

ฟิสิกส์ 2

ระดับมหาวิทยาลัย



สำหรับ
นิสิต-นักศึกษา
มหาวิทยาลัย

$$E = mc^2$$

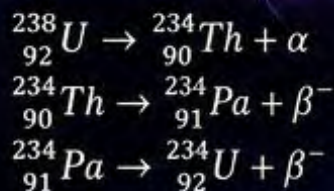
พลังงานมหาศาล
จากมวลเพียงเล็กน้อย

ฟิสิกส์ นิวเคลียร์

ปฏิกิริยานิวเคลียร์
(Nuclear Reaction)



กัมมันตภาพรังสี
(Radioactivity)



การประยุกต์ใช้งาน

- พลังงานนิวเคลียร์
- การแพทย์
- การเกษตร
- อวกาศและการสำรวจโลก



สรุปเนื้อหา
ครบถ้วน
เข้าใจง่าย



ตัวอย่างโจทย์
พร้อมเฉลย
ละเอียด



เหมาะสำหรับ
นักศึกษาระดับ
มหาวิทยาลัย



ภาพประกอบ
สื่อสารเข้าใจง่าย
ชัดเจน

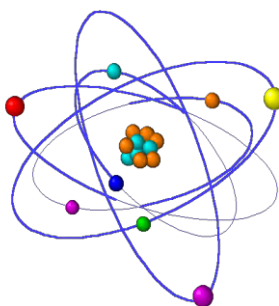
เรียบเรียงโดย

ผศ.สุชาติ สุภาพ

ราคา

99

บาท



ฟิสิกส์ ๒ ระดับมหาวิทยาลัย

ฟิสิกส์นิวเคลียร์

ผศ.สุชาติ สุภาพ

พิมพ์และจำหน่ายโดย

สุชาติ สุภาพ

133/471 หมู่ ๒ (ติดกับ สนง. ที่ดินบางบัวทอง) ต.พิมลราช อ.บางบัวทอง จ.นนทบุรี

E - mail suchart11111@hotmail.com

พิมพ์ที่ หจก.สปส 1999 ม.เพชรอนันต์ เขตคันนายาว กรุงเทพฯ ๑ 10230

คำนำ

หนังสือ ฟิสิกส์นิวเคลียร์ เล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นสื่อการเรียนรู้สำหรับนิสิตนักศึกษาที่ต้องการเข้าใจโครงสร้างและพฤติกรรมของนิวเคลียสของอะตอม ตลอดจนปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานนิวเคลียร์ ทั้งในระดับพื้นฐานทางทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานในโลกแห่งความเป็นจริง ฟิสิกส์นิวเคลียร์เป็นหนึ่งในแขนงของฟิสิกส์ที่มีบทบาทสำคัญยิ่งในยุคปัจจุบัน ตั้งแต่การผลิตพลังงานในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ การวินิจฉัยและรักษาโรคด้วยรังสี การพัฒนาอาวุธ ไปจนถึงการศึกษากำเนิดของธาตุต่าง ๆ ในเอกภพ หนังสือเล่มนี้ได้เรียบเรียงเนื้อหาให้ครอบคลุมทั้งโครงสร้างนิวเคลียส โมเดลนิวเคลียร์ พลังงานยึดเหนี่ยว การสลายตัวของนิวเคลียส ฟิชชัน ฟิวชัน และการประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ โดยเน้นความเข้าใจแนวคิดหลัก ผู้เขียนได้นำเสนอเนื้อหาให้เข้าใจง่าย ขอให้หนังสือ ฟิสิกส์นิวเคลียร์เล่มนี้เป็นประโยชน์ต่อการเรียนรู้และจุดประกายความสนใจของผู้อ่านในการศึกษาธรรมชาติของสสารอย่างลึกซึ้ง และนำไปสู่การสร้างสรรค์องค์ความรู้ใหม่เพื่อประโยชน์ต่อวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสังคมโดยรวม

