกับแก๊สเป็นส่วนใหญ่ การค้นพบสารกึ่งตัวนำ ตลอดจนตัวนำยิ่งยวด นั้นส่วนอาศัยพื้นฐานความรู้ของโครงสร้างอะตอม ในสาขาออปติกส์(optics) ได้ค้นพบเลเซอร์ (lasers)ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางทั้งงานวิเคราะห์หัตถ์และด้านการแพทย์ ที่พบทั่วไปในศูนย์การค้าคือเครื่องอ่านราคาสินค้าที่แผนกการเงิน เป็นต้น

### 8.1 อะตอม

การค้นพบอะตอมเริ่มตั้งแต่ศตวรรษที่ 17 คำว่า"อะตอม"ได้จากภาษากรีก atomos แปลว่าไม่สามารถแบ่งแยกได้อีก ซึ่งเดิมนักวิทยาศาสตร์คิดว่าอะตอมเป็นส่วนเล็กสุดของสาร แต่ปัจจุบันยอมรับทั่วไปว่าอะตอมประกอบด้วยโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน โดยสองอนุภาคแรกรวมตัวกันอยู่ที่แก่นอะตอม ส่วนอิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียสในแถบโคจรซึ่งมีพลังงานค่าหนึ่งที่เป็นค่าจำเพาะของแต่ละธาตุ อนุภาคทั้งสามดังกล่าวนี้สามารถย้ายที่อยู่ได้ วงโคจรของอิเล็กตรอนยังแบ่งเป็นหลายๆวงและมีค่าพลังงานต่างออกไปด้วย กำหนดเรียกชื่อวงโคจรเรียงตามอักษรภาษาอังกฤษโดยเริ่มจาก K เป็นวงโคจรที่หนึ่งและอยู่ใกล้นิวเคลียสมากสุด วงถัดไปคือ L,M,N,O ตามลำดับ อิเล็กตรอนที่ถูกขังให้อยู่ในวงโคจรนั้นมีจำนวนที่เป็นไปตามทฤษฎีควอนตัม โดยวง K นั้นสามารถบรรจุอิเล็กตรอนได้มากที่สุด 2 อิเล็กตรอน แต่การกำหนดเช่นนี้เป็นไปในทำนองเดียวกับเหตุการณ์ทั่วไป เช่น รถยนต์นั่งได้สูงสุด 5 คน แต่จะนั่งคนเดียวก็ได้ รถที่มีเพียง 1 อิเล็กตรอนในวง K คือไฮโดรเจน ดังนั้น ตารางธาตุ( Periodic table of elements )จึงกำหนดไฮโดรเจนเป็นธาตุที่หนึ่ง และฮีเลียม( He )เป็นธาตุลำดับที่ 2 คือมีสองอิเล็กตรอนนั่นเอง เห็นได้ว่าอิเล็กตรอนมีบทบาทสำคัญในการจัดเรียงลำดับของบรรดาธาตุในตารางธาตุ นอกจากนี้ยังเป็นดัชนีบ่งถึงสมบัติอื่นๆของธาตุซึ่งเป็นประโยชน์มหาศาลในงานวิเคราะห์หัตถ์ หัตถ์ที่สุดคือความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีนั่นเอง

อย่างไรก็ตาม ธาตุที่มีอิเล็กตรอนจำนวนมากๆนั้นการคาดคะเนสมบัติบางอย่างของธาตุอาจดูจากจำนวนอิเล็กตรอนในวงโคจรนอกสุดซึ่งเรียกว่า"วาเลนซ์อิเล็กตรอน" (valence electron) เช่น ซิลิคอน(silicon)เป็นสารกึ่งตัวนำ ใช้แพร่หลายในการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย 14 อิเล็กตรอน การบรรจุอิเล็กตรอนในวงโคจรเป็นตามทฤษฎีควอนตัม (รายละเอียดจะไม่กล่าวถึงในหนังสือนี้) คือ 2, 8, และ 4 อิเล็กตรอน วาเลนซ์อิเล็กตรอนมีค่าเป็น 4 ธาตุซิลิคอนจึงถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่ 4 ในตารางธาตุ (หมายเหตุ การแบ่งกลุ่มในตารางธาตุนั้นแบ่งตามแนวตั้งหรือคอลัมน์) และตามธรรมชาตินั้นอะตอมเดี่ยวไม่สามารถอยู่ได้ลำพัง การเกาะยึดกันหลายๆอะตอมเพื่อก่อเป็นโมเลกุลมีหลายแบบ เรียกการยึดเกาะดังกล่าวว่า"พันธะ"หรือ"ทับศัพท์เป็น" บอนดิงค์ "(bonding)กรณีซิลิคอนนั้นเป็นพันธะโควาเลนต์ วาเลนซ์อิเล็กตรอนทั้งสี่ยึดกับ 1 อิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมทั้งสิ้น สรุปคือในตัวอย่างนี้มี 5 อะตอม ดังนั้น กรณีที่เกิดโมเลกุลซิลิคอนนั้น อะตอมเริ่มแรกมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเป็นจำนวน 8 ซึ่งถือเป็นภาวะเสถียรของอะตอม(ตามทฤษฎีควอนตัม) จึงไม่มี

การนำไฟฟ้าเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม นักวิทยาศาสตร์ก็คิดค้นให้ซิลิคอนนำไฟฟ้าได้ดี ณ อุณหภูมิหนึ่งก็ได้ สรุปคือที่มาของชื่อ "สารกึ่งตัวนำ" ได้จากการประพัตตัวของธาตุนั้นเอง

พารามิเตอร์ที่น่าสนใจคือใน 1 โมเลกุลประกอบด้วยอะตอมจำนวนเท่าใด ? ถ้าพิจารณาตามคำอธิบายข้างต้นจะเห็นว่าเป็นปริมาณที่เล็กมากจนคาดว่าไม่น่าหาคำตอบได้แน่นอน ในชีวิตจริงเริ่มจากปริมาณมากๆ เช่น อ็อกซิเจน ( $O_2$ ) 22 ลิตร มวลของ 1 อ็อกซิเจนมีค่าประมาณ 16 หน่วย(จากตารางธาตุ ในตารางที่ 8.3 ) ดังนั้น 2 อะตอมของอ็อกซิเจนจะมีมวลเป็น  $2 \times 16 = 32$  หน่วย โดยทั่วไปมวลสัมพันธ์กับน้ำหนักคือ

$$\text{น้ำหนัก} = (\text{มวล}) (\text{แรงดึงดูดของโลก})$$

และหน่วยของน้ำหนักที่ใช้ทั่วไปเป็นกรัม จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ที่ 1 STP( standard temperature and pressure หรือ 1 atm ถือว่าอุณหภูมิ =  $0^\circ C$ ) นั้นแก๊สมีปริมาตร 22.4 ลิตร(liters) ซึ่งเท่ากับ  $22.4 \times 10^3 \text{ cm}^3$  สรุป อ็อกซิเจน 22.4 ลิตรมีมวล 32 กรัม ( ถือว่าที่ STP นั้นมวลของแก๊สในหน่วยกรัมมีค่าเท่ากับมวลของมันเอง )

