อะตอม เพื่ออนาคต

"อะตอม...เพื่ออนาคต"

สื่อความรู้เรื่องพลังงานนิวเคลียร์

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ
OFFICE OF ATOMS FOR PEACE

อะตอม...เพื่ออนาคต

ตราสัญลักษณ์งานเฉลิมพระเกียรติ
เนื่องในโอกาสมหามงคลเฉลิมพระชนมพรรษา
๘๐ พรรษา ๕ ธันวาคม ๒๕๕๐

คำนำ

เนื่องในโอกาสมหามงคลที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงเจริญพระชนมพรรษา 80 พรรษา สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ได้สนองแนวพระราชดำริด้านการพัฒนาการศึกษาแก่เยาวชน ด้วยการจัดทำหนังสือชุด อะตอม...เพื่ออนาคต เพื่อเผยแพร่ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์

ปัจจุบันนานาประเทศทั่วโลกได้พัฒนาเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ให้ก้าวไกล เพื่อเป็นประโยชน์ต่อมนุษยโลกในหลายๆ ด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการเป็นพลังงานที่สำคัญ ทดแทนพลังงานจากน้ำมัน และเชื้อเพลิงธรรมชาติอื่นๆ ที่ใกล้จะหมดไป สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติเล็งเห็นความสำคัญดังกล่าวนี้ จึงมีความมุ่งมั่นจะสร้างฐานความรู้ ให้เกิดความเข้าใจและทัศนคติที่ดีแก่เยาวชนและบุคคลทั่วไป เพื่ออนาคตของพลังงานนิวเคลียร์ในประเทศไทย

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือชุด อะตอม...เพื่ออนาคต จะสามารถถ่ายทอดและสื่อสารให้ผู้อ่าน โดยเฉพาะเยาวชนได้เกิดความสนใจ และต่อยอดไปสู่การศึกษาเฉพาะทางในระดับสูง รวมทั้งประชาชนทั่วไปได้มีความเข้าใจอย่างถูกต้องในเทคโนโลยีแขนงนี้ เพื่อการพัฒนาอย่างมุ่งมั่นต่อไป

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

สารบัญ...

6 อะตอม: มิตรหรือตัวอันตราย

10 อะตอม: แหล่งพลังงานกำเนิดชีวิตบนโลก

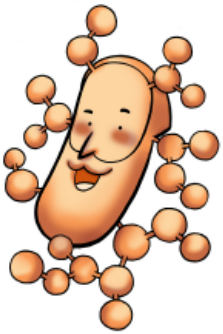
13 กว่าจะได้เห็นอะตอม

19 รู้จักอะตอม

19 องค์ประกอบของอะตอม

21 อิเล็กตรอนในอะตอม

22 จำนวนธาตุที่ถูกค้นพบ



23 ที่มาของธาตุ

24 เสถียรภาพและการสลายของอะตอม

25 การรับและปล่อยพลังงานของอะตอม
เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของอิเล็กตรอน

28 การสลายของอะตอมกับกัมมันตภาพรังสี

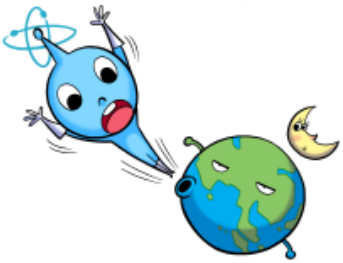
33 พลังงานนิวเคลียร์

34 แรงพื้นฐาน 4 ชนิด

39 แรงยึดเหนี่ยวภายในอะตอม
และพลังงานยึดเหนี่ยว

44 พลังงานนิวเคลียร์และปฏิกิริยานิวเคลียร์

49 การใช้ประโยชน์ของพลังงานจากอะตอม



อะตอม: มิตรหรือตัวอันตราย

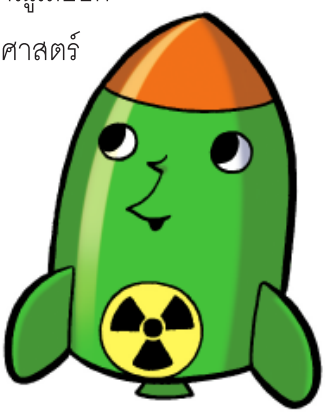
มาถึงทุกวันนี้ เป็นที่ทราบกันดีในวงการวิทยาศาสตร์ว่าอะตอมมีศักยภาพที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์อย่างมากมาย แต่ค่อนข้างจะน่าเสียดายที่คนจำนวนมากมักหวาดกลัวอะไรก็ตามที่เกี่ยวกับอะตอม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง **"พลังงานอะตอม"** (atomic energy) หรือ **"พลังงานนิวเคลียร์"** (nuclear energy)

ความหวาดกลัวพลังงานนิวเคลียร์ในความรู้สึกของคนทั่วไปมีที่มาจากประสบการณ์ของมนุษย์ส่วนใหญ่ของโลกที่ได้รับรู้เรื่องราวเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์เป็นครั้งแรกในรูปของการทำลาย นั่นคือ **"ลูกระเบิดนิวเคลียร์"** ที่ถูกนำมาใช้กับมนุษย์เป็นครั้งแรกในการถล่มเมืองฮิโรชิมาและเมืองนางาซากิ ประเทศญี่ปุ่น เมื่อวันที่ 6 และ 9 สิงหาคม พ.ศ. 2488 ตามลำดับ

ภาพความรุนแรงตลอดจนการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินจากลูกระเบิดนิวเคลียร์ (หรือที่มักเรียกกันว่า "ลูกระเบิดปรมาณู") สองลูกนั้น ยังติดตรึงอยู่ในความทรงจำ จนบดบังความเป็นจริงที่ว่าพลังงานนิวเคลียร์มีประโยชน์ต่อมนุษย์อย่างมากมาย ถ้าใช้อย่างถูกต้องและถูกทาง

จริงๆ แล้ว เรื่องเกี่ยวกับอะตอม มิใช่มีเพียงเรื่องของพลังงานนิวเคลียร์เท่านั้น หากยังมีเรื่องเกี่ยวข้องกับ "กัมมันตภาพรังสี" (radioactivity) เช่น รังสีแอลฟา รังสีบีตา รังสีแกมมา รวมไปถึงเรื่องของรังสีเอกซ์ และรังสีของกลุ่มอนุภาค เช่น รังสีนิวตรอน ด้วย

มนุษย์ได้รู้จักกัมมันตภาพรังสีต่างๆ ก่อนที่จะรู้จักกับพลังงานนิวเคลียร์ในรูปของลูกระเบิดปรมาณูเสียอีก แต่ผู้ที่รู้จักนั้นเป็นเฉพาะกลุ่มของนักวิทยาศาสตร์ ซึ่งมองเห็นศักยภาพในการใช้ประโยชน์ของกัมมันตภาพรังสีอย่างมากมาย ในขณะที่คนส่วนใหญ่ทั่วโลก รู้จักกับกัมมันตภาพรังสีในรูปของสิ่งที่เป็นอันตรายที่มากับลูกระเบิดนิวเคลียร์ นั่นคือ "ฝุ่นกัมมันตรังสี"



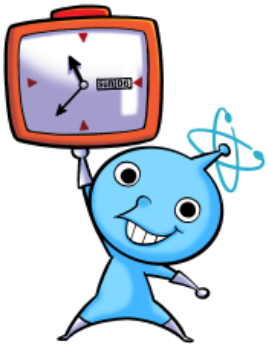
อะตอมเป็นได้ทั้งมิตรและตัวอันตรายต่อมนุษย์

สำหรับประเทศไทย ในการใช้ประโยชน์จากอะตอม เราจึงควรรู้เรื่องของอะตอมอย่างถูกต้องแท้จริง เพราะถ้าไม่รู้เรื่องอะตอมอย่างแท้จริงแล้ว อาจทำให้เราหวาดกลัวอะตอมมากเกินไป จนมองข้ามประโยชน์ของอะตอมซึ่งจะทำให้พลาดโอกาสที่จะได้ใช้ประโยชน์ของอะตอมอย่างที่น่าจะเป็น

ยิ่งไปกว่านั้น ความหวาดกลัวอะตอมจนเกินจริง อาจทำให้ประเทศไทยกลายเป็นประเทศล้าหลังในทุกๆ ด้านที่เกี่ยวกับอะตอม จนอาจตกอยู่ในฐานะเสียเปรียบ และต้องพึ่งพาประเทศอื่นๆ ที่ได้พัฒนาศักยภาพด้านอะตอมอย่างเต็มที่

คนไทยจึงควรให้ความสนใจและแสวงหาความรู้เกี่ยวกับอะตอมเป็นพิเศษ เพื่อการพัฒนาและการใช้ประโยชน์ของอะตอมและสิ่งต่างๆ เกี่ยวกับอะตอมอย่างมีประสิทธิภาพและอย่างเหมาะสม

นอกเหนือไปจากเรื่องของ "พลังงานนิวเคลียร์" และ "กัมมันตภาพรังสี" เบื้องต้นที่เราควรรู้ คือ เรื่องของอะตอมโดยตรง นั่นคือธรรมชาติหรือสมบัติบางประการของอะตอม ซึ่งนอกจากจะมีความสำคัญต่อการพัฒนาและการใช้ประโยชน์แล้ว ยังนำไปสู่นวัตกรรมแปลกใหม่ที่มีความสำคัญต่อโลกยุคใหม่ในหลายๆ ด้าน เช่น เรื่องเวลามาตรฐานของโลก ซึ่ง "นาฬิกาเชิงอะตอม" (atomic clock) ได้เข้ามาเป็นตัวกำหนดหรือรักษามาตรฐานเวลาของโลก แทนระบบเก่าๆ ที่เคยใช้กันมาก่อน



อะตอม: แหล่งพลังงาน กำเนิดชีวิตบนโลก

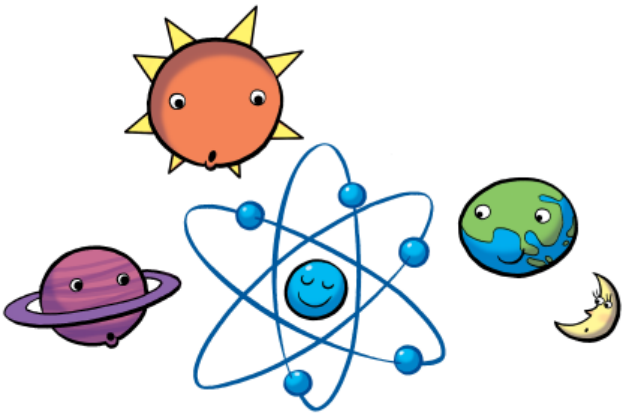
อะตอมมีความสำคัญต่อชีวิตบนโลกแค่ไหน

คำตอบตรงๆ คือ ถ้าไม่มีพลังงานจากอะตอม ชีวิตบนโลกก็เกิดขึ้นมาไม่ได้

สิ่งมีชีวิตบนโลกกำเนิดขึ้นมาบนดาวเคราะห์โลกเมื่อประมาณเกือบ 4,000 ล้านปีมาแล้ว หลังจากที่โลกได้ถือกำเนิดขึ้นมาเมื่อประมาณ 4,500 ล้านปีก่อนโน้น ด้วยพลังงานในรูปของ ความร้อน แสงสว่าง รังสีอัลตราไวโอเลต และรังสีคอสมิก (cosmic rays) จากดวงอาทิตย์ การก่อกำเนิดของชีวิตแรก จึงปรากฏขึ้นบนโลกเริ่มต้นจากหน่วยชีวิตขนาดเล็กจิ๋วแบบง่ายๆ เล็กกว่าแบคทีเรียเสียอีก จนกระทั่งต่อๆ มา จึงวิวัฒนาการมาเป็นชีวิตที่ซับซ้อนและใหญ่ขึ้น เป็นแบคทีเรีย พืช สัตว์ และในที่สุดคือ มนุษย์