สำหรับท่านที่อยากได้ไฟล์ PDF. ของหนังสือนี้ เพื่อจะได้สามารถปริ้นท์เอกสารได้ สามารถสั่งซื้อได้ที่ ไลน์หรือ facebook ของผม



ถ้านักเรียนสนใจหนังสือในรูปแบบ E-BOOK ก็มีจำหน่ายที่เว็บไซต์ ร้านนายอินทร์ , MEB , อุกปี, ซีเ็ด , htextures , ศูนย์หนังสือจุฬา ฯ และDDebook

สำหรับท่านที่สนใจหนังสือของกระผมแต่หาซื้อตามร้านหนังสือทั่วไปไม่ได้ สามารถซื้อออนไลน์ที่แอปต่าง ๆ โดยสแกน QR โค้ดข้างล่างนี้ (ที่ช้อปปีมีหนังสือมากที่สุด)



SHOPEE



Lazada



TikTok

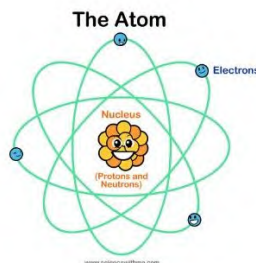
สุชาติ สุภาพ มือถือ 083-920-3825

บทที่ 18

ฟิสิกส์นิวเคลียร์

เมื่อเรามองเข้าไปภายในอะตอม เราจะพบว่าแม้จะมีขนาดเล็กมาก แต่อะตอมก็ประกอบด้วยอนุภาคย่อยที่ซับซ้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณ นิวเคลียส หรือ "แกนกลางของอะตอม" ซึ่งเป็นแหล่งรวมพลังงานมหาศาลและปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่น่าพิศวงอย่างยิ่ง ฟิสิกส์นิวเคลียร์ คือสาขาหนึ่งของฟิสิกส์ที่ศึกษาพฤติกรรม โครงสร้าง และปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในนิวเคลียสของอะตอม ไม่ว่าจะเป็นการสลายตัวของกัมมันตรังสี การแปรสภาพนิวเคลียส หรือการปลดปล่อยพลังงานจำนวนมหาศาลในปฏิกิริยาฟิชชัน และ ฟิวชัน พลังงานนิวเคลียร์ไม่เพียงเป็นพื้นฐานของดาวฤกษ์อย่างดวงอาทิตย์ แต่ยังนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตไฟฟ้า การแพทย์ การตรวจสอบวัสดุ ตลอดจนการสร้างอาวุธที่มีอำนาจร้ายแรง ความเข้าใจในฟิสิกส์นิวเคลียร์จึงมีความสำคัญทั้งในแง่ของวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และจริยธรรม หัวข้อนี้จะพานักศึกษาไปรู้จักกับโครงสร้างของนิวเคลียส อนุภาคภายใน เช่น โปรตอนและนิวตรอน พลังงานยึดเหนี่ยว ปฏิกิริยานิวเคลียร์ และการนำพลังงานนิวเคลียร์มาใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งด้านดีและด้านที่ต้องใช้ความรับผิดชอบต่อสูง

ทุกคนทราบว่าสิ่งที่เล็กที่สุดที่ยังคงมีสมบัติของธาตุนั้น ๆ อย่างครบถ้วนคือ อะตอม ในอะตอมก็จะมีนิวเคลียสเป็นจุดศูนย์กลาง



รูป 18.1 อะตอม

การเปลี่ยนแปลงในนิวเคลียสที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จะให้พลังงานออกมา เช่นการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสี และถ้ามนุษย์เข้าใจธรรมชาติภายในนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีอย่างถ่องแท้ มนุษย์ก็น่าที่จะนำเอาความรู้ดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียสจะให้พลังงานจำนวนมากมาชมมหาศาล เมื่อเทียบกับพลังงานเคมีที่เกิดขึ้นในระดับอะตอม การศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงในนิวเคลียสนี้เราเรียกว่า “ฟิสิกส์นิวเคลียร์”