การวัดปริมาณดังกล่าวแล้วนั้นเป็นประโยชน์มาก และเรียกชื่อเป็น gram-molecular หรือเรียกว่า " โมล " ( mole ) ถ้าใช้หน่วยกิโลโมลจะต้องใช้หน่วยของมวลเป็นกิโลกรัมตามไปด้วย แต่โดยทั่วไปธาตุที่ไม่ใช่แก๊สจะมีอะตอมแยกกันอยู่ และการกล่าวถึงมักเรียกว่าอะตอมมากกว่า โมเลกุล ดังนั้น ใช้กิโลโมลแทน kilogram-atomic mass การวัดพารามิเตอร์เหล่านี้ เริ่มจากอโวกาโดร(Avogadro) จึงกำหนดจำนวนโมเลกุลในหนึ่งโมลเป็น Avogadro's number ( $N_A$ )

$$\text{โดยให้} \quad N_A = 6.022 \times 10^{26} \text{ atoms / kmol}$$

ตัวอย่าง 8.1 ทองแดงปริมาตร 1 ซม.<sup>3</sup>จะมีอะตอมจำนวนเท่าใด

วิธี อ่านค่าจากตารางธาตุ ทองแดงมีมวลอะตอม = 63.6 g / mol และความหนาแน่น 8.96 g / cm<sup>3</sup>

วิธีแก้ปัญหานี้

โดย  $m$  คือมวลของทองแดง

$v$  คือปริมาตรของทองแดง

$d$  คือความหนาแน่น

$$\text{แทนค่า} \quad m = (8.96 \text{ g/cm}^3)(1.00 \text{ cm}^3) = 8.96 \text{ g}$$

หาค่าของจำนวนโมลโดยใช้ความสัมพันธ์ :

$$\text{จำนวนโมล} = \text{มวล} / \text{มวลอะตอม}$$

$$\text{จำนวนโมล} = 8.96 \text{ g} / 63.6 \text{ g / mol} = 0.141 \text{ mol}$$

$$\text{จำนวนอะตอม} = \text{จำนวนโมล} \cdot N_A$$

$$= (0.141 \text{ mol})(6.02 \times 10^{23} \text{ atom/mol})$$

$$= 8.49 \times 10^{22} \text{ อะตอม}$$

สรุป ทองแดง 1 cc ประกอบด้วยอะตอมจำนวน  $8.49 \times 10^{22}$  อะตอม หรือกล่าวได้ว่าปริมาตร 1 อะตอมมีค่าเป็น  $1.18 \times 10^{-23} \text{ cm}^3 (= 1.18 \times 10^{-29} \text{ m}^3)$  ดังนั้น ความยาว 1 ด้านของปริมาตรดังกล่าวคือ  $\sqrt[3]{(1.18 \times 10^{-29})} \approx 2.28 \times 10^{-10} \text{ m}$  ถ้าไม่คำนึงถึงรูปทรงตลอดจนลักษณะการเรียงตัวของอะตอม อาจกล่าวได้ว่าอะตอมมีขนาดประมาณ  $10^{-10} \text{ m}$

## 8.2 ขนาดของอะตอม

จากหัวข้อ 8.1 นั้นมวลของสารต่างชนิดกันจะมีปริมาตรเนื้อสารต่างกัน เช่น ตะกั่ว 1 กิโลกรัมจะมีปริมาตรน้อยกว่าไยหยุ่น 1 กิโลกรัม เพื่อความสะดวกจึงเสนอพารามิเตอร์ที่วัดเทียบปริมาตรของมวลใน 1 หน่วยปริมาตร และเรียกค่านี้ว่าความหนาแน่น ซึ่งใช้อักษรกรีกแทนคือ  $\rho$  แทนความหนาแน่น อ่านว่า rho และเขียนสมการเป็น

$$\rho = m/v \quad (8.1)$$

ความหมายแท้จริงคือ ความหนาแน่นเป็นสมบัติจำเพาะของสาร และมวลเป็นสมบัติจำเพาะของวัตถุ

ตัวอย่าง 8.2 จงหา (1) มวลของทองทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1 เมตร (2) จำนวนอะตอมที่บรรจุอยู่ โดยถือว่ามวลอะตอมของทองแดงคือ 197 u และความหนาแน่น  $19.3 \times 10^3 \text{ g/cm}^3$

วิธี (1) มวลที่ต้องการหาใช้นี้ใช้สมการ  $m = \rho v$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรทรงกลมคือ} \quad 4/3 \pi r^3 &= (4/3)(3.1416)(0.05 \text{ m})^3 \\ &= 0.524 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad m &= (19.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(0.524 \times 10^{-3} \text{ m}^3) \\ &= 10 \text{ kg} \end{aligned}$$

(2) จำนวนอะตอมคือ N และถือว่า  $N = N_A \text{ kilomole}$

จากตาราง 8.3 ค่ากิโลโมลของทอง ( $\text{Au}^{79}$ ) ประมาณ 197 ดังนั้นทรงกลมนี้มีค่าประมาณ 0.05127 kmol และแทนค่า

$$\begin{aligned} N &= (6.022 \times 10^{26} \text{ atoms / kmol})(0.05127 \text{ kmol}) \\ &= 3.1 \times 10^{25} \text{ atoms} \end{aligned}$$

พารามิเตอร์ที่น่าสนใจคือขนาดของอะตอมและโมเลกุล ซึ่งค่าที่ยอมรับทั่วไปในปัจจุบันคือ  $1 \times 10^{-10} \text{ m}$  ถึง  $3 \times 10^{-10} \text{ m}$  จากความรู้เดิมคือ  $\rho = m/v$  นั้น ถ้าปริมาตรที่ใช้คำนวณเป็นกรณีไม่คำนึงถึงช่องว่างระหว่างอะตอม โดยกำหนดปริมาตรเป็นจตุรัสเล็กๆ ให้แต่ละด้านยาว L ปริมาตรคือ  $L^3$  ใน 1 หน่วยปริมาตรของ 1 โมลจะมีค่า  $N_A L^3$  ดังนั้น

$$\begin{aligned} \rho &= m/v = m/(N_A L^3) \\ L &= (m/N_A \rho)^{1/3} \end{aligned}$$

สำหรับโมเลกุลน้ำ ขนาดโดยประมาณคือ

$$L = [18G / (6.022 \times 10^{23} \text{ Atom / mol})(1.0 \text{ g / cm}^3)]^{1/3}$$

$$\approx 3 \times 10^{-10} \text{ m หรือ } 0.3 \text{ nm}$$

จำนวนอะตอมมีค่ามากจนดูจะมีค่ามหาศาลเมื่อเทียบกับปริมาณดาวในท้องฟ้า ต่อไปลองคำนวณปริมาณน้ำ 1 ซ็อนโต๊ะ ซึ่งหนักประมาณ 18 g หรือ 1 โมล ผลคูณของ  $N_A$  กับขนาดของ 1 อะตอมน้ำคือ  $(6.022 \times 10^{23})(3 \times 10^{-10} \text{ m}) = 1.8 \times 10^{14} \text{ m}$  เท่ากับระยะการเดินทางจากโลก-ดวงอาทิตย์ถึง 600 เท่า

นอกจากนี้ ได้มีการนำเสนอโครงสร้างอะตอมโดยมีนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน เช่น Plank, Einstein, และ Bohr เป็นต้น มีการค้นพบปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกของสารบางชนิด กล่าวคือการเปล่งอิเล็กตรอนเมื่อสารนั้นได้รับความร้อนจากแสงที่ส่องมาถูกนั่นเอง

