

บทที่ 6

อันตรกิริยาของรังสีพลังงานสูงกับวัสดุกัน

อันตรกิริยาเป็นข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับธรรมชาติของอนุภาคความเข้มแข็งของอันตรกิริยา ได้แก่ การมองเห็น ได้ยิน ดมกลิ่น และลิ้มรส รายละเอียดในบทนี้คือ กลไกของอันตรกิริยาระหว่างรังสีพลังงานสูง และวัสดุกัน ซึ่งรังสีในที่นี้หมายถึงทั้งคุณสมบัติเป็นอนุภาค (ได้แก่อนุภาคมีประจุและนิวตรอน) และคลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (เช่น รังสีเอ็กซ์และแกมมา)

ประโยชน์ของความรู้ในบทนี้คือ เป็นพื้นฐานเพื่อเข้าใจวิธีการตรวจวัด และผลส่งถึง (โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านชีวภาพ) ตลอดจนการป้องกันอันตรายจากรังสี เพื่อสะดวกในการเข้าใจการนำเสนอจะแยกออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- (1) อันตรกิริยาของอนุภาคมีประจุ (พลังงาน 10 keV - 10 MeV) เช่น e, e^+, p, α , และ 2D
- (2) อันตรกิริยาของโฟตอนพลังงานสูง เช่น รังสีเอ็กซ์และแกมมา
- (3) อันตรกิริยาของนิวตรอน

อันตรกิริยาของอนุภาคมีประจุ (10 keV ถึง 10 MeV)

ทฤษฎีกลไกของการเกิดอันตรกิริยา

เมื่ออนุภาคมีประจุไฟฟ้าเคลื่อนผ่านสารใด ๆ (โดยทั่วไปเรียกว่า “เป้า” (target) ของการชนกัน) ย่อมเกิดการชนกันหรืออันตรกิริยากับประจุลบของอิเล็กตรอน และประจุบวกของนิวคลีไอของอะตอมเป้า (หรือโมเลกุล) มันมีแนวโน้มที่จะดูดหรือผลักอิเล็กตรอนหรือนิวคลีไอมี่ประจุที่อยู่ใกล้เคียง หรืออยู่ในแนวรัศมีการเคลื่อนที่แบบวงโคจร (trajectory) ภายใต้อิทธิพลของแรงคูลอมบ์ (coulomb force) โดยทั่วไปลักษณะของแรงดูดหรือผลักระหว่างอนุภาคมีประจุจะเป็นแบบ inelastic ซึ่งอนุภาคมีประจุจะสูญเสียพลังงานบางส่วนในตัวมันให้กับอิเล็กตรอนของอะตอมเป้า หรือกล่าวได้ว่าอิเล็กตรอนของอะตอมเป้ามักมีการดูดกลืนพลังงาน ซึ่งผลต่อไปคือทำให้อะตอมดังกล่าวเกิดการแตกตัว (ionization) หรืออยู่ในสถานะกระตุ้น ถ้าพลังงานมีค่าอยู่ภายในช่วง 10 keV ถึง 10 MeV มักเกิดการแตกตัวมากกว่าจะก่อให้เกิดอยู่ในสถานะกระตุ้น จากเหตุผลดังอธิบายนี้จึงมักเรียกรังสีพลังงานสูงเป็น “ไอออนไนซิงเรดิเอชัน” (ionizing radiation) อย่างไรก็ตาม ปรากฏการณ์ที่กระตุ้นให้อะตอมมีสถานะกระตุ้นยังไม่อาจจะทิ้งเสียเลยทีเดียว โดยทั่วไป “โอกาส” ในการเกิดชนกันแบบ inelastic นั้นมีค่าสูงวัสดุกันที่หนาไม่มากนัก จะไม่สามารถหยุดอนุภาคมีประจุได้อย่างสมบูรณ์

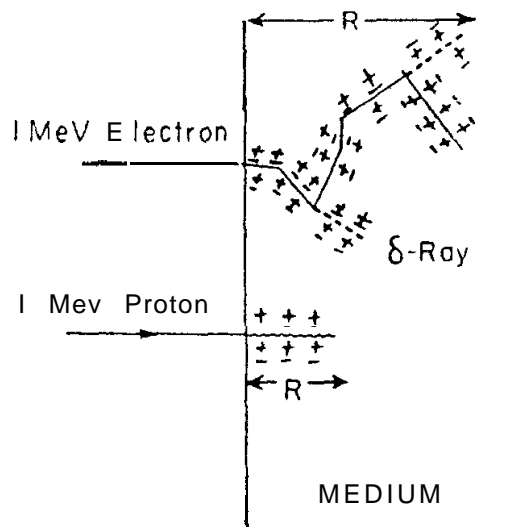
ข้อแตกต่างระหว่างอนุภาคมีประจุที่เบาและหนักกว่า