ถ้ากล่าวถึงนิวเคลียร์ แทบทุกคนก็จะนึกถึงระเบิดนิวเคลียร์ หรือโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เพราะว่าป็นภาพที่อยู่ในความทรงจำของหลายคน และมักคิดกันว่าเรื่องเกี่ยวกับนิวเคลียร์เป็นเรื่องไกลตัว และไม่ให้ความสนใจ แต่ในความเป็นจริงแล้วนิวเคลียร์เป็นเรื่องที่ใกล้ตัวทุกคน เพราะว่านิวเคลียร์ ก็คือ

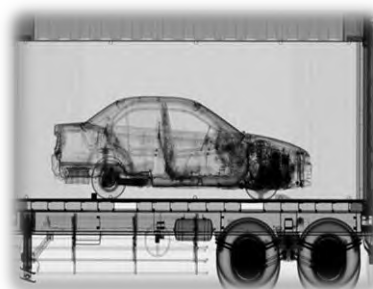
การศึกษาเกี่ยวกับนิวเคลียร์ ทุกสิ่งทุกอย่างประกอบด้วยอะตอม และทุกอะตอมก็มีนิวเคลียร์ ดังนั้น การศึกษาเกี่ยวกับนิวเคลียร์จึงเป็นการศึกษาที่จะลึกลงไปในระดับนิวเคลียร์ และก็เป็นเรื่องที่ไม่น่าเชื่อว่า เรื่องเล็ก ๆ ขนาดนี้ จะมีวิชาการให้เราศึกษาได้เป็น 10 ปี หรือตลอดชีวิต ก็ไม่มีทางที่จะเข้าใจมันได้อย่าง แท้จริง

ในชีวิตประจำวันของทุกคน เราคงเคยเอ็กซ์เรย์ร่างกาย ถ้ามนุษย์ไม่มีความรู้ความเข้าใจเรื่อง เกี่ยวกับนิวเคลียร์ มนุษย์ก็จะไม่สามารถผลิตรังสีเอ็กซ์ออกมาได้ หรือถ้ามนุษย์ไม่มีความรู้ความเข้าใจ เกี่ยวกับนิวเคลียร์มนุษย์ก็จะไม่สามารถสร้างเครื่อง MRI ที่ใช้ในการสแกนร่างกายแล้วนำผลจากการ สแกนมาสร้างเป็นภาพได้คล้ายกับการเอ็กซ์เรย์ แต่ให้ภาพที่คมชัดกว่ามากเป็นต้น



รูป 18.2 เครื่อง MRI

หรือถ้ามนุษย์ไม่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับนิวเคลียร์ มนุษย์ก็จะไม่สามารถผลิตรังสีแกมมาที่ใช้ ในการ เอ็กซ์เรย์ (เรียกว่าเอ็กซ์เรย์ แต่ความจริงใช้รังสีแกมมา) รถคอนเทนเนอร์ทั้งคันได้โดยไม่ต้องเปิด ตู้คอนเทนเนอร์



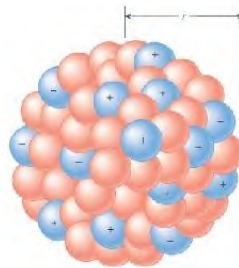
รูป 18.3 การถ่ายภาพตู้คอนเทนเนอร์ด้วยรังสีแกมมา

ในอนาคตโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยจะประสบปัญหาขาดแคลนแหล่งพลังงาน ดังนั้น ความรู้เกี่ยวกับนิวเคลียร์ น่าจะช่วยให้ประเทศไทยแก้ปัญหาวิกฤติพลังงานได้ เมื่อทางเลือกเหลือทาง เดียวคืออาจจำเป็นต้องมีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

ปัจจุบันประเทศเรามีความต้องการแหล่งพลังงานเป็นจำนวนมาก เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ในขณะที่แหล่งพลังงานที่สำคัญคือแก๊สธรรมชาติกำลังจะหมดไปในอีกประมาณ 10 กว่าปี ดังนั้นการศึกษา เกี่ยวกับนิวเคลียร์ อาจจะช่วยในการแก้ปัญหาวิกฤติพลังงานในอนาคตไม่มากนัก