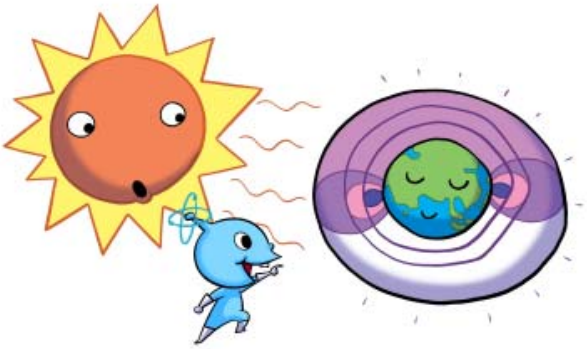
พลังงานจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ภายในดวงอาทิตย์ซึ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ขึ้นมา จะทำให้ดวงอาทิตย์มีสภาพเป็นลูกไฟนิวเคลียร์ขนาดยักษ์ในธรรมชาติ ล่องลอยอยู่ในอวกาศ ปลดปล่อยพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ที่เป็นความร้อน แสงสว่าง รังสีอัลตราไวโอเลต ฯลฯ) และอนุภาคต่างๆ เช่น โปรตอน นิวตรอน อิเล็กตรอน นิวทริโน ฯลฯ รวมเรียกว่า **รังสีคอสมิก** โดยที่ส่วนหนึ่งจะถูกเรียกว่า **ลมสุริยะ** (ประกอบด้วย อนุภาคประจุไฟฟ้าเป็นหลัก คือ โปรตอนและอิเล็กตรอน) พัดไปทั่วระบบสุริยะ และแน่นอนว่ามาถึงดาวเคราะห์โลกด้วย

และหากลมสุริยะเกิดอย่างรุนแรงและมีขนาดใหญ่มาก ก็จะกลายเป็น **"พายุสุริยะ" (solar storm)** เป็นอันตรายอย่างยิ่งต่อมนุษย์บนโลก โชคดีที่ดาวเคราะห์โลกมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าห่อหุ้มอยู่



สนามแม่เหล็กโลกทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันมิให้อนุภาคจากดวงอาทิตย์ทั้งจากลมสุริยะโดยทั่วไป และอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าชนิดอื่นๆ จากดวงอาทิตย์ที่มากับรังสีคอสมิกลงมาถึงพื้นผิวโลกได้ทั้งหมด

บรรดาอนุภาคโปรตอน อิเล็กตรอน และอนุภาคมีประจุไฟฟ้าชนิดอื่นๆ ของรังสีคอสมิก ส่วนใหญ่จะถูกจับโดยสนามแม่เหล็กโลก อยู่เป็นแถบกัมมันตรังสีในอวกาศ มีชื่อเรียกว่า **แถบกัมมันตรังสีแวนอัลเลน** (Van Allen radiation belt)



ในอนาคต หากมนุษย์จะไปตั้งถิ่นฐานถาวรบนดวงจันทร์และดาวอังคาร มนุษย์ก็จะต้องเตรียมป้องกันอันตรายจากลมสุริยะและรังสีคอสมิกจากอวกาศด้วยตัวของมนุษย์เอง เพราะดวงจันทร์และดาวอังคารมีสนามแม่เหล็กอ่อนมาก

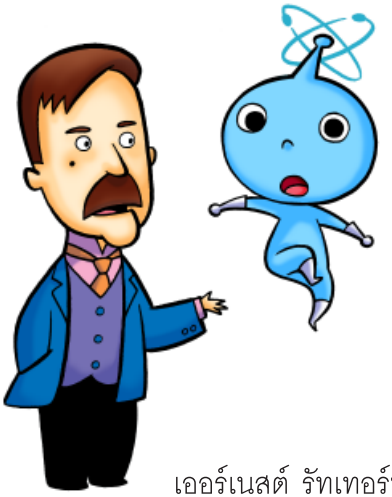
กว่าจะได้เห็นอะตอม

มนุษย์รู้จักคำว่า "อะตอม" มานานกว่า 2,400 ปีมาแล้ว จากดีโมคริตุส (Democritus: 460 - 370 ก่อนคริสต์ศักราช) นักวิทยาศาสตร์กรีก ผู้ให้กำเนิด "ทฤษฎีอะตอม" (atomic theory) เป็นคนแรกของโลก

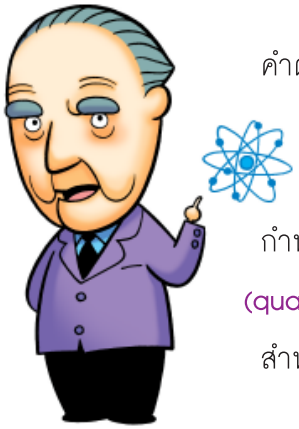
อะตอม หรือ ATOM มาจากภาษากรีกว่า "ATOMOS" แปลว่า "ซึ่งแบ่งแยกไม่ได้อีกแล้ว" เพราะแต่เดิมมาเป็นที่เข้าใจกันว่า อะตอมเป็นหน่วยพื้นฐานเล็กที่สุดของสรรพสิ่งในจักรวาล อะตอมของธาตุต่างๆ จะเป็นหน่วยพื้นฐานเล็กที่สุดของธาตุนั้นๆ

ความเข้าใจว่า อะตอมเป็นหน่วยเล็กสุดของธาตุต่างๆ ซึ่งแบ่งแยกลงไปอีกไม่ได้ ยังเป็นที่ยอมรับใช้กันมาจนกระทั่งถึงยุคของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ เพราะ **จอห์น ดอลตัน (John Dalton: ค.ศ. 1766 - 1844)** ผู้ได้รับการยกย่องเป็น **"บิดาแห่งทฤษฎีอะตอม"** ก็ยังใช้ความหมายของอะตอมว่าเป็นหน่วยเล็กสุดของธาตุต่างๆ ใน **"ทฤษฎีอะตอม"** ของเขา

พัฒนาการความเข้าใจของมนุษย์เกี่ยวกับอะตอมที่ถูกต้องเริ่มต้นจริงๆ เมื่อประมาณต้นศตวรรษที่ 20 โดยนักวิทยาศาสตร์หลายคน เช่น **เออร์เนสต์ รัทเทอร์ฟอร์ด (Ernest Rutherford: ค.ศ. 1871 - 1937)** ผู้นำเสนอความคิดเป็นคนแรกว่า อะตอมมีโครงสร้างคล้ายกับระบบสุริยะ คือมีนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง และมีอิเล็กตรอนโคจรอยู่โดยรอบนิวเคลียส ตามมาด้วย **นีลส์ โบร์ (Niels Bohr: ค.ศ. 1885 - 1962)** ผู้ขยายทฤษฎีโครงสร้างอะตอมของเออร์เนสต์ รัทเทอร์ฟอร์ด โดยอาศัย **"ทฤษฎีควอนตัม"**

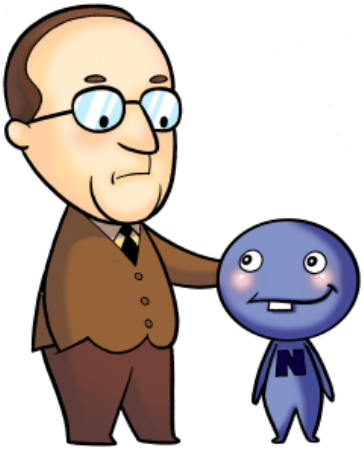


(quantum theory) เพื่ออธิบายว่า อิเล็กตรอนจะโคจรอยู่รอบนิวเคลียสโดยไม่ถูกนิวเคลียสที่มีประจุไฟฟ้าเป็นบวกดึงดูดให้อิเล็กตรอนตกลงสู่นิวเคลียสได้อย่างไร

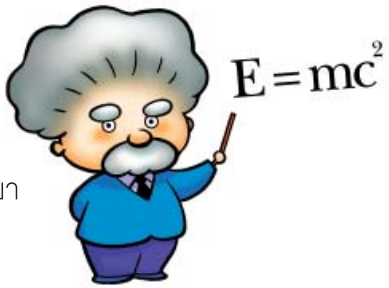


คำตอบของ **นีลส์ โบร์** คือ อิเล็กตรอนจะโคจรอยู่รอบนิวเคลียสอย่างมีเสถียรภาพได้บางวิถีโคจรเท่านั้น กำหนดโดยสิ่งที่เรียกว่า **"เลขควอนตัม"** (quantum number) ของทฤษฎีควอนตัมสำหรับอะตอม

ก้าวสำคัญต่อมาของความรู้เกี่ยวกับอะตอมคือ การค้นพบนิวตรอน โดย **เจมส์ แชดวิก** (James Chadwick: **ค.ศ. 1891 - 1974**) ในปี ค.ศ. 1932 ทำให้เกิดภาพโครงสร้างอะตอมที่สมบูรณ์โดยทั่วไป คือ อะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง และนิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอนกับนิวตรอน

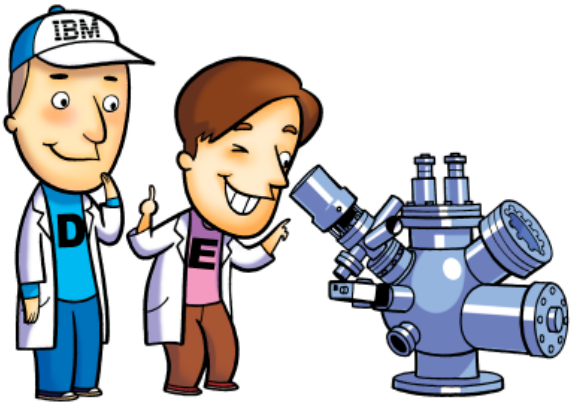


ต่อจากนั้นมา พัฒนาการและความเคลื่อนไหวที่สำคัญเกี่ยวกับอะตอม คือ การนำเอาทฤษฎีควอนตัมหรือหลักการทางควอนตัมมาใช้กับอะตอมเพิ่มมากขึ้น และการปลดปล่อยพลังงานอะตอมจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ตามสมการ $E = mc^2$ ของ **แอลเบิร์ต ไอน์สไตน์**



สำหรับส่วนที่เป็นเรื่องของควอนตัมกับอะตอม โดยภาพรวมแล้ว ทฤษฎีและหลักการเชิงควอนตัมที่สำคัญ คือ ความเป็นคลื่นและอนุภาคของสิ่งที่เคยเป็นเพียงคลื่นหรืออนุภาคมาก่อน ทำให้อิเล็กตรอนในอะตอมและตัวอะตอมเอง รวมถึงวัตถุต่างๆ มีสภาพเป็นคลื่นด้วย ในขณะเดียวกัน สิ่งที่เคยรู้จักว่าเป็นคลื่นเพียงอย่างเดียว เช่น คลื่นแสง ก็มีความเป็นอนุภาคด้วย โดยมีโฟตอน (Photon) เป็นชื่อเรียกอนุภาคของแสง **"หลักการกีดกันของเพาลี"** (Pauli exclusion principle) กำหนดจำนวนอิเล็กตรอนที่สามารถจะมีได้ในวิถีโคจรรอบนิวเคลียส และ **"หลักความไม่แน่นอนของ ไฮเซนเบิร์ก"** (Heisenberg's uncertainty principle) มีผลต่อการวัดปริมาณบางชนิดเป็นคู่ๆ เช่น คู่ของตำแหน่งกับโมเมนตัมของอนุภาค กล่าวคือ ถ้าจะจัดตำแหน่งของอนุภาคใดๆ เช่น อิเล็กตรอนให้ได้แม่นยำก็จะต้องเสียความแม่นยำในการวัดโมเมนตัมของอนุภาคนั้นไปเสมอ

เมื่อถึงปลายศตวรรษที่ 20 ความรู้ความเข้าใจของมนุษย์เกี่ยวกับอะตอมก็เพิ่มขึ้นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม จนกระทั่งถึงปี ค.ศ. 1990 ความสงสัยเก่าแก่ก็ยังอยู่ในจิตใจของนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกว่าอะตอมมีตัวตนจริงหรือไม่ เพราะยังไม่มีใครเคยเห็นตัวตนจริงๆ ของอะตอมเลย และสำหรับนักวิทยาศาสตร์แล้ว อะไรก็ตามที่ยังไม่ประจักษ์ต่อสายตามนุษย์อย่างปฏิเสธไม่ได้ ถือว่าอาจจะไม่เป็นดังที่เคยเข้าใจกันมาก็ได้ และแล้วในปี ค.ศ. 1990 มนุษย์ทั้งโลกก็ได้เห็นตัวตนของอะตอมจริงๆ เป็นครั้งแรก โดยฝีมือของนักฟิสิกส์ 2 คน คือ **ดอน ไอเกลอร์** (Don Eigler) และ **เอ็กฮาร์ต ชไวเซอร์** (Eckhart Schweizer)



นักฟิสิกส์ทั้งสองอาศัยกล้องจุลทรรศน์แบบใหม่ เรียกว่า **สแกนนิงทันเนลลิงไมโครสโคป** (scanning tunnelling microscope) หรือที่เรียกสั้นๆ ว่า **กล้องเอสทีเอ็ม** (STM) ส่องเห็นอะตอมเดี่ยวๆ ของธาตุบางชนิดได้ ยิ่งไปกว่านั้นเขาทั้งสองยังย้ายอะตอมของธาตุ