### 8.3 สเปกตรัมของอะตอม

ในช่วงปลายปี ค. ศ. 1800 นักวิทยาศาสตร์ค้นคว้าเกี่ยวกับสเปกโทรสโกปี (spectroscopy) ซึ่งช่วยแยกแยะชนิดของอะตอม คำว่า "สเปกตรัม" เป็นพหูพจน์ของ spectrum คือแถบขาว-ดำหรือสีที่ถูกเปล่งออกจากอะตอม บรรดาแถบดังกล่าวถูกเรียกว่า spectral lines ซึ่งแยกได้ 2 ประเภทคือ (1) แถบสเปกตรัมที่เกิดจากอะตอมเปล่งคลื่นความยาวต่างๆ เรียกเป็น emission spectrum สาเหตุคืออะตอมของแก๊สถูกกระตุ้นให้อยู่ในสภาวะที่ต่างไปจากเดิม ซึ่งรวมถึงระดับพลังงานของอะตอมแปรค่าไป การคืนสู่ระดับพลังงานเดิมจะเกิดการเปล่งคลื่นความยาวค่าหนึ่งออกมา คลื่นนี้จะเป็นค่าสอดคล้องกับค่าจำเพาะของอะตอมแต่ละธาตุ ส่วนสีของแถบแสงนั้นเป็นไปตามกำหนด ภาพที่เห็นคือ ฉากที่มีสีดำเป็นพื้นและปรากฏแถบสีเป็นแนวเล็กๆบนฉาก (2) เป็นกรณีตรงข้ามกับข้อ (1) ถ้าแสงขาวผ่านแก๊สเดิมในข้อ (1) บรรดาอะตอมจะดูดซับคลื่นแต่ละความยาวไว้ เรียกว่า absorption spectrum สิ่งที่มีมองเห็นคือเส้นสีดำปรากฏบนแถบสีที่เป็นสีพื้นบนฉาก กล่าวคือ ฉากพื้นจะมีสีต่างๆแปรความเข้มกระจายทั่วและสเปกตรัมจะปรากฏเป็นเส้นดำบนฉาก

การค้นพบสเปกตรัมของอะตอมช่วยพัฒนาทฤษฎีอะตอมได้มาก และแนวคิดเกี่ยวกับเส้นสเปกตรัมนี้เป็นเช่นเดียวกับปริซึมแยกแสงขาวออกเป็นสีต่างๆนั่นเอง ธาตุแต่ละธาตุจะมีสเปกตรัมแปลกแยกกันออกไปทำนองเดียวกับลายพิมพ์นิ้วมือของมนุษย์ และสิ่งซึ่งกว่าที่ได้อธิบายมาแล้วคือการเปล่งแสงออกจากอะตอมนั้นเกิดจากการสั่นแบบไวเบรต (vibrate) ของอนุภาคภายในอะตอม ตัวอย่างแถบสีของอะตอมไฮโดรเจนที่สังเกตได้คือ

สี	ความยาวคลื่น	ชื่อเส้น
สีแดง	656.28	$H_\alpha$
น้ำเงิน-เขียว	486.13	$H_\beta$
ม่วง	434.05	$H_\gamma$
ม่วง	410.12	$H_\delta$

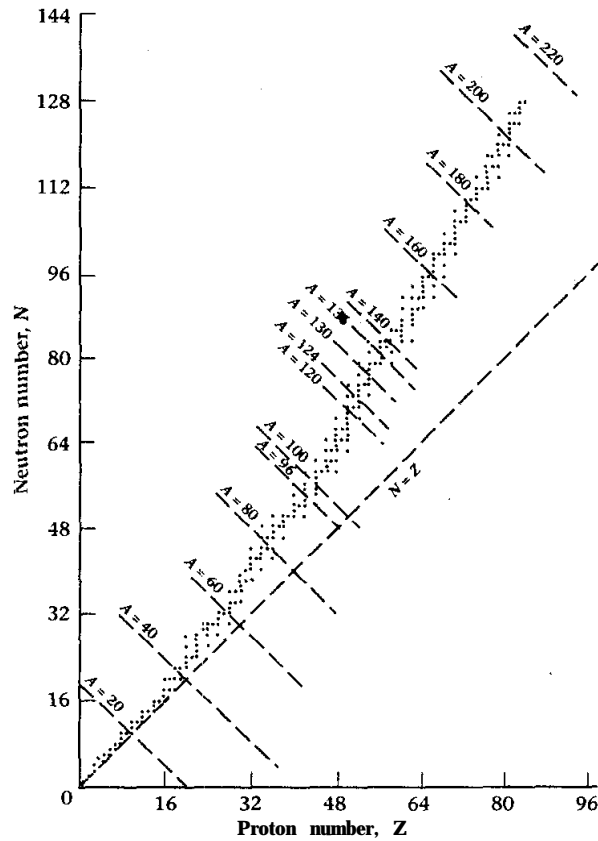
#### 8.4 นิวเคลียส ( Nucleus )

เป็นที่ทราบกันดีว่านิวเคลียสเป็นแก่นอะตอมและประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอนยึดกันอยู่ด้วยแรง strong force เส้นผ่าศูนย์กลางของนิวเคลียสน้อยกว่าของอะตอมถึง 10k เท่า การจัดเรียงตัวของนิวเคลียสนั้นแตกต่างออกไปซึ่งการแบ่งสารออกเป็นของแข็ง ของเหลวและแก๊สนั้นถ้าสารใดในสภาวะปกติสามารถคงรูปร่างได้ก็จัดเป็นของแข็ง ของเหลวและแก๊สถูกจัดรวมเป็นของไหลและมีรูปทรงตามภาชนะที่ใส่แต่ปริมาตรคงเดิม เป็นไปได้ที่สารชนิดหนึ่งจะอยู่ในรูปของแข็งของเหลว หรือแก๊สก็ได้ สถานะของสารเรียกว่าเฟส ( phase )

คำว่านิวเคลียสถูกกำหนดขึ้นในปี ค.ศ.1912 ( พ.ศ.2455 ) การค้นพบนิวเคลียสของอะตอมก่อให้เกิดทฤษฎีนิวเคลียร์ ซึ่งแรงรายละเอียดของนิวเคลียส สร้างความก้าวหน้าในวงการวิทยาศาสตร์มาก อย่างไรก็ตาม เมื่อเอ่ยถึงนิวเคลียร์มักจะทำให้รำลึกถึงอาวุธหรือระเบิดนิวเคลียร์ เป็นเชิงทำลายนั่นเอง แท้จริงแล้วเทคโนโลยีนิวเคลียร์ซึ่งสร้างสรรค์นั้นมีมากมายและแผ่กระจายไปแทบทุกสาขาวิชา เช่น แพทย์ ชีววิทยา เกษตร อุตสาหกรรม เป็นต้น