18.1 นิวเคลียส

นิวเคลียส คือส่วนที่มีความหนาแน่นมากที่สุด อยู่บริเวณใจกลางของอะตอม ประกอบด้วยโปรตอน และนิวตรอน มีขนาดเล็กกว่าขนาดของอะตอมมาก ๆ มวลแทบทั้งหมดของอะตอม อยู่ที่นิวเคลียส (คล้ายกับระบบสุริยะที่มวลเกือบทั้งหมดอยู่ที่ดวงอาทิตย์) มีอิเล็กตรอนซึ่งมีมวลน้อยกว่าโปรตอนประมาณ 1830 เท่า วิ่งวนรอบนิวเคลียส เลขอะตอม (*atomic number, Z*) ของอะตอมใด ๆ จะมีค่าเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอนในอะตอม ส่วนเลขมวล (*mass number, A*) เป็นตัวเลขที่เป็นผลรวมของมวลของทุกอนุภาคที่ประกอบกันเป็นอะตอม



รูป 18.4 นิวเคลียส

แรงที่ทำให้ให้อิเล็กตรอนวิ่งรอบนิวเคลียสคือแรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้าของนิวเคลียสกับประจุไฟฟ้าในอิเล็กตรอนที่เรีกง่าย ๆ ว่า “แรงคูลอมบ์ (*coulomb force*)” ในสภาวะปกติอะตอมมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า เพราะว่าถ้าในนิวเคลียสมีโปรตอนเท่าไร ก็จะมีอิเล็กตรอนจำนวนเท่ากันวิ่งวนรอบนิวเคลียส

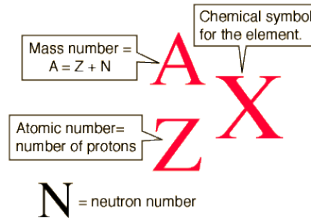
ตาราง 18-1 สมบัติของอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบของอะตอม

อนุภาค	สัญลักษณ์	มวล (กิโลกรัม)	ประจุ
อิเล็กตรอน	$e, \quad {}^0_{-1}e$	9.1095×10^{-31}	$-1e$
โปรตอน	$p, \quad {}^1_1H$	1.6726×10^{-27}	$+1e$
นิวตรอน	$n, \quad {}^1_0n$	1.6749×10^{-27}	0

เนื่องจากมวลในหน่วยกิโลกรัมเป็นหน่วยที่ใหญ่มาก ๆ สำหรับเรื่องเกี่ยวกับอะตอมและนิวเคลียส จึงมีการกำหนดหน่วยของมวลใหม่เป็น *amu* (*atomic mass unit*) หรืออาจใช้สั้น ๆ เป็น *u* โดยที่ $1u$ เท่ากับ 1.67×10^{-27} กิโลกรัม

สัญลักษณ์นิวเคลียร์

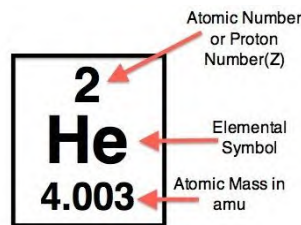
เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงจำนวนอนุภาคมูลฐานของอะตอมด้วยเลขมวลและเลขอะตอม เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ดังนี้



โดยที่ X คือ สัญลักษณ์ธาตุ

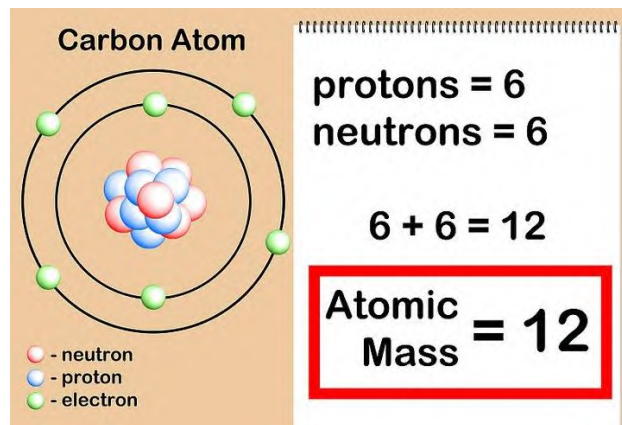
A คือ เลขมวล เป็นจำนวนนิวคลีออนในนิวเคลียส

