

บทที่ 1

ความรู้พื้นฐาน

จากแนวความคิดของนักฟิสิกส์ที่ว่า ธรรมชาติมีองค์ประกอบที่สำคัญคือสสารและแรงซึ่งมีผลในการควบคุมลักษณะการประพุดิของสสาร ในบทนี้เป็นการทบทวนและสรุปเกี่ยวกับโครงสร้างอะตอมของสสาร ซึ่งจำเป็นต่อการศึกษาระดับพื้นฐานของวิชาในบทต่อไป

สาร ธาตุ และ อะตอม

สสารทุกชนิดจะมีธาตุเป็นองค์ประกอบแน่นอนอนปริมาณหนึ่ง (ถูกจำแนกออกเป็น 105 ธาตุหรือมากกว่า) ซึ่งรวมตัวกันเป็นอะตอมและส่วนเล็กที่สุดของธาตุคือหนึ่งอะตอม มีบทบาทในการแสดงสมบัติทางเคมีของธาตุดังกล่าวทั้งปริมมาตร โดยทั่วไป อะตอมมีความเป็นกลางทางไฟฟ้า กล่าวคือ มันจะไม่แสดงประจุไฟฟ้าใด ๆ อย่างไรก็ตามอะตอมยังสามารถถูกย่อยส่วนลงได้อีก ซึ่งความจริงนี้ต่างจากแนวความคิดเดิมเกี่ยวกับอะตอม ส่วนประกอบดังกล่าวได้แก่นิวภาคพื้นฐาน 3 นิวภาค คือ อิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน

อิเล็กตรอนเป็นอนุภาคเล็ก ๆ มีประจุลบขนาด 1.6×10^{-19} คูลอมบ์ (หน่วยของประจุไฟฟ้า) และมีมวล 0.9109×10^{-27} กรัม โปรตอนเป็นอนุภาคมีประจุบวกซึ่งปริมาณเท่ากับอิเล็กตรอน นิวตรอนไม่มีประจุไฟฟ้าและหนักกว่าโปรตอนเล็กน้อย โปรตอนและนิวตรอนมีมวล 1.6726×10^{-24} และ 1.6747×10^{-24} กรัม ตามลำดับ ดังนั้นอนุภาคทั้งสองจึงหนักกว่าอิเล็กตรอนประมาณ 2,000 เท่า

โครงสร้างอย่างง่ายของอะตอม

ในสภาวะปกติอะตอมจะมีสถานะเป็นกลาง (ทางไฟฟ้า, ผู้แปล) เนื่องจากประกอบขึ้นจากอิเล็กตรอนและโปรตอนในปริมาณเท่ากัน จำนวนโปรตอนในอะตอมเป็นที่รู้จักกันทั่วไปว่าเป็นเลขเชิงอะตอม (atomic number) Z ซึ่งเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของธาตุดังกล่าวในตารางธาตุและกำหนดเอกลักษณ์ทางเคมี การจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอน โปรตอนและนิวตรอน ภายในอะตอมหนึ่ง ๆ มีโครงสร้างคล้ายกับระบบทางดาราศาสตร์ (ระบบสุริยะ, ผู้แปล) โปรตอนและนิวตรอน (เปรียบเสมือนดวงอาทิตย์) จะรวมกันอยู่ ณ ตำแหน่งศูนย์กลาง อิเล็กตรอน (เปรียบเสมือนดาวเคราะห์) โคจรอยู่ในแนวผิวของเชลล์ทรงกลม(หรือ orbit) ที่มีรัศมีต่างกัน บริเวณศูนย์กลางซึ่งโปรตอนและนิวตรอนรวมกันอยู่นั้นเรียกว่านิวเคลียส มีลักษณะทำนองรวมกันอยู่เป็นทรงกลม ขนาดอะตอมแต่ละธาตุจะแปรค่าในช่วง $1-2 \times 10^{-8}$ ซม. นิวเคลียสมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับอะตอม (เล็กกว่าประมาณ 10^5 เท่า หรือมีขนาดประมาณ 10^{-13} ซม.)