ค.ศ.1896 เฮนรี เบคเคอเรล ( Henri Becquerel ) ได้ค้นพบกัมมันตภาพรังสี จากนั้นมีการศึกษาต่อเนื่องกันเรื่อยจนพบกับมันดกาฟรังสี อัลฟา(alpha) เบตา(beta) แกมมา(gamma) และเอ็กซ์เรย์(x-rays) เป็นต้น อนุภาคอัลฟาเป็นนิวเคลียสของฮีเลียม(helium) การเขียนสัญลักษณ์ของธาตุใดๆ นั้นใช้ X แทนธาตุ และ  ${}^A_Z X$  หมายถึงธาตุ X มีมวลอะตอม A เลขเชิงอะตอม Z ( เป็นจำนวนโปรตอน ) นิวเคลียสที่มีค่า Z เท่ากันแต่ A ต่างกันเรียกเป็นไอโซโทป ( isotope ) และไอโซโทปของธาตุเดียวกันมีสมบัติทางเคมีเช่นเดียวกันเนื่องจากจำนวนและการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็นเช่นเดียวกัน แต่สมบัติทางนิวเคลียร์ต่างกัน กล่าวคือไอโซโทปบางตัวเป็นสารกัมมันตรังสีแต่บางตัวไม่ใช่ เช่น ไอโซโทปคาร์บอนมี A = 12 เป็นไอโซโทปเสถียร แต่ถ้า A = 14 เป็นไอโซโทปรังสี เป็นต้น ปัจจุบันพบไอโซโทปทั้งหมด 800 ไอโซโทป ซึ่งรวมทั้งที่เกิดเองตามธรรมชาติและที่มนุษย์ผลิตขึ้น ในจำนวนดังกล่าวมี 280 ไอโซโทปที่มีภาวะเสถียรหรือคงตัว ในรูป 8.1 พวงธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำมีค่า N = P แต่ธาตุที่เลขอะตอมค่าสูงจะมี N มากกว่า P เล็กน้อย

ไฮโดรเจนเป็นธาตุแรกในตารางธาตุ มี 3 ไอโซโทปคือ  ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^3_1\text{H}$  มีชื่อเรียกเฉพาะคือ ถ้า Z = 1, A = 1 เป็นไฮโดรเจนที่เบาสุดและเกิดตามธรรมชาติ 99.985 % ถ้า Z = 1, A = 2 เรียกเป็นดิวทีเรียม ( deuterium ) เขียนด้วยสัญลักษณ์  ${}^2_1\text{D}$  ก็ได้ เกิดตามธรรมชาติ 0.015 % หรือกล่าวอย่างง่ายก็คือไฮโดรเจน 6500 อะตอมจะเป็นดิวทีเรียมเพียง 1 อะตอม ส่วน Z = 1, A = 3 เป็นกัมมันตรังสีเรียกทริเทียม ( tritium ) และเขียนแทนด้วย  ${}^3_1\text{T}$  มีในปริมาณน้อยๆเท่านั้น คือไฮโดรเจน  $10^{18}$  อะตอมมี  ${}^3_1\text{T}$  เพียง 1 อะตอมเท่านั้น นอกจากนี้ ปฏิกิริยาเคมีต่างกันมากเพราะมวลต่างกัน เช่น น้ำ  $\text{H}_2\text{O}$  ถ้าเป็นดิวทีเรียมเรียกว่า heavy water จุดเดือดและจุดเยือกแข็งต่างจากของน้ำธรรมดาทั่วไป



รูป 8.1 กราฟค่า N vs Z แนวเส้นประที่ค่า  $N = Z$  นั้นเป็นกรณีของธาตุเบา

ปัจจุบันถือว่ามวลอะตอมมีหน่วยเป็น unified atomic mass unit ( u ) มีค่าเป็น

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931.494 \text{ MeV} / c^2$$

อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปนักศึกษาค้นเคยกับค่าน้ำหนักอะตอมมากกว่า ค่าดังกล่าวนี้เป็นมวลอะตอมในเชิงเคมีและเป็นน้ำหนักเฉลี่ยของไอโซโทปคงตัวซึ่งต้องใช้ค่าบับแดนซ์ ( abundance ) เป็นตัวคูณ ( หมายเหตุ : abundance หมายถึงส่วนที่ไอโซโทปมีปรากฏอยู่ตามธรรมชาติ โดยทั่วไปนำเสนอเป็น % ) เช่น โบรอน ( boron ) มีไอโซโทปคือ  $^{10}\text{B}$  และ  $^{11}\text{B}$  มีค่าบับแดนซ์ 19.8 % และ 80.2 % ตามลำดับ มวลอะตอมมีค่าประมาณ 10 และ 11 คำนวณค่ามวลเฉลี่ยคือ

$$\begin{aligned} 10 \times 0.198 &= 1.98 \\ 11 \times 0.802 &= 8.82 \\ \text{ค่ารวม} &= 10.80 \end{aligned}$$

เปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้นี้กับตารางธาตุซึ่งอ่านค่าได้ = 10.811 สรุปคือวิธีดังกล่าวข้างต้นนี้ใช้ได้  
ผลนั่นเอง

## 8.5 โครงสร้างของนิวเคลียส

ธาตุต่างๆที่มีนิวเคลียสเสถียรมากตามรูป 8.1 คือบรรดาธาตุเบาที่ประมาณค่า  $A = 20$  ซึ่งค่า  $Z = N$  ถ้านิวเคลียสอยู่ในสภาวะไม่เสถียรจะมีการเปล่งพลังงานออกมาซึ่งถูกเรียกเป็นกัมมันตภาพรังสี ถ้าแบ่งตามลักษณะการเกิดสารกัมมันตรังสีสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือ เกิดเองตามธรรมชาติ มีประมาณ 20 ไอโซโทปในรูป 8.1 จากธาตุที่เริ่มมีค่า  $Z \neq N$  จนถึง  $Z = 82$  คือตะกั่ว) นอกจากนี้คือที่มนุษย์ผลิตขึ้น

ค่า  $N = Z$  ตามตัวเลข 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 ถือเป็นค่ามหัศจรรย์ อธิบายได้ว่ากรณีดังกล่าวนี้นิวเคลียสถูกยึดอย่างเหนียวแน่น จึงยากในการเพิ่มหรือลดพลังงานของอนุภาคภายใน เช่น  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ ,  ${}^{48}_{20}\text{Ca}$ , และ  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$

ถ้าจินตนาการนิวเคลียส ควรนึกถึงทรงกลมที่เกิดจากฝูงผึ้งบินวนเวียนกันอยู่ภายใน เพราะแท้จริงแล้วนิวเคลียสไม่ใช่ลูกแก้วกลมที่มีลักษณะเป็นของแข็งทรงกลมตัน นอกจากนี้ภายในนิวเคลียสยังมีระดับพลังงานทำนองเดียวกับอิเล็กตรอนในแถบโคจรต่างๆ ซึ่งหมายถึงระดับพลังงานที่มีค่าต่างกันออกไป การเติมอนุภาค ( โปรตอนและนิวตรอน ) เริ่มจากระดับพลังงานต่ำไปสูง