Z คือ เลขอะตอม เป็นจำนวนโปรตอนหรืออิเล็กตรอนในนิวเคลียส



สัญลักษณ์นิวเคลียร์ของฮีเลียม

อะตอมของคาร์บอนมีโปรตอน ๖ อนุภาคและนิวตรอน ๖ อนุภาค ดังนั้นอะตอมของคาร์บอนจึงมีมวล 12 u

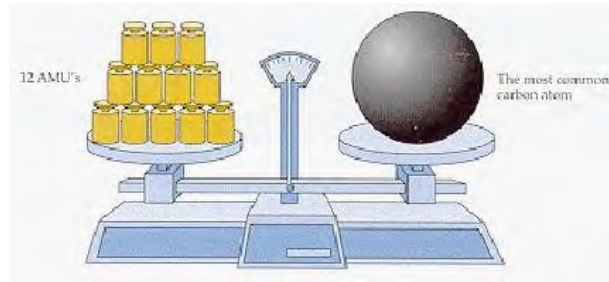
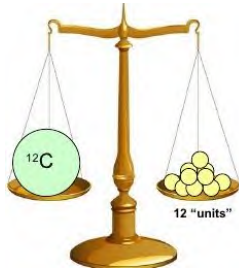


อะตอมของคาร์บอนมีมวล 12 u

หรือมวล 1 u มีค่าเท่ากับ $1/12$ ของมวลอะตอมของธาตุคาร์บอน



มวล 1 u เท่ากับ $1/12$ ของมวลอะตอมของคาร์บอน



คาร์บอน 1 อะตอมมีมวล 12 u

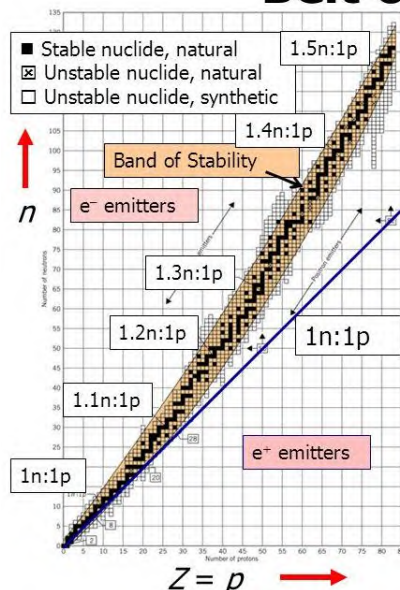
ชนิดของนิวเคลียส

การจำแนกนิวเคลียสตามเสถียรภาพทางนิวเคลียร์ สามารถจำแนกนิวเคลียสได้เป็น ๒ ประเภท คือ 1) นิวเคลียสเสถียร (stable nuclide) ๒) นิวเคลียสกัมมันตรังสี (radioactive nuclide)

1) นิวเคลียสเสถียร (stable nuclide) หมายถึง นิวเคลียสที่มีเสถียรภาพทางนิวเคลียร์ ซึ่งเกิดจากมีจำนวนโปรตอนและนิวตรอนในอัตราส่วนที่เหมาะสม นิวคลีออนจะส่งแรงกระทำซึ่งกันและกันพอดี ทำให้เกิดความสมดุลในนิวเคลียส ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือสลายตัว ธาตุในธรรมชาติโดยทั่วไปที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 1 ถึง 82 จะเป็นธาตุที่เสถียร ในธรรมชาตินิวเคลียสที่เสถียรมีประมาณ ๒๗๐ นิวเคลียส

