

การสลายกัมมันตรังสี (radioactive decay หรือ radioactive disintegration)

สุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข

การแปลงนิวเคลียสที่เกิดขึ้นเองของนิวไคลด์กัมมันตรังสีหนึ่งให้เป็นนิวไคลด์อีกชนิดหนึ่ง หรือชนิดเดิมที่มีสถานะพลังงานต่างกัน กระบวนการนี้ทำให้จำนวนอะตอมกัมมันตรังสีของสารตั้งต้นลดลงตามเวลาที่ผ่านไป โดยมีกระบวนการหลัก ๆ ได้แก่การปล่อยอนุภาคแอลฟา หรืออนุภาคบีตา และ/หรือรังสีแกมมาออกมา นอกจากนี้ก็ยังมีกระบวนการอื่น ๆ อีก เช่น การจับยึดแบบนิวเคลียร์ (nuclear capture) หรือการสลัดอิเล็กตรอนออกจากวงโคจร หรือการแบ่งแยกนิวเคลียส

การสลายให้อนุภาคแอลฟา (alpha decay) เกิดจากการที่ภายในนิวเคลียสของอะตอมมีอนุภาคโปรตอนมากเกินไป ทำให้เกิดการผลักกันเองอย่างมากระหว่างประจุบวกของโปรตอนเพราะเป็นประจุบวกเหมือนกัน เพื่อลดการผลักกันเองลง อนุภาคแอลฟาซึ่งก็คือนิวเคลียสของอะตอมฮีเลียม (ประกอบด้วยโปรตอน 2 อนุภาค และนิวตรอน 2 อนุภาค) จึงถูกปล่อยออกมา

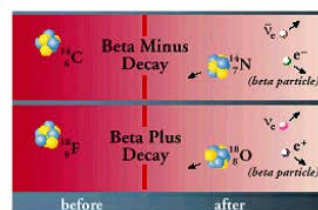


ซีบอร์เกียม-263 สลายให้อนุภาคแอลฟา และแปรธาตุเป็น รัทเทอร์ฟอร์เดียม-259

การสลายให้อนุภาคบีตา (beta decay) มีทั้งแบบที่สลายให้อนุภาคบีตาที่มีประจุเป็นลบกับที่มีประจุเป็นบวก แบบที่สลายให้อนุภาคบีตาที่มีประจุลบเกิดเมื่อนิวเคลียสของอะตอมมีสัดส่วนของอนุภาคนิวตรอนต่อโปรตอนสูงมาก ๆ ทำให้อะตอมนั้นขาดความเสถียร เมื่อนิวตรอนมากเกินไป นิวตรอนอนุภาคหนึ่งก็จะเปลี่ยนไปเป็นโปรตอนและอิเล็กตรอนอย่างละ 1 อนุภาค ซึ่งอิเล็กตรอนนี้เองที่ถูกปล่อยออกมาและเรียกว่ารังสีบีตา การสลายให้อนุภาคบีตาแบบที่มีประจุเป็นบวก ก็เป็นไปในทางกลับกัน กล่าวคือถ้าสัดส่วนของอนุภาคนิวตรอนต่อโปรตอนกลับต่ำมาก ๆ แสดงว่ามีโปรตอนมากเกินไปซึ่งก็ทำให้อะตอมนั้นจะไม่เสถียรเช่นกัน ในกรณีนี้โปรตอนอนุภาคหนึ่งก็จะเปลี่ยนไปเป็นนิวตรอนกับโพซิตรอนอย่างละ 1 อนุภาค โพซิตรอนมีมวลและ

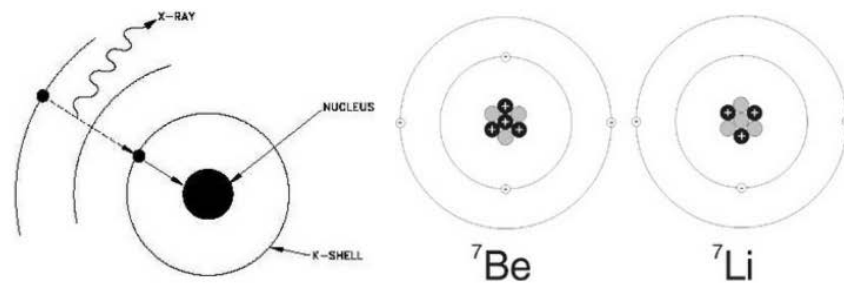
ขนาดของประจุเท่ากับอิเล็กตรอน แต่ชนิดของประจุตรงข้ามกัน คือมีประจุเป็นบวก และโพซิตรอนนี้เองที่ถูกปล่อยออกมาและเรียกว่ารังสีบีตาเช่นกัน