พลังค์ ( Planck ) เริ่มเสนอว่าในระบบที่มีการยึดเหนี่ยวเช่นกรณีนิวเคลียสนี้จะมีค่ามวลที่ระบบน้อยกว่าผลรวมของบรรดามวลย่อยที่เป็นองค์ประกอบ มวลปริมาณที่หายไปถูกเรียกเป็น " mass defect " และมีค่าเทียบเท่าพลังงานยึดเหนี่ยวของนิวไคลด์ ถ้าต้องการทราบว่าแต่ละนิวคลีออนถูกยึดไว้ด้วยแรงค่าเท่าใดจะต้องหารพลังงานยึดเหนี่ยวดังกล่าวด้วยจำนวนนิวคลีออน ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยของแรงที่ระบบนี้ยึดนิวคลีออนแต่ละตัวไว้ รัลก็กเสนอว่าไฮโดรเจน  ${}^1_1\text{H}$  มีเพียง 1 โปรตอน ดังนั้นพลังงานยึดเหนี่ยวกรณีดังกล่าวข้างต้นจึงไม่มี แรงนิวเคลียร์มีช่วงส่งอิทธิพลสั้นต่างจากแรงดึงดูดของโลกซึ่งมีช่วงยาว

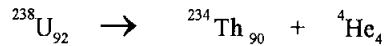
การหลอมหรือแยกนิวเคลียสออกจากกันย่อมมีพลังงานปริมาณมากเกี่ยวข้องอยู่คือ mass defect นั่นเอง( มวลแปลงค่าเป็นพลังงานตามสมการ  $E = mc^2$  ) ขบวนการดังกล่าวนี้เรียกว่า "nuclear fusion" และ "nuclear fission" สืบเกิดจากการหลอมของไฮโดรเจน 2 อะตอมเข้าด้วยกันค่าพลังงานยึดเหนี่ยวต่อ 1 นิวคลีออนมีค่ามากกว่าอะตอมเดี่ยว แต่ละอะตอมจะมีการบีบตัวอย่างเหนียวแน่น ในทางตรงข้าม ถ้าต้องการแยกนิวเคลียสออกเป็นส่วนย่อยๆก็ทำให้มวลแปรค่าเช่นกัน แต่ละส่วนย่อยจะมีพลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนมากกว่านิวเคลียสเดิมก่อนถูกแยกออกจากกัน ซึ่งการแตกตัวนี้มีการเปล่งพลังงานจำนวนมากออกมา

ถ้านิวเคลียสมีการจัดเรียงอนุภาคภายในใหม่จะเกิดการเปล่งอนุภาคกัมมันตรังสี และปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้เรียกว่า " Nuclear transformation "



## 8.6 กัมมันตภาพรังสี

กรณีที่นิวเคลียสใดๆก็ตามมีสถานะไม่สมดุล เช่น มีประจุบวกหรือลบมากเกินไป การจัดเรียงอิเล็กตรอน หรือการถูกดึงประจุบวกจากนิวเคลียสออกไปนั้นเป็นขั้นตอนที่เกิดตามธรรมชาติ เพื่อคงสภาพที่สมดุล ผลที่ได้คือเกิดกัมมันตภาพรังสี อัลฟา เบตา รังสีเอ็กซ์หรือแกมมาที่ตาม เรียกรวมๆที่เป็นต้นกำเนิดกัมมันตภาพรังสีว่า " สารกัมมันตรังสี " หรือ " ไอโซโทปรังสี " แต่ทุกครั้งที่มีการปล่อยกัมมันตภาพรังสีออกไปย่อมทำให้อะตอมแม่เกิดการสูญเสีย หรือเรียกว่าเกิดสลายตัวของสารรังสี ( disintegration ) กฏไคตังกล่าวต้องเป็นไปตามกฎการคงตัวของประจุและจำนวนนิวคลีออนทั้งหมด เช่น การสลายตัวของยูเรเนียม-238



เรียกยูเรเนียม-238 เป็นอะตอมแม่ ( parent atom ) ส่วนนิวเคลียสที่ได้จากการสลายตัวเรียกเป็นอะตอมลูก ( daughter atom ) จากกฎของไอน์สไตน์  $E = mc^2$  ใช้คำนวณค่า  $mc^2$  ออกมาซึ่งใช้คาดคะเนปฏิกิริยาที่เกิดได้ว่าเป็นการปล่อยหรือต้องป้อนพลังงานให้ระบบ ผลลัพธ์ที่ได้ถูกเรียกเป็นค่า Q ถ้าเป็นบวก หมายถึงปฏิกิริยานี้มีการปล่อยความร้อนออกมา และในทางตรงข้ามถ้า Q เป็นลบจะต้องป้อนพลังงานให้กับระบบจึงจะเกิดปฏิกิริยาได้หรือเป็นปฏิกิริยาคูดกสิ้นความร้อน

สารกัมมันตรังสีที่เกิดตามธรรมชาตินั้นมี 3 อนุกรม โดยเริ่มจาก  ${}^{238}\text{U}$ ,  ${}^{235}\text{U}$ , และ  ${}^{232}\text{Th}$  มีการสลายตัวตามตาราง 8.1 ซึ่งขั้นสุดท้ายคือไอโซโทปของตะกั่ว

ตาราง 8.1 อนุกรมกัมมันตภาพรังสีเกิดตามธรรมชาติ

อนุกรม	นิวไคลด์เริ่มต้น	ครึ่งชีวิต(ปี)	นิวไคลด์เสถียรท้ายสุด
${}^{235}\text{U}$ -Actinium	${}^{235}\text{U}_{92}$	$7.04 \times 10^8$	${}^{207}\text{Pb}_{82}$
${}^{232}\text{Th}$ orium	${}^{232}\text{Th}_{90}$	$1.41 \times 10^{10}$	${}^{208}\text{Pb}_{82}$
${}^{238}\text{U}$ -Radium	${}^{238}\text{U}_{92}$	$4.47 \times 10^9$	${}^{206}\text{Pb}_{82}$

## 8.7 การวัดกัมมันตภาพรังสี

การวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีเรียกเป็นโดสิเมทรี ( dosimetry ) โดยกำหนดให้การสลายตัวต่อหน่วยเวลาของสารกัมมันตรังสีเป็นแอ็คทิวิตี ( activity ) หรือคือความเข้มกัมมันตภาพรังสีนั่นเอง หน่วยของความแรงรังสีตาม SI unit คือเบคเคอเรล ( becquerel ) เขียนย่อเป็น Bq โดย

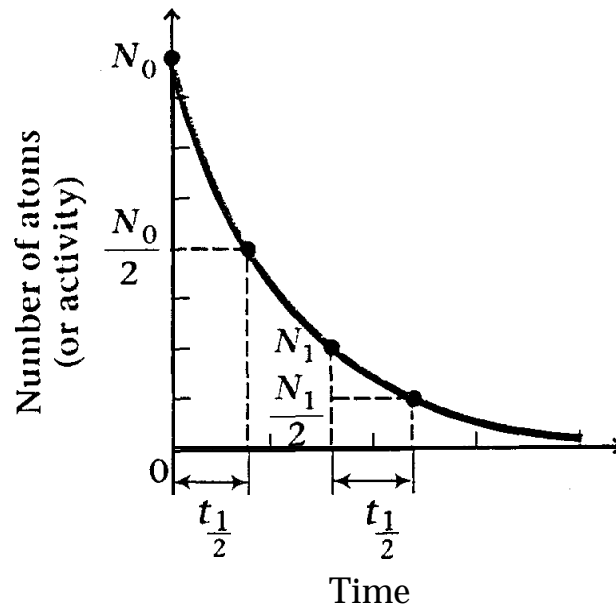
$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ disintegration / sec}$$