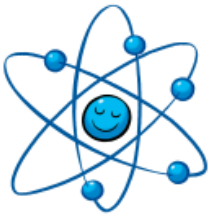
ซีนอน จำนวน 35 อะตอม ไปเรียงต่อกันใหม่เป็นตัวอักษร "IBM" ชื่อของบริษัทยักษ์ใหญ่ผู้ผลิตคอมพิวเตอร์ที่เขาทั้งสองทำงานอยู่ เกิดเป็นตราประจำบริษัทหรือโลโกขนาดเล็กจิ๋วที่สุดในโลก และถูกนำไปประชาสัมพันธ์เผยแพร่ฟรีทั่วโลก

ผลงานของนักฟิสิกส์มิใช่เพียงแค่ช่วยขจัดความสงสัยในใจของมนุษย์ว่าอะตอมมีตัวตนจริงๆ หรือไม่เท่านั้น การย้ายอะตอมได้สำเร็จเป็นครั้งแรกก็เป็นการเริ่มต้นอย่างเป็นรูปธรรมของ **"นาโนเทคโนโลยี"** (nanotechnology) หลังจากที่ความคิดเรื่องนาโนเทคโนโลยีได้ถูกจุดประกายขึ้นตั้งแต่ปลายทศวรรษที่ 40 ของศตวรรษที่ 20 โดยนักฟิสิกส์รางวัลโนเบลอารมณ์ดี ชื่อ **ริชาร์ด ไฟยน์แมน** (Richard Feynman)

รู้จักอะตอม

อะตอมมีทั้งคุณอนันต์และอันตรายมหันต์ การรู้จักตัวตนของอะตอมจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างที่สุด เพื่อจะได้ใช้ประโยชน์ของอะตอมให้ได้มากที่สุด และในขณะเดียวกันจะได้ป้องกันตนเอง (และสังคม) จากอันตรายที่มาจากอะตอมให้ได้มากที่สุดด้วย

องค์ประกอบของอะตอม

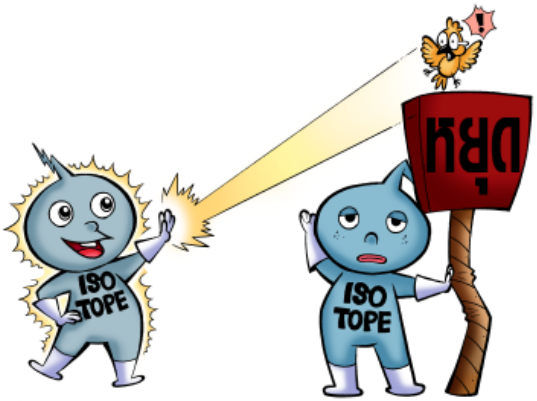


อะตอมประกอบด้วยสองส่วนสำคัญ คือ นิวเคลียสและอิเล็กตรอน

นิวเคลียส ประกอบด้วย โปรตอนและนิวตรอน

จำนวนโปรตอนในนิวเคลียส เรียกว่า **เลขเชิงอะตอม** (atomic number) ใช้สัญลักษณ์ Z และเป็นตัวกำหนดชนิดของธาตุ โดยที่ธาตุแต่ละชนิดจะมีนิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอนจำนวนเท่ากันเสมอ แต่มีจำนวนนิวตรอนแตกต่างกันได้ และอะตอมของธาตุชนิดเดียวกันที่มีจำนวน

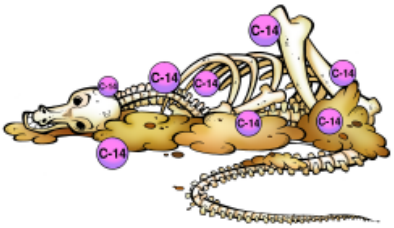
นิวตรอนแตกต่างกัน เรียกว่า "ไอโซโทป" (isotope) และไอโซโทปของแต่ละธาตุ กำหนดโดยจำนวนของโปรตอนรวมกับนิวตรอน เรียกว่า "เลขมวล" (mass number) ใช้สัญลักษณ์ A ตามหลังสัญลักษณ์ชื่อธาตุ เช่น ธาตุ X มีเลขมวล A ไอโซโทปของธาตุ X นี้จะเขียนเป็น X-A



ตัวอย่างของไอโซโทปของธาตุต่างๆ เช่น ไฮโดรเจน มี 3 ไอโซโทป คือ H-1 เป็น ไฮโดรเจนธรรมดา นิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอน 1 อนุภาค ไม่มีนิวตรอน มักเขียนเพียง H เป็นไอโซโทปมีมากที่สุดในธรรมชาติของธาตุไฮโดรเจน (99.98%) H-2 มีชื่อเรียกเฉพาะเป็น ดิวเทอเรียม (deuterium) หรือ ไฮโดรเจนมวลหนัก (heavy hydrogen) แต่มักเขียนสัญลักษณ์เพียง D มีนิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอน 1 อนุภาค นิวตรอน 1 อนุภาค H-3 มีสัญลักษณ์เฉพาะเป็น T จากชื่อ ทริเทียม (tritium) มีนิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอน 1 อนุภาค นิวตรอน 2 อนุภาค

อีกตัวอย่างหนึ่งของไอโซโทป คือ ไอโซโทปของธาตุคาร์บอน (C) ซึ่งมีเลขเชิงอะตอม 6 เพราะในนิวเคลียส มีโปรตอนอยู่ 6 อนุภาค แต่มีไอโซโทปซึ่งมีนิวตรอนแตกต่างกันหลายไอโซโทป เช่น

C-10 มีนิวตรอน 4 อนุภาค
C-11 มีนิวตรอน 5 อนุภาค
C-12 มีนิวตรอน 6 อนุภาค
C-13 มีนิวตรอน 7 อนุภาค
C-14 มีนิวตรอน 8 อนุภาค
C-15 มีนิวตรอน 9 อนุภาค



โดยมีไอโซโทปของคาร์บอน-14 (C-14) เป็นที่รู้จักกันมากที่สุด เพราะมีบทบาทสำคัญในการหาอายุวัตถุโบราณ

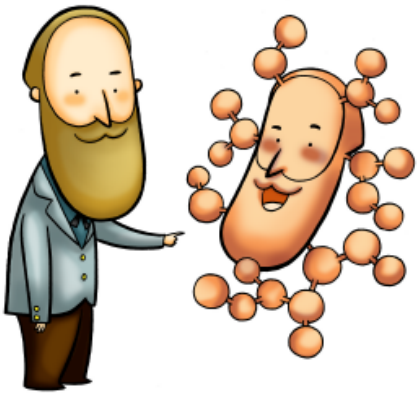
อิเล็กตรอนในอะตอม

จำนวนอิเล็กตรอนของธาตุปกติ จะเท่ากับจำนวนโปรตอนในนิวเคลียสของธาตุ ทำให้อะตอมของธาตุปกติมีประจุไฟฟ้าเป็นกลางหรือไม่มีประจุไฟฟ้า แต่ถ้าอะตอมหนึ่งเสียอิเล็กตรอนไป ก็จะเป็นอะตอมที่ไม่เป็นกลางทางไฟฟ้าอีกต่อไป เพราะจะมีประจุ

ไฟฟ้าเป็นบวก (+) เท่าจำนวนอิเล็กตรอนที่หายไป เช่น ธาตุฮีเลียม (helium) โดยปกติมีนิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอน 2 อนุภาค นิวตรอน 2 อนุภาค และมีอิเล็กตรอนอยู่รอบนอกนิวเคลียสอีก 2 อนุภาค แต่เมื่อสูญเสียอิเล็กตรอน 2 อนุภาคไป อะตอมของธาตุฮีเลียมที่เหลือก็จะกลายเป็นอะตอมมีประจุไฟฟ้าเป็น +2

จำนวนธาตุที่ถูกค้นพบ

ถึงปี ค.ศ. 2006 มีธาตุถูกค้นพบแล้ว 118 ธาตุ แต่เป็นธาตุที่ได้รับการยืนยันอย่างเป็นทางการโดยองค์กรระดับโลกเกี่ยวกับเคมีและฟิสิกส์จำนวน 111 ธาตุ ส่วนธาตุที่ 112 ถึง 118 ยังอยู่ในระหว่างการตรวจสอบว่าเป็นธาตุใหม่จริงหรือไม่



ธาตุที่ 111 ถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ. 1995 ได้รับการยอมรับอย่างเป็นทางการ ปี ค.ศ. 2003 และตั้งชื่ออย่างเป็นทางการในปี ค.ศ. 2004 ว่า เรินต์เกนเนียม (Roentgenium) ตามชื่อของ วิลเฮล์ม คอนราด เรินต์เกน (Wilhelm Konrad Roentgen: ค.ศ. 1845 - 1923) ผู้ค้นพบรังสีเอกซ์เมื่อปี ค.ศ. 1895

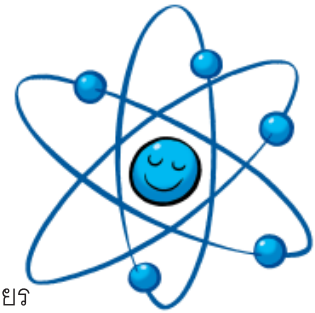
ที่มาของธาตุ

ธาตุที่ถูกค้นพบทั้งหมดมีทั้งที่อยู่ในธรรมชาติและที่ถูกสร้างขึ้น ธาตุที่อยู่ในธรรมชาติ มีทั้งหมด 92 ธาตุ ธาตุที่เหลือทั้งหมดล้วนสร้างขึ้นมาในห้องปฏิบัติการ

วิธีการสร้างธาตุใหม่ของนักวิทยาศาสตร์ โดยหลักการแล้วก็คือการพยายามเพิ่มจำนวนโปรตอนให้กับนิวเคลียสของธาตุที่มีอยู่ก่อน เครื่องมือหลักที่ใช้ ได้แก่ **เครื่องเร่งอนุภาค (particle accelerator)** เพราะโปรตอนจะเข้าไปรวมอยู่กับโปรตอนในนิวเคลียสของธาตุที่มีอยู่ก่อนได้ โปรตอนใหม่จะต้องมีพลังงานสูงมาก

เครื่องเร่งอนุภาคที่มีพลังสูงที่สุดในโลก ชื่อ Large Hadron Collider เรียกสั้นๆ ว่า LHC ตั้งอยู่ใกล้ๆ กับเมืองเจนีวา ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ จะสร้างเสร็จพร้อมใช้งานได้ในปี ค.ศ. 2007 คาดหวังกันว่าเครื่องเร่งอนุภาคนี้จะช่วยตอบปัญหาสำคัญเกี่ยวกับกำเนิดและวิวัฒนาการของจักรวาลที่ยังเป็นปริศนาอยู่ได้ และจะช่วยให้นักวิทยาศาสตร์สามารถสร้างธาตุใหม่ๆ ขึ้นมาได้อีกอย่างแน่นอน

เสถียรภาพและการสลายของอะตอม



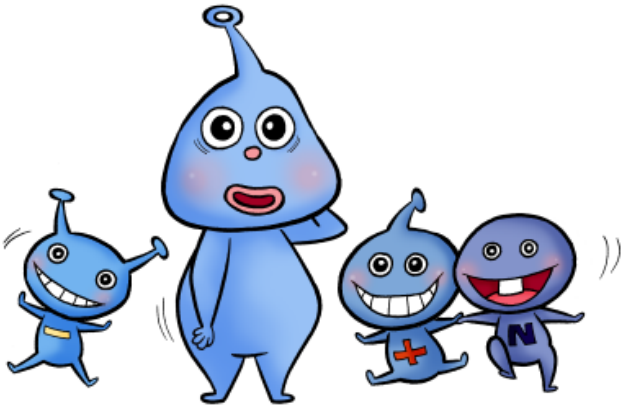
โดยทั่วไป ธาตุทุกชนิดในธรรมชาติแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ **ธาตุเสถียร** (stable elements) และ **ธาตุกัมมันตรังสี** (radioactive elements) ซึ่งมีการสลายอย่างเป็นธรรมชาติตลอดเวลา แต่ธาตุที่เสถียรก็ถูกทำให้มีไอโซโทปเป็นกัมมันตรังสีได้ โดยการก่อกัมมันตภาพรังสีด้วยอนุภาคนิวตรอน

เรื่องของความเสถียรและการสลายของอะตอมเป็นเรื่องใหญ่ มีความสำคัญเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์และอันตรายของอะตอมที่จะได้รับ ซึ่งเราจะทำความรู้จักให้มากขึ้นอีกต่อไปในหนังสือชุดนี้

การรับและปล่อยพลังงานของอะตอม เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของอิเล็กตรอน