แรงดึงดูดคูลอมบ์ (แรงไฟฟ้า) ระหว่างประจุบวกของนิวเคลียส (เนื่องจากโปรตอน) และประจุลบ

ของอิเล็กตรอนนั้น ก่อให้เกิดเสถียรภาพในการเคลื่อนที่เป็นเชลล์ (shell) รูปทรงกลม เชลล์แรกจะมีรัศมีน้อยที่สุด ซึ่งเรียกว่าเชลล์ K เชลล์ที่สองคือ L เชลล์ที่สามคือ M ฯลฯ จำนวนอะตอมที่สามารถบรรจุอยู่ในเชลล์หนึ่ง ๆ นั้นมีจำนวนจำกัด คือ

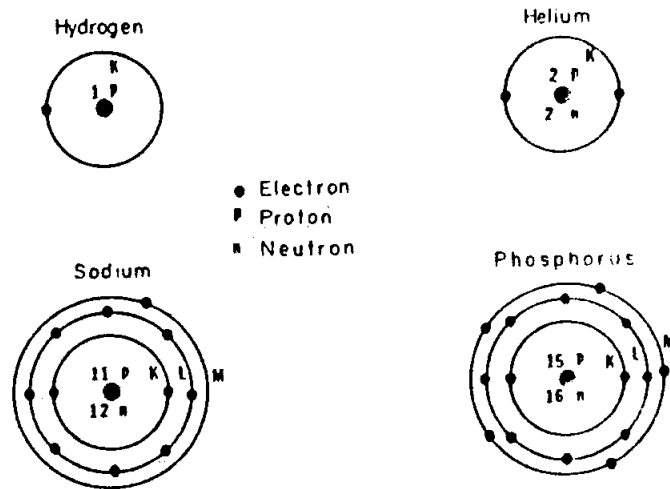
เชลล์ K บรรจุสูงสุดได้ 2 อิเล็กตรอน

เชลล์ L บรรจุสูงสุดได้ 8 อิเล็กตรอน

เชลล์ M บรรจุสูงสุดได้ 18 อิเล็กตรอน

และเชลล์ N บรรจุสูงสุดได้ 32 อิเล็กตรอน เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม เชลล์นอกสุดของอะตอมใด ๆ จะมีอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 8 อิเล็กตรอน ในอะตอมง่าย ๆ เช่น ไฮโดรเจนมีเพียง 1 อิเล็กตรอนในเชลล์ K และอะตอมที่ซับซ้อนมาก เช่น ไอโอดีน มีอิเล็กตรอน 53 ตัว การจัดเรียงตัวอยู่ในวงโคจร K,L,M,N และ O มีจำนวน 2,8,18,18 และ 7 ตามลำดับ การจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนในเชลล์ต่าง ๆ ของไฮโดรเจนและในอะตอมของธาตุอื่น ๆ อีก 3 ธาตุนั้นแสดงในรูปที่ 1-1 รายละเอียดโครงสร้างอะตอมที่แสดงนี้จัดเป็นโครงสร้างอย่างง่าย โดยแท้จริงแล้วจะยุ่งยากซับซ้อนมากกว่านี้



รูปที่ 1-1 โครงสร้างอะตอมอย่างง่ายของธาตุทั้ง 4 ในสถานะพื้น

เนื่องจากแต่ละวงโคจรยังแบ่งออกเป็นวงโคจรย่อยหรือเรียกทับศัพท์เป็น “ซับเชลล์” (subshell) ซึ่งจัดเป็นส่วนสำคัญ นอกเหนือจุดประสงค์ที่จะนำเสนอ

โมเลกุล

โมเลกุลเกิดจากการรวมตัวของอะตอม 2 อะตอม หรือมากกว่าขึ้นไป เช่น โมเลกุลของน้ำ (H_2O) เกิดจากการรวมตัวของ ไฮโดรเจน 2 อะตอมและออกซิเจน 1 อะตอม การรวมตัวของอะตอมนี้เกิดจาก

ปฏิกิริยาของอิเล็กตรอนในวงโคจรนอกสุด ซึ่งเป็นที่ทราบทั่วไปว่าคือวาเลนซ์อิเล็กตรอน วาเลนซ์อิเล็กตรอนมีบทบาทในการจัดสร้างโมเลกุลหลายวิธี ตัวอย่างเช่นการรวมตัวแบบไอออนิก แบบโควาเลนต์ และการรวมตัวแบบไฮโดรเจน ทางทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยาเคมีส่วนใหญ่หรือสมบัติทางเคมีของอะตอมหรือโมเลกุลนั้น อธิบายโดยอาศัยปฏิกิริยาพื้นฐานของวาเลนซ์อิเล็กตรอน