จากการศึกษาพบว่าไอโซโทปที่นิวเคลียสมีอัตราส่วนระหว่างจำนวนนิวตรอนต่อโปรตอนมากเกินไปหรือน้อยเกินไปมากจะไม่เสถียร จะมีการแผ่รังสีออกมา นอกจากนั้นยังพบว่าจำนวนโปรตอนและนิวตรอนที่เป็นจำนวนคู่ หรือคี่ในนิวเคลียสนั้น มีความสัมพันธ์กับความเสถียรภาพของนิวเคลียสด้วย กล่าวคือ ไอโซโทปของธาตุที่มีจำนวนโปรตอน และนิวตรอนเป็นเลขคู่ จะเสถียรมากกว่าไอโซโทปของธาตุที่มีจำนวนโปรตอนและนิวตรอนเป็นเลขคี่

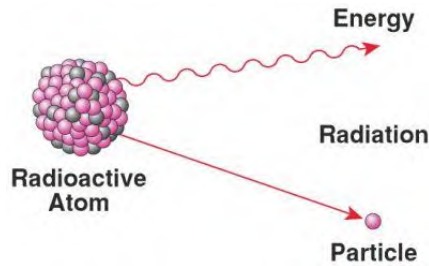
Belt of Stability



รูป 18.5 ธาตุขนาดใหญ่จะมีจำนวนนิวตรอนมากกว่าโปรตอน

- Each isotope is a dot
- Up to $Z = 20$
 - Ratio $n/Z = 1$
- As Z increases, $n > Z$ and
- By $Z = 82$, $n/Z \sim 1.5$
 - n = number of neutrons
 - Z = number of protons

๒) นิวเคลียสกัมมันตรังสี (*radioactive nuclide*) หมายถึง นิวเคลียสที่มีจำนวนนิวตรอนและโปรตอนไม่เหมาะสม เช่น มีจำนวนนิวตรอนมากกว่าจำนวนโปรตอนมาก แรงกระทำระหว่างนิวคลีออนจึงไม่สมดุล นิวเคลียสนั้นต้องปรับตัวเพื่อให้แรงระหว่างนิวคลีออนอยู่ในสภาวะสมดุล ด้วยการเปลี่ยนนิวตรอนให้เป็นโปรตอน พร้อมกับปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมา ในรูปของรังสี ในธรรมชาติมีนิวเคลียสกัมมันตรังสีประมาณ ๐.๕ นิวเคลียส



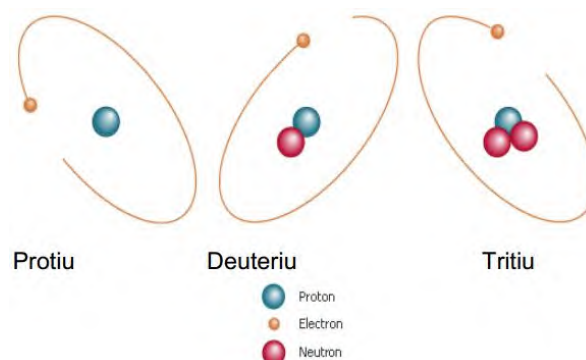
รูป 18.6 นิวเคลียสกัมมันตรังสี

นอกจากจะจำแนกนิวเคลียสตามเสถียรภาพทางนิวเคลียร์แล้ว อาจจำแนกนิวเคลียสได้โดยพิจารณาจากเลขมวล เลขอะตอม เลขนิวตรอน และระดับพลังงาน ดังนี้

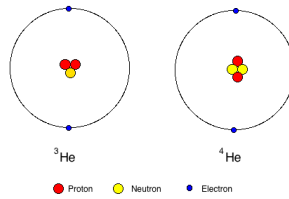
ไอโซโทป (*isotope*)

หมายถึง ธาตุชนิดเดียวกันที่มีจำนวนโปรตอนเท่ากัน หรือจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากัน หรือเลขอะตอมเท่ากัน แต่มีจำนวนนิวตรอนต่างกัน หรือเลขมวลต่างกัน จะมีสมบัติทางเคมีเหมือนกันเพราะเป็นอะตอมที่มีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากัน แต่มีสมบัติทางกายภาพบางประการต่างกัน เพราะว่ามีมวลต่างกัน