เรียกสั้นๆเป็น dps แต่ก่อนจะใช้หน่วย Bq นั้นใช้คูรี ( curie ) เขียนย่อเป็น Ci โดย

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ disintegration / sec}$$

การกำหนดดังกล่าวใช้แร่เดียม 1 กรัมเป็นสารที่วัดความแรงรังสี ในงานวิจัยโรคนั้น มักมีปริมาณในหน่วยมิลลิวรีหรือไมโครคูรี

ธรรมชาติของสารรังสีคือการสลายตัวตลอดเวลาด้วยค่าคงตัวแน่นอน การบอกปริมาณควรมีเวลาเกี่ยวข้องอยู่เสมอ ดังนั้นนิยามให้ครึ่งชีวิต ( half-life ,  $T_{1/2}$ ) ของสารกัมมันตรังสีเป็นเวลาที่สารลดความแรงรังสีลงครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิม เป็นนิยามเชิงฟิสิกส์เท่านั้น จากการพล็อตกราฟความแรงรังสีกับเวลาจะได้ตามรูป 8.2 ซึ่งเป็นกราฟเอ็กซ์โพเนนเชียล



รูป 8.2 กราฟแสดงธรรมชาติการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี

สมการการสลายตัวคือ

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

โดย A เป็นความแรงรังสีเริ่มต้น

$A_0$  เป็นความแรงรังสีเมื่อเวลาผ่านไป t วินาที

$\lambda$  เป็นค่าคงที่การสลายตัวซึ่งเป็นค่าจำเพาะของแต่ละไอโซโทปรังสี

ถ้า  $t = t_{1/2}$

$A = A_0 / 2$  แทนค่าในสมการและแก้สมการด้วย ln ตลอดสมการ

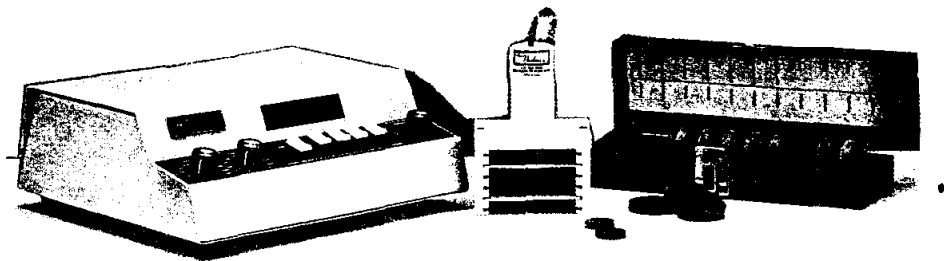
จะได้ค่า  $\lambda = 0.693 / t_{1/2}$

### 8.7.1 หัววัดกัมมันตภาพรังสี

อุปกรณ์ที่ใช้วัดกัมมันตภาพรังสีแยกได้เป็นสองส่วนคือ(1)ส่วนที่รับปริมาณกัมมันตภาพรังสีเรียกว่าหัววัดกัมมันตภาพรังสี (2)วงจรรีเลเกททรอนิกส์ (3)อุปกรณ์แสดงผลซึ่งปัจจุบันมักใช้คอมพิวเตอร์เก็บรวบรวมตลอดจนประมวลผลการนับวัด

หัววัดกัมมันตภาพรังสีถูกประดิษฐ์จากของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ซึ่งการใช้งานแตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสม ของแข็งได้แก่ซอลิดสเตท(solidstate)นั้นผลิตจากสารกึ่งตัวนำคือซิลิคอน(silicon, Si) และเจอร์มาเนียม(germanium, Ge) ซึ่งต้องใช้ลิเทียม(lithium, Li) ประกอบด้วยเสมอ การเรียกชื่อจึงเป็น SiLi หรือ GeLi นอกจากนี้ยังมีประเภทที่ผลิตจากสารเปล่งแสง ที่นิยมใช้ทั่วไปคือผลึกโซเดียมไอโอไดด์( NaI) แต่ผลึกนี้เปล่งแสงน้อยมากที่อุณหภูมิห้อง จึงเติมทาลเลียม(thallium, Tl) และสัญลักษณ์ของหัววัดชนิดนี้คือ NaI(Tl) โดยทั่วไปในงานวิจัยมักใช้แบบสารกึ่งตัวนำ ส่วน NaI(Tl) ใช้ด้านการแพทย์เพื่อตรวจวินิจฉัยโรค

การวัดกัมมันตภาพรังสีแยกได้สองประเภทคือ (1) วัดภายนอกร่างกาย เช่น ในหลอดทดลอง เรียกว่า in vitro และ(2) วัดต้นกำเนิดจากภายในร่างกาย เรียกว่า in vivo ในรูป 8.3 เป็นตัวอย่างอุปกรณ์วัดกัมมันตรังสีแบบไกเกอร์



รูป 8.3 หัววัดกัมมันตรังสีแบบไกเกอร์( Geiger counter )

ข้อแตกต่างของหัววัดทั้งสองดังกล่าวคือราคา การใช้ประโยชน์ได้กว้างเท่าใดแสดงว่าระบบยิ่งซับซ้อนจึงมีราคาแพงตามไปด้วย ตลอดจนสมบัติอื่นๆ เช่น ประสิทธิภาพ ความแม่นยำ และเที่ยงตรงของระบบ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม กรณีมีองค์ประกอบเดียวกันหมดนั้นหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำมีราคาสูงกว่าและการบำรุงรักษาสูงกว่า NaI(Tl)

หัววัดประเภทบรรจุด้วยแก๊สเฉื่อย เช่น ซีเลียม แบ่งเป็น 3 ประเภทคือ ไอออนไนเซชันแชมเบอร์( ionization chamber) พรอพอร์ชันนัลเคาน์เตอร์(proportional counter) และไกเกอร์เคาน์เตอร์( Geiger counter) โดยทั่วไปใช้ในงานป้องกันอันตรายจากกัมมันตภาพรังสีโดยใช้เป็นเครื่องตรวจ

ว่ามีปริมาณรังสีในห้องปฏิบัติการรังสี( hot lab.)เกินกำหนดหรือไม่ และมักออกแบบให้ส่งเสียงเตือนเมื่อค่าเกินกำหนด

อย่างไรก็ตาม จากคำอธิบายข้างต้นไม่ได้บ่งว่าแท้จริงแล้ววัดปริมาณอะไร คำตอบคือวัดพลังงานกัมมันตรังสี หน่วยเป็น KeV หรือ MeV แต่ละไอโซโทปจะเปล่งพลังงานค่าจำเพาะ เช่น ซีเซียม-137 เปล่งรังสีแกมมา 1.17 และ 1.33 KeV เป็นต้น

### 8.7.2 หน่วยจากเครื่องวัดกัมมันตภาพรังสี

จากการวัดค่ากัมมันตภาพรังสีนั้น ค่าที่ได้จะมีหน่วยเป็น เคนน์ / เวลา อาจเป็น นาที วินาที หรือชั่วโมง ขึ้นกับความแรงรังสี ถ้าค่าต่างๆ เช่น แบคกราวนบนโลกต้องวัดนานๆ อาจเป็นชั่วโมง อย่างไรก็ตาม ค่าที่แรงมักเทียบเป็นค่าวัดต่อนาที (count per minute, cpm )หรือต่อวินาที(count per second , cps)