สำหรับการสลายให้รังสีแกมมา (gamma decay) นั้น รังสีแกมมาเป็นอนุภาคที่เรียกว่าโฟตอน เกิดจากขั้นตอนหนึ่งของการสลายกัมมันตรังสีเมื่อนิวเคลียสขนาดใหญ่เกิดปฏิกิริยาแบ่งแยกนิวเคลียส (fission) เป็นนิวเคลียสขนาดกลาง ๆ 2 นิวเคลียสซึ่งยังอยู่ในสถานะเร้า (excited state) และเป็นธรรมชาติที่พยายามจะลดระดับพลังงานลงให้ต่ำที่สุดที่เรียกว่าสถานะพื้น (ground state) ซึ่งมีความเสถียร การลดระดับพลังงานก็โดยการปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาเป็นรังสีแกมมานั่นเอง



การสลายให้อนุภาคบีตาแบบสลายให้อิเล็กตรอน (รูปแบบ) และแบบสลายให้โพซิตรอน (รูปล่าง)

การสลายกัมมันตรังสีน่าสนใจอีกแบบหนึ่งเรียกว่าการจับยึดอิเล็กตรอน (electron capture) ซึ่งเกิดเมื่อสัดส่วนของอนุภาคนิวตรอนต่อโปรตอนต่ำมาก ๆ คือนิวตรอนน้อยเกินไปเช่นเดียวกับการสลายให้โพซิตรอน แต่พลังงานไม่สูงพอที่จะปล่อยโพซิตรอนออกมา กรณีเช่นนี้นิวเคลียสจะใช้วิธีจับเอาอิเล็กตรอน 1 อนุภาคของอะตอมตัวมันเองที่โคจรรอบนิวเคลียสเข้ามาไว้ในนิวเคลียส และรวมเข้ากับโปรตอนกลายเป็นนิวตรอนกับนิวทริโนอย่างละ 1 อนุภาค พร้อมกับเกิดการแปรธาตุ เช่น เบริลเลียม-7 แปรธาตุเป็นลิเทียม-7 อนึ่งอิเล็กตรอนที่ถูกจับยึดนี้จะเป็นอิเล็กตรอนจากวงโคจรระดับชั้นในสุด คือระดับชั้นชั้นเค (K-shell) ดังนั้นการสลายแบบนี้จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า เค-แคปเจอร์ (K-capture) และเมื่ออิเล็กตรอนจากระดับชั้นนอก ๆ เข้ามาแทนที่อิเล็กตรอนที่ถูกนิวเคลียสจับยึดไป ระดับพลังงานใหม่ที่ระดับชั้นเคนี้จะต่ำกว่าเดิม จากนั้น พลังงานที่เกินก็จะถูกปล่อยออกไปในรูปของรังสีเอกซ์



การจับยึดอิเล็กตรอน ทำให้ โปรตอนลดลง 1 อนุภาคโดยเปลี่ยนไปเป็นนิวตรอน

อันที่จริงนิวไคลด์กัมมันตรังสีมีการสลายได้อีกมากมายหลายแบบดังสรุปไว้ในตารางด้านล่าง โดยหากแทนนิวเคลียสของนิวไคลด์กัมมันตรังสีด้วยสัญลักษณ์ (A, Z) (A คือ น้ำหนักเชิงอะตอม และ Z คือ เลขเชิงอะตอม) ดังนั้น ภายหลังการสลายจะเกิดนิวไคลด์ชนิดใหม่ที่มีนิวเคลียสเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างไรนั้น ได้แสดงไว้ในช่องขวามือสุดของตาราง