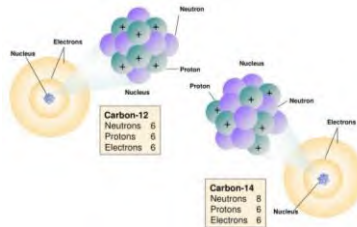
- ไอโซโทปที่ไม่สลายตัวเรียกว่า ไอโซโทปเสถียร (*stable isotope*)
- ส่วนไอโซโทปที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยการสลายตัวให้รังสีออกมา เรียกว่า ไอโซโทปกัมมันตรังสี หรือไอโซโทปรังสี



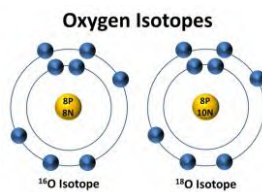
รูป 18.7 ไอโซโทปของไฮโดรเจน



ไอโซโทปของฮีเลียม



ไอโซโทปของคาร์บอน

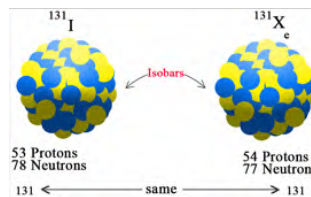


ไอโซโทปของออกซิเจน

คาร์บอนมีหลายไอโซโทป คาร์บอน -12 เป็นไอโซโทปเสถียร คาร์บอน -14 เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี ไอโอดีนมีหลายไอโซโทป ไอโอดีน -127 เป็นไอโซโทปเสถียร ไอโอดีน -131 เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี

ไอโซบาร์ (isobar)

หมายถึง นิวเคลียสที่มีจำนวนนิวคลีออนเท่ากัน หรือมีเลขมวลเท่ากัน เช่น $^{131}_{53}\text{I}$, $^{131}_{54}\text{Xe}$



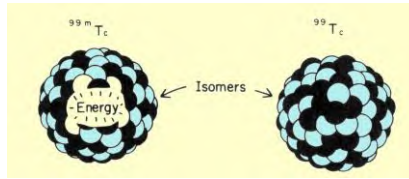
รูป 18.9 ไอโซบาร์

ไอโซโทน (isotone)

หมายถึง นิวเคลียสของธาตุต่างชนิดกันที่มีจำนวนนิวตรอนเท่ากัน เช่น $^{131}_{53}\text{I}$, $^{132}_{54}\text{Xe}$, $^{133}_{55}\text{Cs}$ เป็นไอโซโทนกัน

ไอโซเมอร์ (isomer)

หมายถึง นิวเคลียสที่มีเลขมวลและเลขอะตอมเท่ากันแต่มีระดับพลังงานและครึ่งชีวิตไม่เท่ากัน จะใช้เครื่องหมายดอกจัน (*) หรืออักษรเอ็ม (m, metastable state) กำกับไว้บนนิวเคลียสที่มีพลังงานสูงกว่า เช่น ^{99}Tc , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ หรือ ^{99}Tc , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ เพื่อบอกความแตกต่างระหว่างนิวเคลียสทั้งสอง