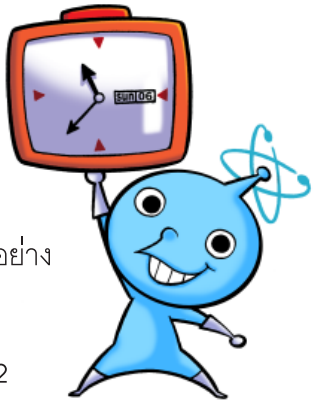
นอกเหนือจากการสลายของอะตอมอย่างเป็นธรรมชาติ โดยปลดปล่อยพลังงานออกมาแล้ว อะตอมยังสามารถรับและปล่อยพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนตำแหน่งของอิเล็กตรอนในอะตอมได้อีกด้วย

ตามทฤษฎีควอนตัมของอะตอม อิเล็กตรอนสามารถจะอยู่รอบนิวเคลียสได้เฉพาะบางตำแหน่ง ในการเปลี่ยนตำแหน่งของอิเล็กตรอนจะต้องเปลี่ยนในลักษณะของการกระโดดข้ามช่องว่างระหว่างตำแหน่งที่อิเล็กตรอนอยู่ได้



การกระโดดข้ามช่องว่างของอิเล็กตรอน ถ้ากระโดดจากตำแหน่งที่มีระดับพลังงานต่ำไปสู่ตำแหน่งที่มีระดับพลังงานสูงกว่า อิเล็กตรอนจะต้องรับพลังงานจากภายนอกอะตอมมีขนาดเท่ากับความแตกต่างของระดับพลังงานทั้งสองเท่านั้น และเมื่ออิเล็กตรอนขึ้นไปอยู่ในตำแหน่งที่มีระดับพลังงานสูงกว่าแล้ว เมื่อจะกระโดดกลับลงไปสู่ตำแหน่งที่มีระดับพลังงานต่ำกว่า อิเล็กตรอนจะต้องปล่อยพลังงานออกมาจากอะตอมมีขนาดเท่าความต่างระหว่างระดับพลังงานทั้งสอง

พลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากอะตอมของธาตุแต่ละชนิดในลักษณะนี้จะมีขนาดเฉพาะของแต่ละธาตุ และมีสมบัติเฉพาะของธาตุแต่ละชนิด ความรู้นี้มีประโยชน์อย่างยิ่งทางด้านวิทยาศาสตร์เกี่ยวข้องกับการตรวจค้นและตรวจสอบชนิดของอะตอมหรือธาตุต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการหรือที่มาจากอวกาศและเป็นหลักการสำคัญของ **นาฬิกาเชิงอะตอม** ซึ่งเริ่มใช้อย่างเป็นทางการเป็นครั้งแรกโดยประเทศฝรั่งเศส เมื่อวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1972



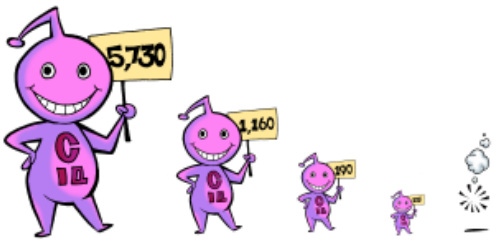
นาฬิกาเชิงอะตอมที่ประเทศฝรั่งเศสใช้กำหนดเวลามาตรฐาน (international atomic time หรือ เวลาเชิงอะตอมระหว่างประเทศ มีชื่อเรียกย่อๆ ว่า IAT) เป็นนาฬิกาเชิงอะตอมแบบซีเซียม-133 ซึ่งเป็นนาฬิกาเชิงอะตอมมาตรฐานที่ใช้กันทั่วโลกในปัจจุบัน

นาฬิกาเชิงอะตอมที่ใช้กันทั่วโลกในปัจจุบันมีความเที่ยงตรงสูงมาก เฉลี่ยแล้วจะคลาดเคลื่อนเพียง 1 วินาทีต่ออายุการทำงานของนาฬิกา 1,000 ปี นาฬิกาเชิงอะตอมแบบซีเซียมรุ่นใหม่ๆ มีความเที่ยงตรงสูงยิ่งขึ้นไปอีกอย่างน่าทึ่ง คือ จะคลาดเคลื่อนเพียง 1 วินาทีต่ออายุการทำงานของนาฬิกาเชิงอะตอมเป็น 10,000 ล้านปีทีเดียว

การสลายของอะตอมกับกัมมันตภาพรังสี

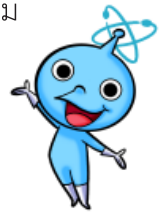
ธาตุกัมมันตรังสี จะสลายปลดปล่อยอนุภาคหรือพลังงานออกมาในรูปของความร้อน การสลายของธาตุกัมมันตรังสีจะเกิดในอัตราที่แน่นอน เป็นค่าคงที่ของไอโซโทปกัมมันตรังสีแต่ละชนิด เรียกว่า **"ครึ่งชีวิต" (half life)**

ครึ่งชีวิต ของธาตุหรือไอโซโทปกัมมันตรังสีหนึ่ง เป็นระยะเวลาที่ธาตุกัมมันตรังสีจำนวนหนึ่ง สลายไปเป็นปริมาณครึ่งหนึ่ง เหลืออะตอมของไอโซโทปกัมมันตรังสีนั้นเป็นจำนวนครึ่งหนึ่งของอะตอมเริ่มต้น



ตัวอย่างเช่น ไอโซโทปกัมมันตรังสีคาร์บอน-14 มีครึ่งชีวิตประมาณ 5,730 ปี หมายความว่า ถ้าวันนี้เริ่มต้นจากคาร์บอน-14 จำนวน 100 อะตอม เมื่อเวลาผ่านไป 5,730 ปี จะมีคาร์บอน-14 เหลืออยู่ 50 อะตอม

ในการสลายของธาตุกัมมันตรังสีจะเกิดอะตอมของธาตุใหม่ ซึ่งอาจจะเป็นธาตุกัมมันตรังสี หรือเป็นธาตุเสถียรก็ได้ สำหรับอนุภาคและพลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปของรังสี โดยมีพลังงานในรูปของโฟตอนหรือความร้อน หรือทั้งสองชนิด



รังสีที่รู้จักกันดีโดยทั่วไป มีอยู่ 3 ชนิด คือ รังสีแอลฟา (alpha rays) รังสีบีตา (beta rays) และรังสีแกมมา (gamma rays)

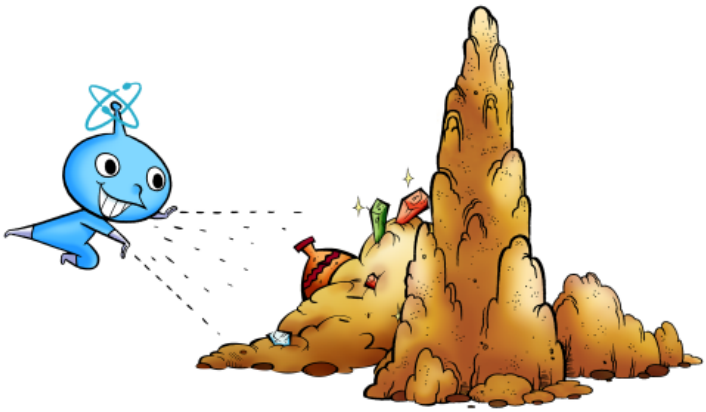
รังสีแอลฟา (alpha rays) เป็นอนุภาค ประกอบด้วยโปรตอน 2 อนุภาค และนิวตรอน 2 อนุภาค ซึ่งก็คือนิวเคลียสของอะตอมฮีเลียม หรืออะตอมของธาตุฮีเลียมที่สูญเสียอิเล็กตรอนไป 2 อนุภาค จึงทำให้รังสีหรืออนุภาคแอลฟามีประจุไฟฟ้าเป็น +2

รังสีบีตา (beta rays) จริงๆ แล้วก็คืออนุภาคอิเล็กตรอนที่มีความเร็ว หรือพลังงานสูง ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ แต่ถ้ามีประจุไฟฟ้าเป็นบวกเรียกว่าอนุภาคโพซิตรอน (positron) (ก็จัดเป็นรังสีบีตาด้วยกัน)

รังสีแกมมา (gamma rays) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความถี่หรือพลังงานสูง

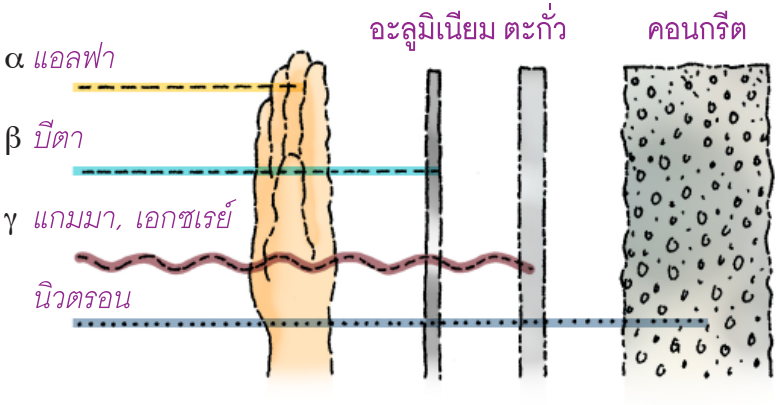
รังสีเอกซ์ (X-rays) โดยสมบัติพื้นฐาน ก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับรังสีแกมมา แต่มีความถี่ต่ำกว่า จึงมีพลังงานต่ำกว่ารังสีแกมมา

โดยทั่วไป รังสีเอกซ์จะเกิดขึ้นได้โดยการกระตุ้นอะตอมของธาตุโลหะบางชนิด เช่น ทังสเตน ให้ปลดปล่อยพลังงานในรูปของรังสีเอกซ์ออกมา เช่น เครื่องผลิตรังสีเอกซ์ ที่ใช้งานตามโรงพยาบาลทั่วไป



การสลายของธาตุกัมมันตรังสีโดยปลดปล่อยรังสีออกมา มิได้หมายความว่า จะต้องปล่อยรังสีทั้ง 3 ชนิดเสมอไป ส่วนใหญ่แล้วจะปล่อยรังสีบีตาและรังสีแกมมา เช่น โคบอลต์-60 รองลงมา คือ ปล่อยเฉพาะรังสีแกมมา เช่น แบเรียม-133 และรองลงมาอีก จะปล่อยเฉพาะรังสีบีตาหรือรังสีแอลฟา เช่น แคลเซียม-45 ปล่อยเฉพาะรังสีบีตา และเรเดียม-226 ปล่อยเฉพาะรังสีแอลฟา

สมบัติพื้นฐานประการหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการใช้ประโยชน์และป้องกันอันตรายจากรังสี คือ **อำนาจทะลุทะลวงเปรียบเทียบ** ของรังสีทั้ง 4 ชนิด ซึ่งเรียงตามลำดับอำนาจทะลุทะลวงสูงสุดลงไป ได้แก่ รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ รังสีบีตา และรังสีแอลฟา

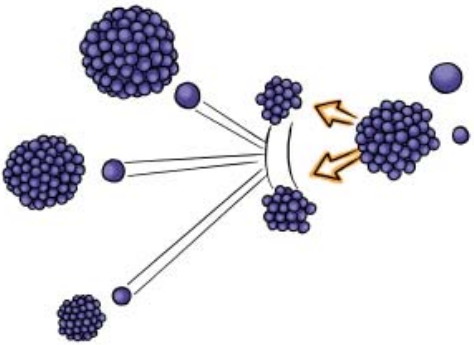


ความรู้เกี่ยวกับการสลายของธาตุกัมมันตรังสีให้รังสีและพลังงานในรูปของความร้อน (มากหรือน้อยแล้วแต่ชนิดของไอโซโทปรังสี) และความรู้เกี่ยวกับอำนาจทะลุทะลวงเปรียบเทียบของรังสีทั้ง 4 ชนิด เป็นประโยชน์อย่างมหาศาลในด้านต่างๆ เช่น เกษตรกรรม อุตสาหกรรม การแพทย์ โบราณคดี และธรณีวิทยา (การหาอายุของวัตถุโบราณและอายุของโลก) ขณะเดียวกัน ก็มีคุณค่าอย่างยิ่งในการป้องกันอันตรายจากรังสี