รูปแบบของการสลาย (Mode of decay)	อนุภาคที่มีส่วน ร่วม (Participating particles)	นิวเคลียส ของ นิวไคลด์ลูก (Daughter nucleus)
การสลายโดยการปล่อยนิวคลีออน (โปรตอนและ/หรือนิวตรอน) (Decays with emission of nucleons)		
การสลายให้อัลฟา (alpha decay)	แอลฟา 1 อนุภาค ($A=4$, $Z=2$) ปล่อยออก จากนิวเคลียส	($A-4$, $Z-2$)
การปล่อยโปรตอน (Proton emission)	โปรตอน 1 อนุภาคปล่อย ออกจาก นิวเคลียส	($A-1$, $Z-1$)
การปล่อยนิวตรอน (Neutron emission)	นิวตรอน 1 อนุภาคปล่อย ออกจาก นิวเคลียส	($A-1$, Z)
การปล่อยโปรตอน 2 อนุภาค (Double Proton emission)	โปรตอน 2 อนุภาคปล่อย ออกจาก นิวเคลียสพร้อม กัน	($A-2$, $Z-2$)
ฟิชชันเกิดเอง (Spontaneous fission)	นิวเคลียสแบ่ง แยกเป็น 2 นิวเคลียส หรือ มากกว่าที่เสถียร พร้อมกับปล่อย อนุภาคอื่น ๆ ออกมาด้วย	-
การสลายให้กลุ่มอนุภาค (Cluster decay)	นิวเคลียสปล่อย นิวเคลียสที่โตก ว่าอนุภาคแอลฟา ($A-1$, $Z-1$) + ออกมา ($A1, Z1$)	($A1$, $Z1$)
รูปแบบต่าง ๆ ของการสลายเบต้า (Different modes of beta decay)		
การสลายให้อนุภาคบีตาลบ (Beta-Negative decay)	นิวเคลียสปล่อย อิเล็กตรอน และ แอนตินิวทริโน ออกมา อย่างละ 1 อนุภาค	(A , $Z+1$)
การปล่อยโพสิตรอน หรือ การสลายให้อนุภาคบีตารวม (Positron emission, also Beta-Positive decay)	นิวเคลียสปล่อย โพสิตรอนและนิว ทริโนออกมา อย่างละ 1 อนุภาค	(A , $Z-1$)
การจับยึดอิเล็กตรอน (Electron capture)	นิวเคลียสจับยึด อิเล็กตรอนจาก	(A , $Z-1$)



	วงโคจร 1 อนุภาคแล้ว ปลดปล่อยนิวทริโน ออกมา 1 อนุภาค และแปรเป็น นิวเคลียสของ ธาตุใหม่ ใน สถานะเร้าซึ่งไม่ เสถียร	
การสลายให้อนุภาคบีตา 2 อนุภาค (Double beta decay)	นิวเคลียสปล่อย อิเล็กตรอน และ แอนตินิวทริโน ออกมา อย่างละ 2 อนุภาค	(A, Z+2)
การจับยึดอิเล็กตรอน 2 อนุภาค (Double electron capture)	นิวเคลียสจับยึด อิเล็กตรอนจาก วงโคจร 2 อนุภาค แล้ว ปลดปล่อยนิวทริโน ออกมา 2 อนุภาค และแปรเป็น นิวเคลียสของ ธาตุใหม่ ใน สถานะเร้าซึ่งไม่ เสถียร	(A, Z-2)
การจับยึดอิเล็กตรอน ร่วมกับการปล่อยโพซิตรอน (Electron capture with positron emission)	นิวเคลียสจับยึด อิเล็กตรอนจาก วงโคจร 1 อนุภาค และ ปลดปล่อยโพซิตรอน 1 อนุภาค กับนิวทริโน 2 อนุภาค ออกมา	(A, Z-2)
การปล่อยโพซิตรอน 2 อนุภาค (Double positron emission)	นิวเคลียสปล่อย โพซิตรอน และนิวทริโน ออกมา อย่างละ 2 อนุภาค	(A, Z-2)
การเปลี่ยนระหว่างสถานะของนิวเคลียสเดียวกัน (Transitions between states of the same nucleus)		
การสลายให้รังสีแกมมา (Gamma decay)	นิวเคลียสที่อยู่ใน สถานะเร้า ปลดปล่อยโฟตอน พลังงานสูง (รังสีแกมมา) ออกมา 1 อนุภาค	(A, Z)
การแปลงผันภายใน (Internal conversion)	นิวเคลียสที่อยู่ใน สถานะเร้า ถ่ายโอนพลังงานให้ กับ อิเล็กตรอน ในวงโคจร อนุภาคหนึ่ง และ สลัดอิเล็กตรอน นั้น ออกจาก อะตอม	(A, Z)

อนึ่ง ในการสลายกัมมันตรังสีนั้น ผลรวมของมวลของนิวไคลด์ชนิดใหม่ และอนุภาคทุกชนิดที่เกิดขึ้นใหม่ เมื่อเทียบกับนิวไคลด์ตั้งต้น จะพบมวลหายไปส่วนหนึ่งเสมอ ซึ่งได้เปลี่ยนไปเป็นพลังงานตามสมการ $E = mc^2$ โดยเป็นพลังงานจลน์ของอนุภาคชนิดต่าง ๆ ที่ปล่อยออกไปนั่นเอง