รูป 18.10 ไอโซเมอร์

สิ่งที่ควรทราบ ธาตุชนิดเดียวกันจะต้องมีจำนวนโปรตอนเท่ากันเสมอ

18.2 ความสมมูลระหว่างมวล-พลังงาน

ในชีวิตประจำวัน เราคุ้นเคยกับคำว่า “มวล” และ “พลังงาน” ว่าเป็นสิ่งที่แตกต่างกันโดยสิ้นเชิง มวลคือปริมาณของสสารที่วัตถุมีอยู่ ส่วนพลังงานคือสิ่งที่สามารถทำงานได้ แต่เมื่อเข้าสู่โลกของฟิสิกส์ยุคใหม่ กลับพบว่าทั้งสองสิ่งนี้มีความสัมพันธ์กันอย่างลึกซึ้ง และอาจเป็นสิ่งเดียวกันในรูปแบบที่แตกต่าง ในปี ค.ศ. 1905 อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ ได้เสนอความคิดที่ปฏิวัติวงการฟิสิกส์ ด้วยสมการอันโด่งดัง $E = mc^2$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า พลังงาน (E) เท่ากับ มวล (m) คูณด้วยค่าคงที่ c^2 (ความเร็วแสงยกกำลังสอง) สมการนี้หมายความว่า มวลสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ ซึ่งเป็นหลักการสำคัญของฟิสิกส์นิวเคลียร์ ปฏิกิริยาในดวงอาทิตย์ และเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานระดับสูง แนวคิดเรื่องความสมมูลระหว่างมวลและพลังงานช่วยให้เราเข้าใจว่า พลังงานอันมหาศาลอาจซ่อนอยู่ในวัตถุเล็ก ๆ ได้ และเป็นพื้นฐานสำคัญของการอธิบายการทำงานของจักรวาลในระดับจุลภาคและมหภาค หัวข้อนี้จะนำนักศึกษาไปสำรวจความหมายของสมการ $E = mc^2$ ตัวอย่างของการเปลี่ยนมวลเป็นพลังงานในธรรมชาติ และการนำหลักการนี้ไปประยุกต์ใช้ในเทคโนโลยีของมนุษย์ เช่น โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ และการผลิตพลังงานในดาวฤกษ์

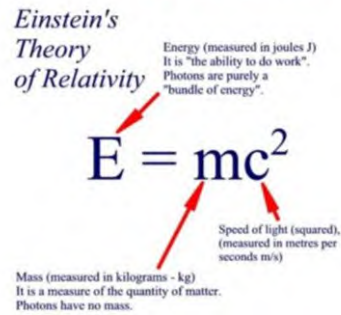
ไอน์สไตน์ เป็นนักวิทยาศาสตร์คนแรกที่หลอมรวมเรื่อง มวล และพลังงานเข้าด้วยกัน หรือกล่าวง่าย ๆ ได้ว่า มวลกับพลังงานคือสิ่งเดียวกัน มวลเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานได้ และพลังงานก็เปลี่ยนรูปเป็นมวลได้ นอกจากนั้นเขายังสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างมวลและพลังงานได้ดังนี้

$$E = mc^2$$

(18-1)

เมื่อ m เป็นมวลของสสาร c เป็นความเร็วของแสง = $2.99 \times 10^8 \text{ m/s}$

Mass-Energy Equivalence



ตาราง 18-๒ มวลของอนุภาคพื้นฐาน

อนุภาค	มวล (μ)
อิเล็กตรอน	0.000548
โปรตอน	1.007276
นิวตรอน	1.008665

ดังนั้น สามารถคำนวณพลังงานที่เทียบเท่ากับมวล 1μ ได้จากกฎของไอน์สไตน์ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 E &= mc^2 \\
 &= (1 \mu) (1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}) (2.99 \times 10^8 \text{ m/s})^2 \\
 &= 1.492412 \times 10^{-10} \text{ J} \\
 &= 931.48 \text{ MeV}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น 1μ จึงมีค่าเท่ากับ 931.5 MeV ซึ่งอธิบายได้ว่า มวลของสสาร 1 amu สามารถให้พลังงานได้ 931.5 MeV

เมื่อ	$1 \text{ eV} = 1.602189 \times 10^{-19} \text{ J}$
-------	---

ตัวอย่าง 18.1 จงพลังงานมวลนิ่งของอิเล็กตรอน 1 อิเล็กตรอน

$$\begin{aligned}
 E &= mc^2 \\
 &= (9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}) (2.99 \times 10^8 \text{ m/s})^2 \\
 &= 8.1871 \times 10^{-14} \text{ J} \\
 &= 0.511 \text{ MeV}
 \end{aligned}$$

ตอบ