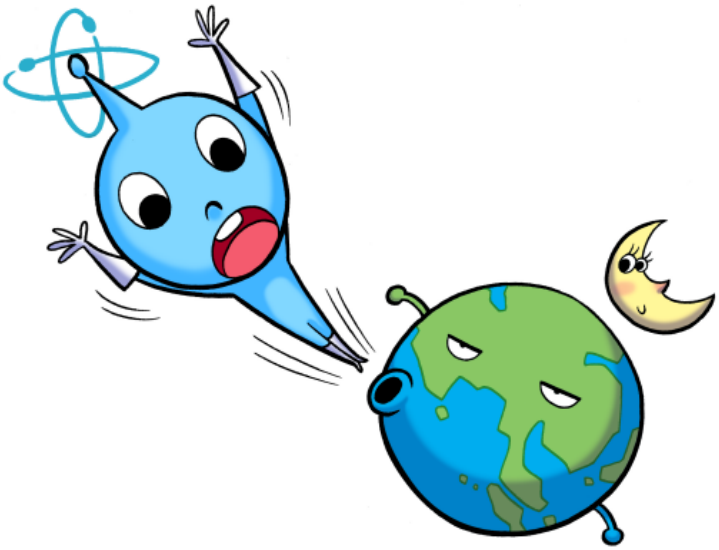
พลังงานนิวเคลียร์

บนถนนสายอะตอม จุดสุดท้ายอันเป็นที่สุดของเรื่องราวต่างๆ เกี่ยวกับอะตอม ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่ออนาคตของมนุษยชาติ คือ **พลังงานนิวเคลียร์** แต่การก้าวเดินเพื่อไปให้ถึงจุดหมายปลายทางของถนนสายนิวเคลียร์ ก็มีเรื่องราวตามรายทางหลายๆ เรื่องที่ผู้เดินทางควรจะได้เก็บเกี่ยว เพื่อให้เกิดความพร้อมสูงสุดเมื่อเดินทางถึงจุดหมาย

เรื่องราวตามรายทางที่น่าสนใจและมีความสำคัญเป็นพิเศษ คือ เรื่องแรงพื้นฐานของธรรมชาติในจักรวาล 4 ชนิด เรื่องของแรงยึดเหนี่ยวภายในอะตอม และพลังงานยึดเหนี่ยวอะตอม เรื่องของความสัมพันธ์ระหว่างสสารกับพลังงานตามทฤษฎีสัมพัทธภาพของไอน์สไตน์ และเรื่องของปฏิกิริยานิวเคลียร์



แรงพื้นฐาน 4 ชนิด



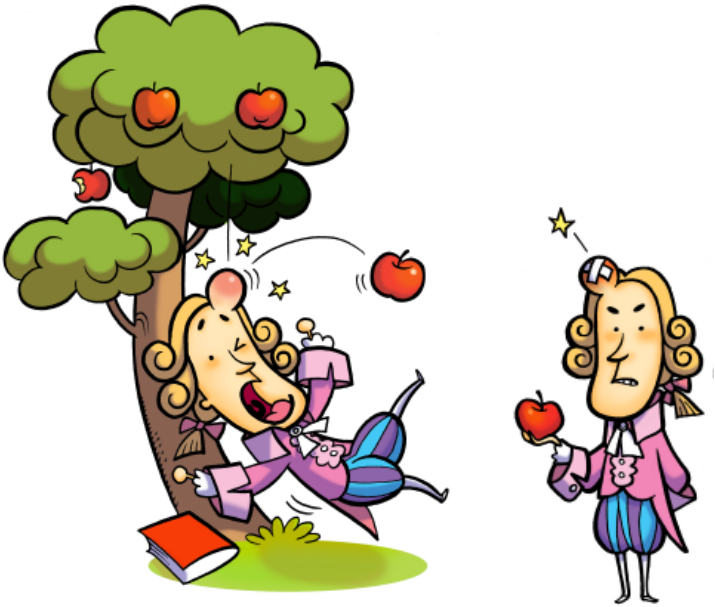
ในชีวิตของมนุษย์เรา ดูจะได้รู้จักกับแรงมากมายหลายหลากชนิด ดังเช่น แรงกดดัน แรงอัด แรงดึงดูด แรงผลัก แรงต้าน แรงยก แรงลอยตัว แรงแม่เหล็ก แรงไฟฟ้า ฯลฯ แต่สำหรับวงการวิทยาศาสตร์มีแรงพื้นฐานในธรรมชาติแห่งจักรวาลที่นักวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันรู้จักอย่างแน่นอนเพียง 4 ชนิด คือ *แรงโน้มถ่วง (gravitational force) แรงแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic force)*

แรงนิวเคลียร์แบบเข้ม (strong nuclear force หรือเรียกสั้นๆ ว่า strong force) และ *แรงนิวเคลียร์แบบอ่อน (weak nuclear force หรือเรียกสั้นๆ ว่า weak force)*

ถึงแม้ว่า เรื่องของพลังงานนิวเคลียร์จะเกี่ยวข้องกับแรงนิวเคลียร์ (โดยเฉพาะอย่างยิ่งแรงนิวเคลียร์แบบเข้ม) โดยตรง แต่จากแนวคิดของวงการวิทยาศาสตร์ที่เริ่มต้นจากไอน์สไตน์ว่า ในที่สุดแล้ว แรงพื้นฐาน 4 ชนิด ก็มาจากแรงพื้นฐานจริงๆ เพียงชนิดเดียว และปัญหาที่ท้าทายที่สุดของวงการวิทยาศาสตร์ปัจจุบัน คือ ปัญหาการรวมแรง 4 ชนิดเข้าเป็นชนิดเดียวกันภายใต้กฎเกณฑ์ของธรรมชาติเพียงกฎเดียว ทำให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแรงพื้นฐานทั้ง 4 ชนิด มีความสำคัญต่อเรื่องการปลดปล่อยพลังงานที่ทรงพลังที่สุดในประวัติศาสตร์มนุษยชาติคือ พลังงานนิวเคลียร์

ต่อไปนี้คือสิ่งที่น่าสนใจเป็นพิเศษเกี่ยวกับแรงพื้นฐานในธรรมชาติ 4 ชนิด

■ **แรงโน้มถ่วง** เป็นแรงที่ดึงดูดวัตถุทุกชนิดทั้งเล็กและใหญ่เข้าหากัน เป็นแรงที่ดึงดูดมนุษย์ให้สามารถเดินอยู่บนพื้นผิวโลกได้ เป็นแรงดึงดูดระหว่างโลกกับดวงจันทร์ ระหว่างดวงดาวต่างๆ ในระบบสุริยะ มีกฎแรงโน้มถ่วงของนิวตันเป็นกฎพื้นฐานทั่วไป แต่ในการศึกษาเรื่องของแรงดึงดูดระหว่างวัตถุที่ละเอียดถูกต้องกว่าจะต้องใช้ **ทฤษฎีสัมพัทธภาพของไอน์สไตน์ภาคทั่วไป** (general theory of relativity) ซึ่งจริงๆ แล้วก็เป็นทฤษฎีความโน้มถ่วงนั่นเอง



แรงโน้มถ่วงเกี่ยวข้องกับพลังงานนิวเคลียร์ เพราะพลังงานนิวเคลียร์จะเกิดขึ้นได้ ก็ต้องต่อสู้กับแรงโน้มถ่วงด้วย

■ **แรงแม่เหล็กไฟฟ้า** เป็นแรงที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ต่างๆ เกี่ยวกับแม่เหล็กและไฟฟ้า เกี่ยวกับโครงสร้างของอะตอมที่มีเรื่องของโปรตอน (มีประจุไฟฟ้าบวก) กับอิเล็กตรอน (มีประจุไฟฟ้าลบ) และเกี่ยวกับการเกิดและการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

กฎที่เกี่ยวข้องกับแรงแม่เหล็กไฟฟ้าที่สำคัญ คือ **กฎของคูลอมบ์** (Coulomb's law) ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าหรือสมการคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 4 ข้อของแมกซ์เวลล์ ซึ่งมักเรียกกันสั้นๆ ว่า **สมการของแมกซ์เวลล์** (Maxwell's equations) อธิบายการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ และทฤษฎีเกี่ยวกับโฟตอนที่เป็นอนุภาคของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

$$\oint \vec{E}\cdot d\vec{A} = \frac{q}{\varepsilon_0}$$ Gauss's Law for Electricity

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{A} = 0$$ Gauss's Law for Magnetism

$$\oint \vec{E}\cdot d\vec{s} = \frac{-d\Phi_B}{dt}$$ Faraday's Law

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{s} = \mu_0 i + \frac{\mu_0 \varepsilon_0 d\Phi_E}{dt}$$ Ampere's Law

แรงแม่เหล็กไฟฟ้าเกี่ยวข้องกับพลังงานนิวเคลียร์ เพราะแรงแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างนิวเคลียสกับอิเล็กตรอนเป็นแรงที่มีบทบาทสูงต่อเสถียรภาพของอะตอม พลังงานนิวเคลียร์จะถูกปลดปล่อยจากอะตอมได้ ก็ต้องต่อสู้กับแรงแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างอิเล็กตรอนกับนิวเคลียสด้วย

■ **แรงนิวเคลียร์แบบเข้ม** เป็นแรงที่เกี่ยวข้องกับการยึดเหนี่ยวอนุภาคโปรตอนและนิวตรอนที่อยู่ในนิวเคลียส ให้สามารถอยู่รวมกันอย่างมีเสถียรภาพเป็นนิวเคลียสได้

แรงนิวเคลียร์แบบเข้มหรือมักเรียกกันเป็นแรงนิวเคลียร์นี้เอง เป็นแรงที่พลังงานนิวเคลียร์เกี่ยวข้องโดยตรงมากที่สุด เพราะถ้าเอาชนะแรงนิวเคลียร์นี้ไม่ได้ พลังงานนิวเคลียร์ก็จะเกิดขึ้นได้ยาก

■ **แรงนิวเคลียร์แบบอ่อน** เป็นแรงที่เกี่ยวข้องกับการสลายของอะตอมและการปลดปล่อยอนุภาค เช่น อิเล็กตรอนออกมาเป็นรังสีบีตา ซึ่งก็เป็นส่วนหนึ่งของพลังงานนิวเคลียร์ และถูกปลดปล่อยออกมาจากอะตอมด้วย

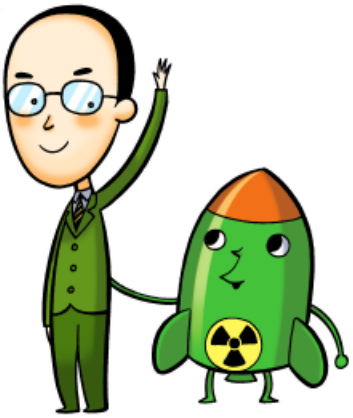
ในจำนวนแรงพื้นฐานทั้งหมด 4 ชนิด แรงที่มีความเข้มข้นหรือแข็งแรงที่สุด คือ แรงนิวเคลียร์แบบเข้ม รองลงมาคือ แรงแม่เหล็กไฟฟ้า จากนั้นคือ แรงนิวเคลียร์แบบอ่อน และอ่อนที่สุดคือ แรงโน้มถ่วง แต่เมื่อเปรียบเทียบพิสัยของอิทธิพลของแรงพื้นฐาน 4 ชนิด จะเห็นว่า แรงที่มีพิสัยสั้นที่สุด คือ แรงนิวเคลียร์แบบเข้ม

แรงที่มีพิสัยยาวขึ้นในลำดับต่อมา คือ แรงนิวเคลียร์แบบอ่อน มีแรงแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ลำดับที่สาม และแรงโน้มถ่วง เป็นแรงมีพิสัยไกลสุด และมีอิทธิพลต่อกำเนิด สภาพความเคลื่อนไหว และวาระสุดท้ายของจักรวาล

ที่ระยะพิสัยประมาณ 10-15 เมตร แรงนิวเคลียร์มีความเข้มมากกว่าแรงแม่เหล็กไฟฟ้าประมาณ 100 เท่า

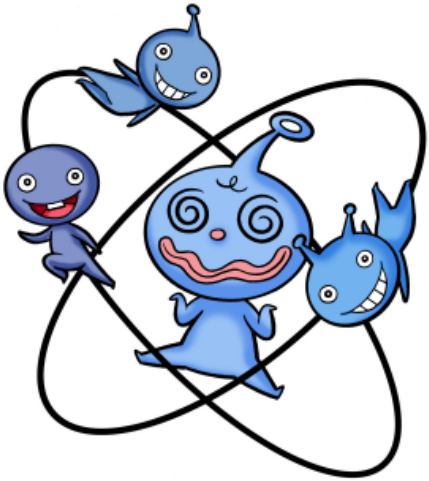
อะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง มีอิเล็กตรอนโคจรอยู่โดยรอบ นิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอน ปัญหาที่ท้าทายนักวิทยาศาสตร์มาก่อน คือ นิวเคลียสของอะตอมมีเสถียรภาพอยู่ได้อย่างไร เพราะเมื่อพิจารณาดูว่า มีแรงอะไรบ้างที่โปรตอนและนิวตรอนทั้งหมดในนิวเคลียสกระทำต่อกัน ก็ชัดเจนในขั้นต้นว่ามีอยู่ 2 แรง คือ แรงดึงดูดระหว่างโปรตอนและนิวตรอนทั้งหมด และแรงไฟฟ้าระหว่างอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าอยู่ภายในนิวเคลียส ซึ่งก็คือโปรตอน เนื่องจากนิวตรอนมีประจุไฟฟ้าเป็นกลาง