### 8.8 ผลจากการได้รับกัมมันตภาพรังสี

เมื่อร่างกายได้รับกัมมันตภาพรังสี ผลที่เกิดขึ้นแยกได้สองประเภทตามชนิดของเซลล์ในร่างกายคือ เซลล์ร่างกาย และเซลล์สืบพันธุ์ ชนิดแรกจะก่อผลเฉพาะตัวผู้ได้รับเท่านั้น แต่ชนิดที่สองจะส่งผลสืบเนื่องถึงลูกหลานได้ กัมมันตภาพรังสีก่อให้เกิดการแตกตัว(ionization) กำหนดปริมาณกัมมันตภาพรังสีเอ็กซ์หรือแกมมาที่ทำให้อากาศแตกตัว  $2.58 \times 10^{-4}$  C / kg ของอากาศ หน่วยคือเกรย์ ( Gray, Gy) ซึ่งเป็น หน่วย SI หมายถึงปริมาณโดสที่ถูกดูดกลืนโดยวัสดุใดๆ

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/Kg}$$

หน่วยเดิมคือ แรด(rad) โดย  $1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy}$

การป่วยเนื่องจากการรับกัมมันตภาพรังสีนั้นขึ้นกับหลายองค์ประกอบ เช่น พลังงานและชนิดของกัมมันตภาพรังสี บริเวณอวัยวะที่รับ เวลาที่ได้รับ อายุของบุคคลที่รับ ซึ่งช่วงอายุทารกยังอันตราย อาการแรกๆที่อาจแสดงให้เห็นคือเกิดผื่นแดงที่ผิวหนังบริเวณได้รับกัมมันตภาพรังสี ผสมร่างเป็นแผลเปิด เป็นต้น ได้มีการกำหนดหน่วยของโดสเพิ่มอีกคือ โดสเทียบเท่า (dose equivalent , H) โดยนิยามให้เป็นผลคูณของปริมาณเกรย์กับค่า quality factor ( Q) ค่าที่ได้แสดงถึงผลของกัมมันตภาพรังสีในเชิงชีววิทยา หน่วย SI คือซีเวิร์ต(sievert) สมการความสัมพันธ์คือ

$$H (\text{Sv}) = D(\text{Gy}) \cdot Q$$

หน่วยที่ใช้เดิมคือ rem(roentgen equivalent man) โดยเทียบ

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ Sv}$$

ค่าโดสที่รับได้โดยไม่เกิดอันตรายนั้นถูกกำหนดโดย ICRP ( International Commission Radiation Protection ) กำหนดให้บุคคลที่ทำงานด้านกัมมันตภาพรังสีสามารถรับได้ไม่เกิน 5 rem ต่อปี ส่วนคนทั่วไปให้รับได้น้อยลง 10 เท่า

ในชีวิตประจำวันนั้นเราได้รับกัมมันตภาพรังสีจาก 2 แหล่งคือ รังสีคอสมิก และ ไอโซโทปธรรมชาติ แต่ในประเทศที่ใช้โรงไฟฟ้าปรมาณู เช่น ยุโรป สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และอินเดีย ย่อมมีปริมาณกัมมันตภาพสูงกว่าประเทศไทยอยู่แล้ว

ตาราง 8.2 ค่าโคสเทียบเท่าในสหรัฐอเมริกาที่คาดว่าจะได้รับต่อปี

แหล่ง	ปริมาณโดส( mSv)
รังสีคอสมิก	0.280
ภายในร่างกาย	0.390
เรดอนที่หายใจเข้าไป	2.000
จากการทำงานด้านรังสี	0.009
วัฏจักรของพลังงานนิวเคลียร์	0.0005
แหล่งต่างๆในสิ่งแวดล้อม	0.0006
วินิจฉัยด้วยรังสีเอกซ์	0.390
เวชศาสตร์นิวเคลียร์	0.140
รวม	3.200

### 8.9 การป้องกันกัมมันตภาพรังสี

โดยทั่วไปค่ากัมมันตภาพรังสีในบรรยากาศไม่สูงจนก่ออันตรายใดๆ ทั้งนี้ไม่รวมกรณีการรั่วจากแหล่งกำเนิดกัมมันตภาพรังสี เช่น โรงไฟฟ้าปรมาณูเชอร์โนบิล เป็นต้น อย่างไรก็ตาม หลักสำคัญในการป้องกันอันตรายที่สำคัญมี 3 ประการคือ ระยะห่าง เวลา วัสดุกัน เนื่องจากความแรงกัมมันตภาพรังสีลดลงตามค่า  $1/r^2$  โดย  $r$  เป็นระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี เวลาคือพยายามใช้เวลาอยู่ใกล้ให้น้อยที่สุด และวัสดุกันนั้นขึ้นกับการออกแบบป้องกันของทางสถานที่ซึ่งอยู่ภายใต้การดูแลของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ( พ.ป.ส.) โดยทั่วไปใช้ตะกั่วเป็นวัสดุกัน นอกจากนี้การได้รับรักษาแบบรังสีรักษาจะต้องศึกษาวิธีการป้องกันจากสถานพยาบาลนั้นๆ

### 8.10 ประโยชน์ของกัมมันตภาพรังสีด้านการแพทย์

การแพทย์ใช้ประโยชน์จากกัมมันตภาพรังสี 2 ประเภทคือ เพื่อรักษาซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งในการรักษามะเร็ง อีกประเภทหนึ่งคือเพื่อตรวจวินิจฉัยโรคซึ่งเป็นสาขาเวชศาสตร์นิวเคลียร์ วัตถุประสงค์หลักคือตรวจการทำงานของอวัยวะที่ต้องการตรวจ ตลอดจนเห็นภาพถ่ายของอวัยวะดังกล่าว เช่น หัวใจ ไต ตับ ทางเดินท่อน้ำเหลือง เป็นต้น อุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีคือ แกมมาคาเมรา(gamma camera ) หลักการพื้นฐานของอุปกรณ์คือสร้างภาพโดยใช้แสงจากรังสีแกมมา และต้องอาศัยแก๊สรังสีที่เหมาะสมกับอวัยวะที่ต้องการตรวจอีกด้วย อีกองค์ประกอบที่

สำคัญคือคอลลิเมเตอร์ และส่วนอิเล็กทรอนิกส์ การตรวจลักษณะดังกล่าวนี้เป็นแบบ in vivo อวัยวะที่ตรวจทำหน้าที่เป็นต้นกำเนิดกัมมันตภาพรังสี หัววัดคือ NaI(Tl) แต่มีหลายหลอดโฟโตมัลติไฟลเลอร์ ( photomultiplier tube ทำหน้าที่ทวีคูณอิเล็กตรอน ) เกตซ์รังสีที่ใช่มักติดฉลากกับสารกัมมันตรังสี เช่น เทคนีเชียม -99 เอ็ม ( Technetium-99 m ) ธัลเลียม-201 ( Thallium -201 ) ค่าโฟโตพีคอยู่ที่ 140.5 keV และ 70 , 167 keV ดังนั้นการจัดเตรียมเครื่องแกมมาคาเมร่าเพื่อวัดกัมมันตภาพแต่ละชนิดจึงแตกต่างกันไป