วัตถุประสงค์ของหัวข้อนี้คืออธิบายคำถามเกี่ยวกับลักษณะการชนกันของอนุภาคมีประจุว่าเป็นเช่นเดียวกันทั้งหมดหรือไม่ คำตอบอาจเป็น “ใช่” หรือ “ไม่ใช่” ก็ได้ เหตุผลมีดังนี้

(1) ถ้าเป็นคำตอบ “ใช่” เนื่องจากธรรมชาติการชนกันของทุกอนุภาคมีประจุไฟฟ้าในช่วงพลังงานนี้เป็นเช่นเดียวกันหมด (inelastic collisions)

(2) สำหรับคำตอบ “ไม่ใช่” เนื่องจากผลปรากฏของการชนกันดังกล่าวของอนุภาคเบาซึ่งมีมวลอยู่ในลำดับเดียวกับอิเล็กตรอน (เช่น e และ e^+) หรือหนักกว่าซึ่งมีมวลเท่ากับหรือมากกว่าของโปรตอน (เช่น โปรตอน และ อัลฟา) นั้นแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง

อนุภาคเบาจะชนกับอิเล็กตรอนของอะตอมเป้าหมาย inelastic ซึ่งนอกจากสูญเสียพลังงานแล้วยังมีแนวโน้มที่จะถูกเบี่ยงเบนด้วยมุมที่โตกว่าของกรณีอนุภาคหนักกว่า ผลตามมามีการแปรค่ามากในทางเดินของอนุภาคทั้งสองชนิด แสดงในรูป 6-1 ซึ่งเป็นแผนภาพของอิเล็กตรอนและโปรตอนในตัวอย่างทางเดินของอนุภาคหนักกว่าจะเป็นเส้นตรง แต่อนุภาคเบาจะเป็นแบบซิกแซก เมื่ออนุภาค (มีประจุ) เบาถูกเบี่ยงเบนด้วยมุมขนาดใหญ่จะทำให้การส่งผ่านพลังงานให้อิเล็กตรอนของอะตอมเป้าหมายมีค่ามากตามไปด้วย ผลคืออิเล็กตรอน



รูป 6-1 พิสัย R ของอนุภาคมีประจุ อนุภาคหนัก (เช่น โปรตอน) เดินทางและเสียพลังงานในแนวเส้นตรงหรือเกือบเป็นเส้นตรง อนุภาคเบา (เช่น อิเล็กตรอน) เสียพลังงานในการเดินทางแบบซิกแซก อนุภาคที่เบาสามารถถ่ายเทพลังงานปริมาณมากให้อิเล็กตรอนของตัวกลางโดยตรง ดังนั้นจึงก่อให้เกิดรังสี เครื่องหมายบวกและลบแทนการแตกตัวของอะตอมของตัวกลาง (รูปมิได้บอกสเกลที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ไกลกว่าโปรตอน)

ดังกล่าวซึ่งได้รับพลังงานปริมาณมากนี้ประพัตินเช่นเดียวกับอนุภาคมีประจุพลังงานสูง ดังนั้นจะสร้างทางเดินของมันเองในตัวกลาง (คือเป้านั่นเอง) เรียกทางเดินที่ถูกสร้างโดยอิเล็กตรอนพลังงานสูงทุกชนิดนี้ว่า รังสี

ตาราง 6-1 พิสัยโดยประมาณของอนุภาคมีประจุ

พลังงาน (keV)	พิสัย R (ซม.)			
	เนื้อเยื่ออ่อน		อากาศ	
	e หรือ e ⁺	α	e หรือ e ⁺	α
10	2×10^{-4}	$< 10^{-5}$	1.6×15^{-10}	1×10^{-2}
100	2×10^{-2}	1.4×10^{-4}	16	1×10^{-1}
1,000	4×10^{-1}	7.2×10^{-4}	3.3×10^2	5×10^{-1}
10,000	5	1.4×10^{-2}	4.1×10^3	10.5