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นระหว่างแรงดึงดูดกับแรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคภายในนิวเคลียส แน่ชัดว่าแรงดึงดูดที่เกิดขึ้นภายในนิวเคลียสที่พยายามดึงดูดโปรตอนและนิวตรอนทั้งหมดให้อยู่รวมกันภายในนิวเคลียส จะอ่อนกว่าแรงไฟฟ้าที่เป็นแรงผลักระหว่างโปรตอนด้วยกันเองอย่างมาก ดังนั้นลำพังแรงดึงดูดกับแรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างส่วนประกอบของนิวเคลียสจึงไม่สามารถอธิบายความมีเสถียรภาพของนิวเคลียสได้



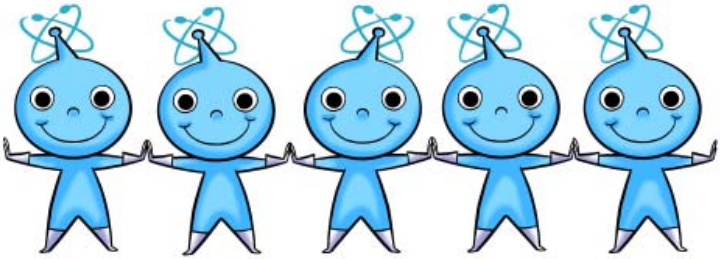
วงการวิทยาศาสตร์ได้คำตอบจริงๆ คือ มีหลักฐานแน่ชัดสำหรับปัญหาเสถียรภาพของนิวเคลียส เมื่อประมาณกลางศตวรรษที่ 20 คำตอบที่เริ่มต้นจากความคิดของ **ฮิเดะกิ ยุกะวะ** (Hideki Yukawa) นักฟิสิกส์ชาวญี่ปุ่น ผู้เสนอทฤษฎีในปี ค.ศ. 1935 ว่า นิวเคลียสมีเสถียรภาพอยู่ได้เพราะมีการแลกเปลี่ยนอนุภาคบางชนิดระหว่างบรรดาอนุภาคที่ประกอบกันเป็นนิวเคลียสทำหน้าที่เป็นแรงยึดเหนี่ยวภายในอะตอม

ถึงปี ค.ศ. 1947 ก็มีการค้นพบอนุภาคดังที่ ฮิเดะกิ ยุกะวะ เสนอจริง ได้รับการตั้งชื่อว่า **พาย-มีซอน** (Pi-Meson) หรือ **พายออน** (Pion) มีทั้งพายออนที่มีประจุไฟฟ้าเป็น + หรือเป็น - และไม่มีประจุไฟฟ้า เป็นอนุภาคที่มีอายุสั้นมาก คือ ชนิดที่มีประจุไฟฟ้าเป็น + หรือเป็น - มีครึ่งชีวิตเพียงประมาณ 10^{-8} วินาที ชนิดเป็นกลาง มีครึ่งชีวิตเพียง 10^{-16} วินาที



คำอธิบายการมีเสถียรภาพของนิวเคลียสในปัจจุบันเป็นดังนี้ คือ บรรดาโปรตอนและนิวตรอนในนิวเคลียส จะมีการแลกเปลี่ยนอนุภาคพายออนระหว่างกันอยู่ตลอดเวลา โดยที่พายออนแต่ละตัวจะเสมือนหนึ่งเกิดแล้วตายลงอย่างรวดเร็ว แต่ก็ยังอยู่นานพอที่จะทำหน้าที่เป็นแขนหรือเป็นกาวจับโปรตอนและนิวตรอนทั้งหมดให้อยู่ด้วยกันอย่างมีเสถียรภาพภายในนิวเคลียส

แรงยึดเหนี่ยวภายในอะตอม อธิบายการมีเสถียรภาพของอะตอมได้อย่างดี แต่ในการทำงานของนักวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับพลังงานที่มีอยู่ในอะตอม ดังเช่นเรื่องของพลังงานนิวเคลียร์จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ สิ่งที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ประโยชน์โดยตรงเป็นเรื่องของ **พลังงานยึดเหนี่ยว (binding energy)** ของอะตอม



เนื่องจากพลังงานนิวเคลียร์เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียสเท่านั้น ไม่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนที่อยู่รอบนิวเคลียส ดังนั้นในการคำนวณหรือกำหนดความหมายของพลังงานยึดเหนี่ยวของอะตอมจึงเกี่ยวข้องเฉพาะกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในนิวเคลียส และในเรื่องของอะตอมพลังงานยึดเหนี่ยวของอะตอมหนึ่งถูกกำหนดให้เป็นพลังงานที่มีขนาดเท่ากับมวลที่แตกต่างกันระหว่างมวลของนิวเคลียสของอะตอมหนึ่งกับมวลของโปรตอนและนิวตรอนที่แยกกันอยู่อย่างอิสระ

เพราะจากข้อเท็จจริงพบว่ามวลของนิวเคลียสของอะตอมหนึ่งจะน้อยกว่ามวลรวมทั้งหมดของโปรตอนและนิวตรอนที่แยกกันอยู่อย่างอิสระ

ตัวอย่างเช่น นิวเคลียสของอะตอมของธาตุดิวเทอเรียม มีมวลวัดได้ 2.01410 หน่วย (เรียกเป็น atomic mass unit หรือหน่วยมวลอะตอม ใช้ชื่อย่อหน่วยเป็น amu) แต่มวลของโปรตอนและนิวตรอนที่แยกกันอยู่รวมแล้วมีค่าเป็น 2.01649 หน่วย ซึ่งมากกว่ามวลของนิวเคลียสของดิวเทอเรียม อยู่ 0.00239 หน่วย และมวลที่ขาดหายไป 0.00239 หน่วยนี้เอง เป็นพลังงานยึดเหนี่ยวของอะตอมของธาตุดิวเทอเรียม

ในกรณีการแบ่งแยกนิวเคลียสของอะตอมที่มิได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ต้องมีการใช้พลังงานเพื่อทำให้เกิดการแบ่งแยกนิวเคลียสขึ้น

สำหรับการคำนวณหาพลังงานของมวลที่ขาดหายไปทำได้โดยอาศัยสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับพลังงานของไอน์สไตน์ คือ $E = mc^2$

พลังงานนิวเคลียร์ และปฏิกิริยานิวเคลียร์

พลังงานนิวเคลียร์ เป็นพลังงานเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียสของอะตอม ซึ่งมีการสูญหายของมวลเกิดขึ้น และมวลที่สูญหายนี้ เป็นมวลที่เปลี่ยนไปเป็นพลังงานตามสมการความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับพลังงานของไอน์สไตน์ $E = mc^2$

สมการ $E = mc^2$ นี้ มักเรียกกันเป็น **สมการไอน์สไตน์** (Einstein equation) มีที่มาจาก **ทฤษฎีสัมพัทธภาพภาคพิเศษ** (special theory of relativity) ของไอน์สไตน์ เมื่อปี ค.ศ. 1905 มีความหมายว่ามวลกับพลังงานเป็นสิ่งเดียวกัน แต่อยู่กันคนละรูป และมีความเกี่ยวพันกัน คือ มวลเปลี่ยนไปเป็นพลังงานได้ ขณะเดียวกันพลังงานก็เปลี่ยนไปเป็นมวลได้ โดยที่มวล m เมื่อเปลี่ยนไปเป็นพลังงาน จะเกิดเป็นพลังงานมีขนาด E ตามสมการ $E = mc^2$

ในสมการ $E = mc^2$ นั้น c คือความเร็วของแสงในสุญญากาศ มีค่าคงที่ คือ ประมาณ 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที หรือประมาณ 186,000 ไมล์ต่อวินาที

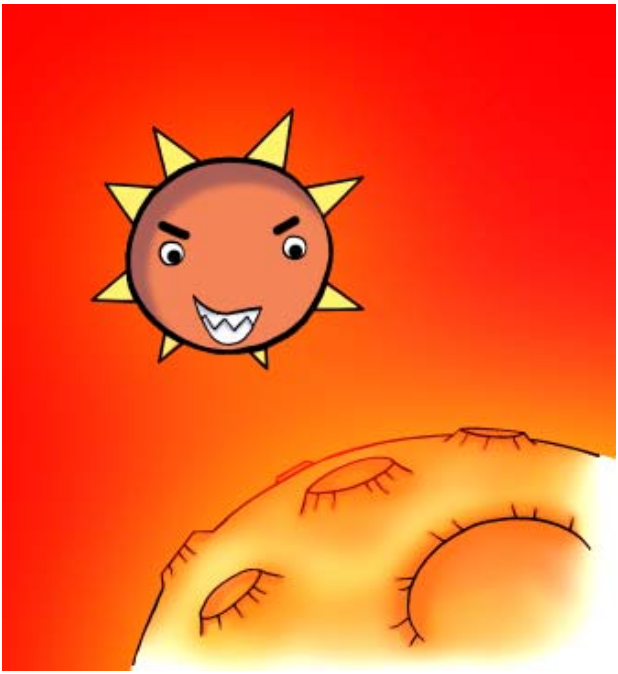
โดยทั่วๆ ไป เมื่อกล่าวถึงพลังงานนิวเคลียร์ จะหมายถึงพลังงานจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ (nuclear reactions) ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด คือ **ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน** (fission nuclear reaction) และ **ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน** (fusion nuclear reaction)

ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน เป็นปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นจากธาตุหนัก เช่น ยูเรเนียม เปลี่ยนไปเป็นธาตุที่เบากว่า แล้วมีการสูญหายของมวลเกิดขึ้น มวลที่สูญหายไปนี้ เปลี่ยนไปเป็นพลังงาน ตามสมการ $E = mc^2$ ของไอน์สไตน์

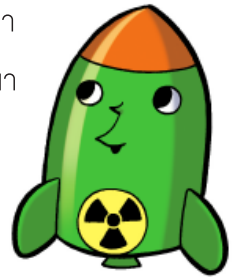
ธาตุหนักที่เป็นธาตุกัมมันตรังสี เช่น ยูเรเนียม โดยปกติจะสลายเองอยู่แล้วในธรรมชาติ เป็นปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่เมื่อนักวิทยาศาสตร์ต้องการจะผลิตพลังงานนิวเคลียร์จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันให้ได้เป็นปริมาณมาก ก็จะใช้วิธีเร่งให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ในระดับใหญ่ขึ้นมาก โดยใช้อนุภาคพลังงานสูงเป็นกระสุน อนุภาคที่ถูกใช้เป็นกระสุนมากที่สุด คือ นิวตรอน เพราะนิวตรอนมีมวลมากกว่าอิเล็กตรอนและโปรตอน ที่สำคัญ นิวตรอนไม่มีประจุไฟฟ้า จึงเข้าหาเป้าคือนิวเคลียสของอะตอมเป้าหมายได้สะดวก ไม่ถูกต้านด้วยแรงไฟฟ้าจากโปรตอนในนิวเคลียส

เนื่องจากเป้าของปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันที่ถูกทำให้เกิดขึ้นในปัจจุบัน ล้วนเป็นสารกัมมันตรังสี เช่น ยูเรเนียม ซึ่งในการสลายตามธรรมชาติจะปล่อยนิวตรอนออกมาเป็นจำนวนมาก ในปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันโดยทั่วไปจึงใช้สารกัมมันตรังสีเป็นทั้งเป้าและเชื้อเพลิง และเป็นแหล่งปล่อยอนุภาคนิวตรอนเพื่อให้ทำหน้าที่เป็นกระสุนยิงนิวเคลียสของอะตอมที่เป็นเป้ากระสุนโดยรอบ

ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน เป็นปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกิดจากธาตุที่เบา เช่นอะตอมไฮโดรเจนรวมตัวกันเป็นธาตุที่หนักขึ้น เกิดเป็นอะตอมของธาตุฮีเลียม ในกระบวนการนั้น มีการสูญหายของมวลเกิดขึ้น มวลที่สูญหายไป เปลี่ยนไปเป็นพลังงานตามสมการ $E = mc^2$ เช่นที่เกิดขึ้นในดวงอาทิตย์ ทำให้ดวงอาทิตย์เป็นลูกไฟนิวเคลียร์ขนาดยักษ์ล่องลอยอยู่ในอวกาศ



เมื่อเปรียบเทียบกับปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันจะเกิดยากกว่ามาก เพราะการจับนิวเคลียสของอะตอมให้หลอมรวมกัน ยากกว่าการทำให้นิวเคลียสของอะตอมแบ่งแยก ที่สำคัญมวลสารที่หายไปในปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน จะสูงกว่าในกรณีของปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันมาก ดังนั้นพลังงานจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน จึงสูงกว่าพลังงานจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันมากเช่นกัน



ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากอานุภาพของลูกระเบิดนิวเคลียร์แบบฟิวชัน (ดังเช่นลูกระเบิดไฮโดรเจน) ที่สูงกว่าของลูกระเบิดนิวเคลียร์แบบฟิชชันอย่างมาก (เช่น ลูกระเบิดยูเรเนียมหรือลูกระเบิดพลูโทเนียมนั่นเอง)

การใช้ประโยชน์ของพลังงานจากอะตอม

อะตอมเป็นแหล่งพลังงานใหญ่ มีศักยภาพเป็นประโยชน์ต่อมนุษย์อย่างมากมาย มนุษย์ใช้ประโยชน์จากพลังงานอะตอมได้ 2 รูปแบบใหญ่ๆ คือ

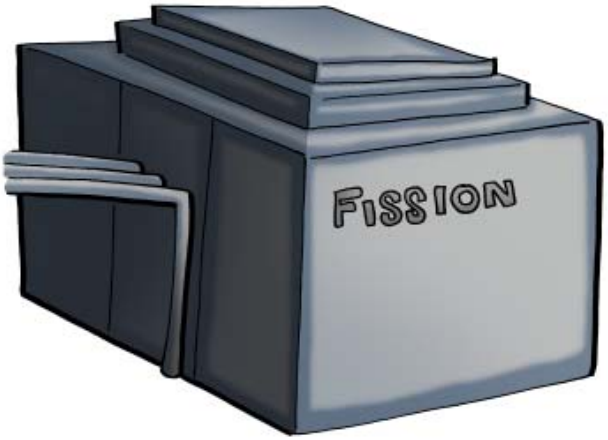
- *พลังงานในรูปของรังสีและความร้อนจากการสลายตามธรรมชาติของไอโซโทปกัมมันตรังสี*
- *พลังงานนิวเคลียร์จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน และปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันที่ถูกทำให้เกิดขึ้น*

ในการใช้ประโยชน์ของพลังงานจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันและฟิวชัน สิ่งที่ใช้เป็นประโยชน์ได้มีทั้งพลังงานในรูปของความร้อน ความรุนแรง และรังสี ซึ่งจะได้ทั้งจากการทำให้ปฏิกิริยานิวเคลียร์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วรุนแรงโดยไม่มีการควบคุม และการทำให้ปฏิกิริยานิวเคลียร์เกิดขึ้นภายใต้การควบคุม

โดยทั่วไปตั้งแต่เริ่มต้นของยุคนิวเคลียร์ถึงปัจจุบัน ประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์ที่ใช้กัน

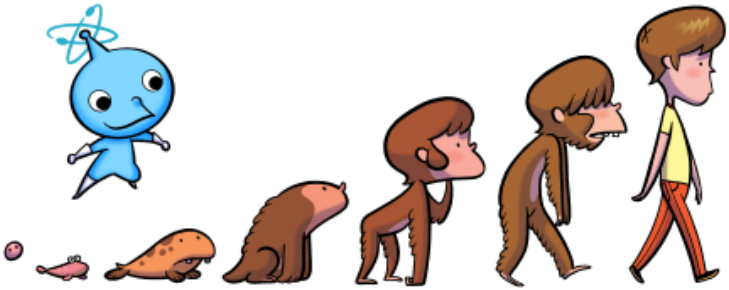
อย่างกว้างขวางที่สุดในวงการและด้านต่าง ๆ มากที่สุด เป็นพลังงานนิวเคลียร์ที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ภายใต้การควบคุมให้ปฏิกิริยานิวเคลียร์เกิดขึ้นในอัตราและระดับของพลังงานตามที่มนุษย์ต้องการ

วิธีการควบคุมปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่มีใช้กันอยู่ถึงปัจจุบันล้วนเป็นวิธีการควบคุมปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบฟิชชัน โดยอาศัย **เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์** (nuclear reactor)



สำหรับการควบคุมปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบฟิวชัน นักวิทยาศาสตร์สามารถควบคุมให้เกิดขึ้นได้แล้วในห้องปฏิบัติการ แต่ยังไม่สามารถนำพลังงานนิวเคลียร์ฟิวชันภายใต้การควบคุมมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเป็นรูปธรรม

วงการวิทยาศาสตร์หวังว่า วันหนึ่งในอนาคตที่ไม่ไกลนักมนุษย์ก็จะได้ใช้ประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์ฟิวชันภายใต้การควบคุมอย่างเป็นรูปธรรมได้ แล้วเมื่อนั้นปัญหาใหญ่ของมนุษยชาติคือการขาดแคลนพลังงานก็จะลดลงไปได้อย่างมาก



เนื่องจากพลังงานจากอะตอมมีทั้งส่วนที่เป็นประโยชน์และที่เป็นอันตรายต่อชีวิต การใช้พลังงานจากอะตอมจึงต้องมีการศึกษา การวางแผน และการเตรียมการอย่างรอบคอบ เพื่อป้องกันอันตรายของพลังงานจากอะตอม แล้วอะตอมก็จะเป็นมิตรที่ดีของมนุษย์ และก่อให้เกิดประโยชน์มากมายในอนาคตตามที่มนุษย์เราต้องการ

อภิธานศัพท์

กัมมันตภาพรังสี (radioactivity)

การสลายของนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีปลดปล่อยรังสีแอลฟา รังสีบีตา และรังสีแกมมาออกมาอย่างทันทีทันใด รังสีที่ถูกปลดปล่อยออกมาอาจมีครบทั้ง 3 ชนิด หรือเพียงบางชนิด

ครึ่งชีวิต (half life)

คาบเวลาที่ธาตุกัมมันตรังสีจำนวนหนึ่งจะสลายไปเป็นปริมาณครึ่งหนึ่งเหลืออะตอมของไอโซโทปกัมมันตรังสีนั้น ครึ่งหนึ่งของอะตอมเริ่มต้น

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า
(electromagnetic wave; electromagnetic radiation)

พลังงานในรูปของคลื่น (แม่เหล็กไฟฟ้า) ประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ตั้งฉากกันและตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนของคลื่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเป็นคลื่นตามขวาง (transverse wave) แยกเป็นชนิดต่างๆ ตามช่วงความยาวคลื่นของคลื่น (จากมากไปหาน้อย) ดังนี้ คลื่นวิทยุ รังสีอินฟราเรด แสงสว่าง รังสีอัลตราไวโอเลต รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา

เครื่องเร่งอนุภาค (particle accelerator)

เครื่องเร่งอนุภาคมีประจุไฟฟ้า (โปรตอน อิเล็กตรอน ฯลฯ) ให้มีความเร็วสูง เพื่อการศึกษาเกี่ยวกับอนุภาคมูลฐาน

แถบกัมมันตรังสี แวนอัลเลน (Van Allen radiation belt)

แถบบริเวณในอวกาศประกอบด้วย อนุภาคมีประจุไฟฟ้า (โปรตอน และอิเล็กตรอน) ถูกจับด้วยสนามแม่เหล็กโลก มีสภาพคล้ายเข็มขัดใหญ่และหนาคาดโลกอยู่ที่ระดับความสูงตั้งแต่ประมาณ 1,000 กิโลเมตร เหนือพื้นผิวโลกที่เส้นศูนย์สูตรมีหลายแถบ แต่ที่เด่นชัดมีสองแถบ คือ แถบใน (ประกอบด้วยโปรตอน) และแถบนอก (ประกอบด้วยอิเล็กตรอน)

ทริเทียม (tritium)

ไอโซโทปหนึ่งของอะตอมไฮโดรเจนประกอบด้วยโปรตอน 1 ตัว นิวตรอน 2 ตัวในนิวเคลียส เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี มีครึ่งชีวิต 12.3 ปี

ทฤษฎีควอนตัมสำหรับอะตอม (atomic quantum theory)

อะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสอยู่ตรงกลางอิเล็กตรอนโคจรอยู่รอบนิวเคลียสได้เฉพาะบางวิถีโคจร กำหนดโดยโมเมนตัมเชิงมุมของอิเล็กตรอน การเปลี่ยนวิถีโคจรของอิเล็กตรอน ต้องเปลี่ยนอย่างกระโดดข้ามระหว่างวิถีโคจรที่มีอยู่ได้เท่านั้น

ทฤษฎีสัมพัทธภาพ (relativity theory)

มี 2 ทฤษฎีย่อยคือ หนึ่ง: ทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษ (special theory of relativity) เป็นกรณีส่วนในการเคลื่อนที่สัมพันธ์คงที่ มีผลเชิงสัมพันธ์ส่วนในขนาด มวล เวลา และความสัมพันธ์ระหว่างสสารกับพลังงานตามสมการ $E=mc^2$ สอง: ทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป (general theory of relativity) เป็นกรณีไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับความเร็วสัมพันธ์ มีผลที่สำคัญดังเช่น การโค้งงอของอวกาศ-กาล (curved space-time)

นาโนเทคโนโลยี (nanotechnology)

เทคโนโลยีในระดับนาโนเมตร หรือระดับ 10^{-9} เมตร ซึ่งเป็นระดับขนาดของอะตอมและโมเลกุล โดยทั่วไปหมายถึงเทคโนโลยีเกี่ยวข้องกับวัตถุ ระบบ สิ่งประดิษฐ์ ที่มีขนาดเล็กมากถึงระดับขนาดของอะตอมหรือโมเลกุล

นิวทริโน (neutrino)

อนุภาคมีอยู่มากมายทั่วไปในจักรวาล มีมวลน้อยมาก

นาฬิกาเชิงอะตอม (atomic clock)

เครื่องมือหรืออุปกรณ์บอกหรือกำหนดเวลามาตรฐานอาศัยสมบัติการสั่น (vibration) หรือการปลดปล่อยพลังงาน เป็นคาบที่แม่นยำของอะตอม เช่น สำหรับนาฬิกาอะตอม

ปฏิกิริยานิวเคลียร์ (nuclear reaction)

ปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียสของธาตุที่เกี่ยวข้อง มี 2 ชนิด คือ ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน (nuclear fission) และปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน (nuclear fusion)

ฝุ่นกัมมันตรังสี (radioactive fallout)

กัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นหรือหลงเหลืออยู่หลังการระเบิดทางนิวเคลียร์

พลังงานนิวเคลียร์หรือพลังงานอะตอม (nuclear energy; atomic energy)

พลังงานที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันหรือปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน จะมีมวลส่วนหนึ่งหายไป มวลที่หายไป เปลี่ยนไปเป็นพลังงานตามสมการ $E=mc^2$

พลังงานยึดเหนี่ยวของอะตอม (atomic binding energy)

พลังงานที่ยึดเหนี่ยวโปรตอนและนิวตรอนให้อยู่รวมกันอย่างมีเสถียรภาพในนิวเคลียสของอะตอม มีค่าเท่ากับพลังงานคำนวณจากส่วนต่าง ๆ ของมวลของนิวเคลียสกับมวลของโปรตอนและนิวตรอนทั้งหมดที่แยกกันอยู่อย่างอิสระ (โดยคำนวณจากสมการ $E=mc^2$) เนื่องจากมวลของนิวเคลียส น้อยกว่ามวลของโปรตอนและนิวตรอนที่แยกกันอยู่

โฟตอน (photon)

อนุภาคของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น อนุภาคของแสง

รังสีแกมมา (gamma rays)

รังสีที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดคลื่นสั้น เกิดจากการสลายของนิวเคลียสที่ไม่เสถียร หรือจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ มักเกิดร่วมกับอนุภาคแอลฟาและอนุภาคบีตา รังสีแกมมามีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง ดังนั้นในการป้องกันอันตรายจากรังสีจึงต้องใช้วัสดุที่มีความหนาแน่นสูง เช่น ตะกั่ว ยูเรเนียมด้อยสมรรถนะ หรือคอนกรีตหนา เป็นเครื่องกำบัง

รังสีคอสมิก (cosmic rays; cosmic radiation)

รังสีจากอวกาศซึ่งเข้าสู่ชั้นบรรยากาศของโลกมีองค์ประกอบโดยประมาณ ได้แก่ โปรตอนร้อยละ 87 รังสีแอลฟาร้อยละ 11 รังสีอนุภาคหนักที่มีเลขเชิงอะตอมระหว่าง 4 ถึง 26 ร้อยละ 1 และอิเล็กตรอนร้อยละ 1