## สรุป

1. อะตอมของสารแต่ละชนิดจะเปล่งสเปกตรัมจำเพาะ จึงใช้บ่งบอกได้ว่าองค์ประกอบในสารตัวอย่างนั้นมีอะไรบ้าง
2. แร่กอลอมบ์มีบทบาทมากในการขุดเหมืองยูเรเนียมในอะตอมและนิวเคลียส
3. กัมมันตภาพรังสีมีทั้งโทษและประโยชน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการแพทย์
4. การป้องกันกัมมันตภาพรังสีมีหลักสำคัญคือ(1)ระยะห่าง(2)เวลา(3)วัตถุกำบังกัมมันตภาพรังสี

ตาราง 8.3 สัญลักษณ์และเลขอะตอมของธาตุต่างๆ

Name	Symbol	Atomic number	Name	Symbol	Atomic number	Name	Symbol	Atomic number
Actinium	Ac	89	Helium	He	2	Radium	Ra	88
Aluminum	Al	13	Holmium	Hm	67	Radon	Rn	86
Americium	Am	95	Hydrogen	H	1	Rhenium	Re	15
Antimony	Sb	51	Indium	In	49	Rhodium	Rh	45
Argon	Ar	18	Iodine	I	53	Rubidium	Rb	37
Arsenic	As	33	Iridium	Ir	17	Ruthenium	Ru	44
Astatine	At	85	Iron	Fe	26	Samarium	Sm	62
Barium	Ba	56	Krypton	Kr	36	Scandium	Sc	21
Berkelium	Bk	97	Lanthanum	La	57	Selenium	Se	34
Beryllium	Be	4	Lawrencium	Lr	103	Silicon	Si	14
Bismuth	Bi	83	Lead	Pb	82	Silver	Ag	41
Boron	B	5	Lithium	Li	3	Sodium	Na	11
Bromine	Br	35	Lutetium	Lu	71	Strontium	Sr	38
Cadmium	Cd	48	Magnesium	Mg	12	Sulfur	S	16
Calcium	Ca	20	Manganese	Mn	25	Tantalum	Ta	73
Californium	Cf	98	Mendelevium	Md	101	Technetium	Tc	43
Carbon	C	6	Mercury	Hg	80	Tellurium	Te	52
Cerium	Ce	58	Molybdenum	Mo	42	Terbium	Tb	65
Cesium	Cs	55	Neodymium	Nd	60	Thallium	Tl	81
Chlorine	Cl	17	Neon	Ne	10	Thorium	Th	90
Chromium	Cr	24	Neptunium	Np	93	Thulium	Tm	69
Cobalt	Co	21	Nickel	Ni	28	Tin	Sn	50
Copper	Cu	29	Niobium	Nb	41	Titanium	Ti	22
Curium	Cm	96	Nitrogen	N	7	Tungsten	W	74
Dysprosium	Dy	66	Nobelium	No	102	(Unnilhexium)	(Uhx)	106
Einsteinium	Es	99	Osmium	Os	76	(Unnilpentium)	(Unp)	105
Erbium	Er	68	Oxygen	O	8	(Unnilquadium)	(Unq)	104
Europium	Eu	63	Palladium	Pd	46	(Unnilseptium)	(Uns)	107
Fermium	Fm	100	Phosphorus	P	15	Uranium	U	92
Fluorine	F	9	Platinum	Pt	78	Vanadium	V	23
Francium	Fr	87	Plutonium	Pu	94	Xenon	Xe	54
Gadolinium	Gd	64	Polonium	Po	84	Ytterbium	Yb	70
Gallium	Ga	31	Potassium	K	19	Yttrium	Y	39
Germanium	Ge	32	Praseodymium	Pr	59	Zinc	Zn	30
Gold	Au	19	Promethium	Pm	61	Zirconium	Zr	40
Hafnium	Hf	72	Protactinium	Pa	91			

ตาราง 8.4 ตารางธาตุ

		I																gases												
		0																0												
		I																II												
		H																He												
		1.00794																4.00260												
		I																II												
		H																He												
		1.00794																4.00260												
1	IA	1																2												
1		H																He												
		1.00794																4.00260												
2		3	4											5	6	7	8	9	10											
2		Li	Be											B	C	N	O	F	Ne											
		6.941	9.01218											10.811	12.011	14.00674	15.9994	18.99840	20.1797											
3		11	12											13	14	15	16	17	18											
3		Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar											
		22.98977	24.3050											26.98154	28.0855	30.97376	32.066	35.4527	39.948											
4		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36											
4		K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr											
		39.0983	40.078	44.95591	47.88	50.9415	51.9961	54.9380	55.847	58.93320	58.69	63.546	65.39	69.723	72.61	74.92159	78.96	79.904	83.80											
5		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54											
5		Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe											
		85.4678	87.62	88.90585	91.224	92.90638	95.94	98.9072	101.07	102.90550	106.42	107.8682	112.411	114.82	118.710	121.75	127.60	126.90447	131.29											
6		55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86											
6		Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn											
		132.90543	137.327	138.9055	178.49	180.9479	183.85	186.207	190.2	192.22	195.08	196.96654	200.59	204.3833	207.2	208.98037	208.9824	209.9871	222.0176											
7		87	88	89	104	105	106	107																						
7		Fr	Ra	†Ac	Unq	Unp	Unh	Uns																						
		223.0197	226.0254	227.0278	261.11	262.114	263.118	262.12																						
		* 58																59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
		Ce																Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
		140.115																140.90765	144.24	144.9127	150.36	151.965	157.25	158.92534	162.50	164.93032	167.26	168.93421	173.04	174.967
		† 90																91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
		Th																Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
		232.0381																231.0359	238.0289	237.0482	244.0642	243.0614	247.0703	247.0703	242.0587	252.083	257.0951	258.10	259.1009	260.105

Based on 1985 IUPAC values.



### แบบฝึกหัดที่ 8

1. อิเล็กโตรไลซิสคืออะไร
2. โครงสร้างอะตอมมีประโยชน์อย่างไร อธิบายพร้อมยกตัวอย่าง
3. สเตปโทรสโคปคืออะไร บ่งบอกถึงโครงสร้างอะตอมได้อย่างไร
4. ไอโซโทปคืออะไร
5. กัมมันตภาพรังสี 20 ไมโครคูรีมีค่าเท่ากับกี่เบคเคอเรล
6. หลักรังสีวิทยาไม่ควรรับกัมมันตภาพรังสีเพราะเหตุใด
7. เทคนิคเวชศาสตร์นิวเคลียร์ต้องอาศัยองค์ประกอบอะไรบ้าง
8. หลักการป้องกันกัมมันตภาพรังสีมีอะไรบ้าง อธิบายอย่างละเอียด
9. กัมมันตภาพรังสีในบรรยากาศบ้านเรามีอะไรบ้าง

### เอกสารอ้างอิง

1. รุ่งพร ชนะชัยและละออทิพย์ ชนะชัย พิธีกรผู้ประสานทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ กรุงเทพฯ ฯ มหาวิทยาลัยรามคำแหง พ.ศ. 2535
2. Jones, Edwin R. and Richard L. Childers Contemporary College Physics 2<sup>nd</sup> edit. Addison-Wesley Publishing Co.Inc. 1993