รังสีนิวตรอน (neutron rays; neutron radiation)

อนุภาคนิวตรอนถูกปลดปล่อยออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ในลักษณะเป็นกลุ่มคล้ายลำรังสี

รังสีบีตา; อนุภาคบีตา (beta rays; beta particle)

อนุภาคอิเล็กตรอนหรือโพซิตรอน ที่ถูกปล่อยออกจากนิวเคลียสขณะเกิดการสลายกัมมันตรังสี

รังสีเอกซ์ (X-rays)

รังสีในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีอำนาจทะลุทะลวงสูง เกิดขึ้นเมื่ออะตอมถูกกระตุ้นทำให้อิเล็กตรอนวงในหลุดออกไป และอิเล็กตรอนวงถัดไปเข้ามาแทนที่ แล้วให้พลังงานส่วนเกินออกมาในรูปแบบของรังสีเอกซ์ หรือเกิดจากการระดมยิงเป้าโลหะหนักบางชนิด เช่น ทังสเตน ด้วยอิเล็กตรอนความเร็วสูง ซึ่งอิเล็กตรอนจะถูกหน่วงให้ช้าลงอย่างทันทีทันใดและปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา

รังสีแอลฟา; อนุภาคแอลฟา (alpha rays; alpha particle)

อนุภาคที่มีประจุบวก ประกอบด้วยโปรตอน 2 อนุภาค และนิวตรอน 2 อนุภาค ซึ่งเป็นนิวเคลียสของฮีเลียม-4 มีความสามารถในการทะลุทะลวงต่ำ ผ่านอากาศได้เพียง 2 - 3 เซนติเมตร และไม่สามารถทะลุผ่านกระดาษหรือผิวหนังได้ อนุภาคแอลฟา เกิดจากการสลายของสารกัมมันตรังสีบางชนิด เช่น ยูเรเนียม และทอเรียม

ลมสุริยะ (solar wind)

กระแสของอนุภาค มีประจุไฟฟ้าพัดออกมาจากดวงอาทิตย์ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตอน และอิเล็กตรอน

ลูกระเบิดนิวเคลียร์ (nuclear bomb)

ลูกระเบิดที่แรงระเบิดเกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์อย่างรวดเร็ว (ทันทีทันใด) และอย่างรุนแรง เช่น ลูกระเบิดนิวเคลียร์ฟิชชัน (nuclear fission bomb) เป็นลูกระเบิดนิวเคลียร์จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันและลูกระเบิดนิวเคลียร์ฟิวชัน (nuclear fusion bomb) เป็นลูกระเบิดนิวเคลียร์จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน

ลูกระเบิดนิวเคลียร์ฟิวชัน (nuclear fusion bomb)

ลูกระเบิดที่แรงระเบิดนิวเคลียร์เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันที่นิวเคลียสของอะตอมของธาตุเบา (เช่น ไฮโดรเจน) รวมตัวเป็นนิวเคลียสของอะตอมของธาตุที่หนักกว่า (เช่น ฮีเลียม) แล้วปล่อยพลังงานมหาศาลออกมา

ลูกระเบิดอะตอมหรือลูกระเบิดปรมาณู หรือลูกระเบิดนิวเคลียร์ฟิชชัน (atomic bomb; atom bomb; nuclear fission bomb)

ลูกระเบิดที่แรงระเบิดนิวเคลียร์ที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันที่นิวเคลียสอะตอมของธาตุหนักเช่น ยูเรเนียม แบ่งแยกเป็นนิวเคลียสของอะตอมของธาตุที่เบากว่า แล้วปล่อยพลังงานมหาศาลออกมา

ลูกระเบิดไฮโดรเจน (hydrogen bomb)

ลูกระเบิดนิวเคลียร์ฟิวชัน ใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง

สนามแม่เหล็กโลก (earth magnetic field)

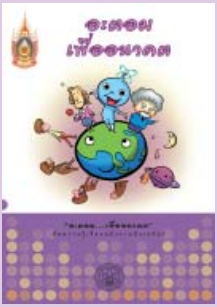
สนามแม่เหล็กรอบโลก กำเนิดจากสภาพของดาวเคราะห์โลกที่มีสภาพเป็นแท่งแม่เหล็กใหญ่ มีขั้วเหนือและขั้วใต้ของแม่เหล็กโลกอยู่ใกล้กับขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ทางภูมิศาสตร์ ความเป็นแม่เหล็กของดาวเคราะห์โลกเกิดจากสภาพภายในของดาวเคราะห์โลกที่เป็นโลหะละลาย

อะตอม (atom)

หน่วยที่เล็กที่สุดของธาตุแต่ละชนิด ประกอบด้วยนิวเคลียส และอิเล็กตรอนอยู่รอบนิวเคลียส นิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอน

"อะตอม...เพื่ออนาคต"

สื่อให้ความรู้เรื่องพลังงานนิวเคลียร์



อะตอม เพื่ออนาคต

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์ ได้รู้จักว่าอะตอมคืออะไร พลังงานนิวเคลียร์เกิดขึ้นได้อย่างไร คนเราทุกวันนี้เกี่ยวข้องกับพลังงานนิวเคลียร์ขนาดไหน และความสำคัญของพลังงานนิวเคลียร์

อะตอมออฟฟิศ

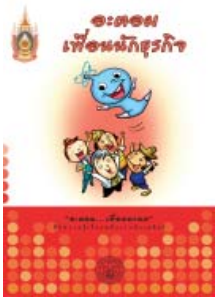
รู้จักกับสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ เป้าหมายและความรับผิดชอบในฐานะองค์กรที่เกี่ยวข้องกับพลังงานนิวเคลียร์โดยตรง เที่ยวชมหน่วยงานภายใน รู้จักอุปกรณ์เครื่องมือที่น่าสนใจ รวมทั้งหน้าที่ของบุคลากรในส่วนต่างๆ

อะตอมเพื่อนเกษตรกรไทย

ประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์ในการพัฒนาด้านการเกษตรของไทย ทั้งด้านการวิจัยและการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างแท้จริง โดยเฉพาะในด้านการพัฒนาพันธุ์พืช การกำจัดศัตรูพืช และการถนอมอาหาร

คุณหมออะตอม

ประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์ในด้านการแพทย์ ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับชีวิตของทุกคน ทั้งด้านการวินิจฉัยโรค การรักษาโรค และการฆ่าเชื้อ ซึ่งการวิจัยเพื่อการแพทย์นี้มีพัฒนาการมาโดยตลอด



อะตอมเพื่อนนักธุรกิจ

ประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์ที่มีต่อวงการอุตสาหกรรม ในด้านการตรวจสอบมาตรฐานการผลิต การตรวจสอบเพื่อบำรุงรักษา และการเพิ่มมูลค่าการผลิต ในประเทศไทยได้พัฒนาเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดมาอย่างต่อเนื่อง

อะตอมนักสำรวจ

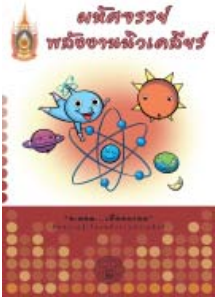
ประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์ที่มีต่อการสำรวจ โดยเฉพาะการสำรวจด้านโบราณคดี และการสำรวจแหล่งแร่ ทั้งนี้โดยอาศัยหลักการในเรื่องของธาตุกัมมันตรังสี และเทคโนโลยีด้านนิวเคลียร์อื่นๆ อีกมากมาย

อยู่ปลอดภัยกับอะตอม

รับรู้ว่าคนเราสามารถใช้ชีวิตได้อย่างปลอดภัยพร้อมๆ ไปกับการพัฒนาเทคโนโลยีด้านนิวเคลียร์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับคนเราเกือบทุกเรื่อง ได้รู้การปฏิบัติตัวอย่างถูกต้องเมื่อต้องเข้าไปเกี่ยวข้องกับพลังงานนิวเคลียร์ ทั้งผู้ใช้ และผู้รับบริการ

สถานีปลายทาง

ความรู้ในเรื่องการจัดการกับกากกัมมันตรังสีที่เหลือจากการใช้ประโยชน์จากพลังงานนิวเคลียร์ในกิจการต่างๆ ได้รู้จักกากกัมมันตรังสีหลากหลายประเภท และความสำคัญที่ต้องจัดการอย่างถูกต้องและไม่เป็นอันตราย



มหัศจรรย์พลังงานนิวเคลียร์

บทบาทของพลังงานนิวเคลียร์ในระดับชาติและระดับสากล แสดงให้เห็นถึงเทคโนโลยีนิวเคลียร์ที่นานาประเทศทั่วโลกให้การยอมรับและไว้วางใจ ให้ความรู้เพื่อสร้างพื้นฐานความเข้าใจเกี่ยวกับพลังงานปรมาณูแก่คนทั่วไป ซึ่งจะเป็นแหล่งพลังงานสำคัญในอนาคตแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงอื่นๆ ที่กำลังจะหมดไป

ISBN: 978-974-229-021-4

คณะผู้จัดทำ:

- นายสุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข
- นางสุชาดา พงษ์พัฒน์
- นางสาวกรรณิกา มณีวรรณ์

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เลขที่ 16 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ 0-2579-5230-4, 0-2562-0123, 0-2596-7600

โทรสาร 0-2561-3013

www.oaep.go.th

ศูนย์บริการประชาชน (Call Center)

โทรศัพท์ 0-2579-1824, 0-2579-1834, 0-2579-1849, 0-2579-2888

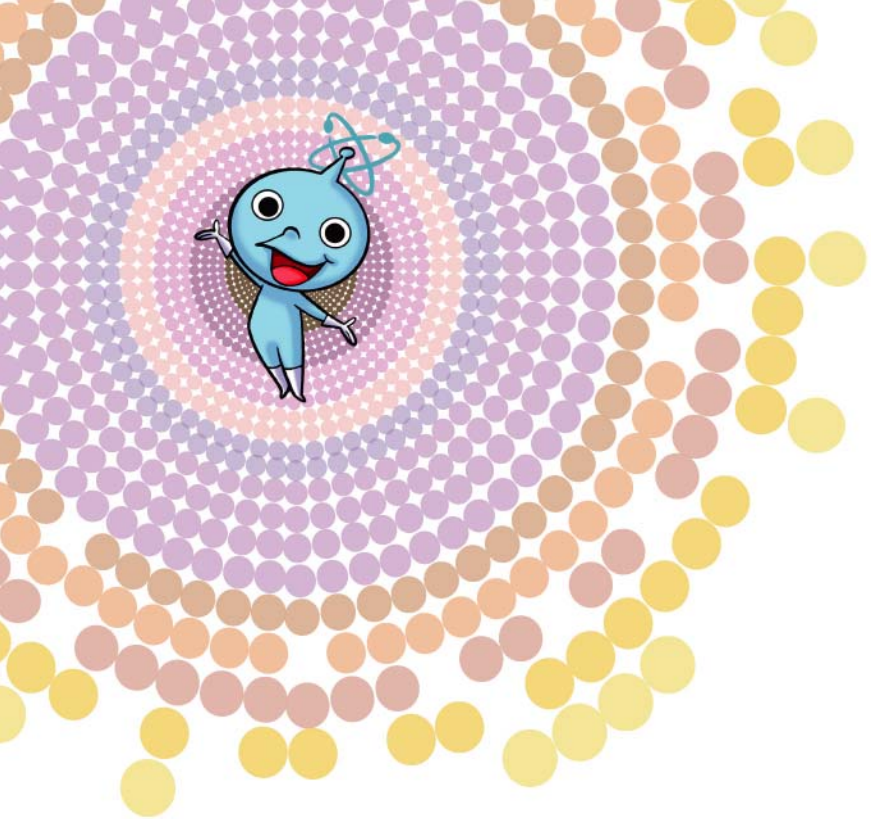
ขอขอบคุณข้อมูลจาก

สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ศึกษา สร้างสรรค์และผลิตโดย:

บริษัท ดาวฤกษ์ คอมมูนิเคชั่นส์ จำกัด (หนึ่งในกลุ่มบริษัทที่ม) 151 ชั้น 12 อาคารทีม ถนนนวลจันทร์ แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ 10230 โทรศัพท์และโทรสาร 0-2509-9091-2 www.daoreuk.com



สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
เลขที่ 16 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ 0-2579-5230-4, 0-2562-0123, 0-2596-7600
โทรสาร 0-2561-3013
www.oaep.go.th

ศูนย์บริการประชาชน (Call Center)
โทรศัพท์ 0-2579-1824, 0-2579-1834, 0-2579-1849, 0-2579-2888