พลังงานยึดเหนี่ยว การแตกตัวและการเกิดสภาวะโลด

BINDING ENERGY, IONIZATION, EXCITATION

แต่ละอิเล็กตรอนที่บรรจุอยู่ในวงโคจร จะถูกยึดให้อยู่ในอำนาจของนิวเคลียสด้วยพลังงานปริมาณหนึ่งซึ่งมีค่าแน่นอน ดังนั้นถ้าต้องการทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจร โดยปล่อยให้มันเป็นอิเล็กตรอนอิสระและไม่กลับมารวมอยู่กับอะตอมดังกล่าวอีกเลย จะต้องป้อนพลังงานจากภายนอกอะตอมให้กับอิเล็กตรอนนั้น ปริมาณพลังงานต่ำสุดที่จำเป็นในการผลักอิเล็กตรอนให้เป็นอิสระจากอะตอมนั้น ต้องมีค่าเท่ากับพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในอะตอมนั้น พลังงานของอะตอมมีหน่วยเป็น “อิเล็กตรอนโวลท์” (electron volt = eV) ซึ่งหมายถึงพลังงานที่ต้องการใช้ ในการทำให้อิเล็กตรอนถูกเร่งผ่านแนวความต่างศักย์ไฟฟ้า 1 โวลท์ อิเล็กตรอนในเชลล์ K จะถูกยึดเหนี่ยวมากที่สุด ในอะตอม ดังนั้น จึงต้องการพลังงานมากสุดในการเคลื่อนย้ายออกจากอะตอม (การเคลื่อนอิเล็กตรอนออกจากอะตอมเรียกว่าการแตกตัว ในทางตรงข้าม อิเล็กตรอนในวงโคจรนอกสุดจะถูกยึดเหนี่ยวน้อยสุด ดังนั้น ในการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนดังกล่าวจึงต้องใช้พลังงานน้อยสุด พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในวงโคจรต่างกันจะเพิ่มค่าอย่างรวดเร็วตามค่าของเลขเชิงอะตอม (Z) ตาราง 1-1 แสดงค่าพลังงานยึดเหนี่ยวโดยเฉลี่ยของอิเล็กตรอนในวงโคจร K และ L ของอะตอมธาตุต่าง ๆ

ในสภาวะปกติ อิเล็กตรอนจะถูกบรรจุอยู่ในวงโคจรต่ำสุดก่อน (คือวงโคจรที่อยู่ใกล้นิวเคลียสมากที่สุด) และจำนวนอิเล็กตรอนจะไม่เกินจำนวนสูงสุดที่สามารถบรรจุได้ในวงโคจรหนึ่ง ๆ ตามเกณฑ์กำหนด อย่างไรก็ตาม อิเล็กตรอนอาจถูกทำให้เคลื่อนไปสู่วงโคจรสูงกว่า (ซึ่งเป็นเชลล์ว่างชั่วขณะเวลาหนึ่ง โดยการดูดกลืนพลังงาน การดูดกลืนดังกล่าวนี้สามารถเกิดได้หลายวิธี ตัวอย่างเช่น ทำให้สารเกิดความร้อน สร้างสนามไฟฟ้าผ่านสาร ให้อนุภาคมีประจุเคลื่อนผ่านสาร หรือก่อให้เกิดกลไกการชนอย่างแรงก็ได้ เมื่ออิเล็กตรอนดูดกลืนพลังงานไว้มากเพียงพอจนเคลื่อนออกจากอะตอมได้เรียกว่า “ขบวนการแตกตัว” ส่วนอะตอมที่เหลือ จะกลายสภาพเป็นไอออน ข้อนพิจารณาเมื่ออิเล็กตรอนดูดกลืนพลังงานซึ่งพอดีเพียงพอที่จะเคลื่อนไปยังวงโคจรสูงกว่าเรียกขบวนการนี้ว่า “การเกิดสภาวะโลด” และอะตอมในช่วงเวลาดังกล่าวเรียกว่า อะตอมที่อยู่ในสภาวะโลด หรือ “เอ็กไซไซเตดอะตอม” (excited atom) โดยทั่วไป อะตอมที่อยู่ในสภาวะโลดจะไม่เสถียร ต้องมีการจัดสภาวะใหม่เพื่อสู่สถานะเสถียรจะทำโดยการเปล่งกัมมันตภาพรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (แสง แสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) หรือ รังสีเอ็กซ์) โดยทั่วไปเกิดขึ้นภายในเวลา 10^{-9} วินาที

ตารางที่ 1-1 พลังงานยึดเหนี่ยวเฉลี่ยของอิเล็กตรอนในวง K และวง L

ธาตุ	เลขเชิงอะตอม Z	พลังงานยึดเหนี่ยวเฉลี่ย (keV)	
		K Shell	L Shell
H	1	0.014	
C	6	0.28	0.007
O	8	0.53	0.024
P	15	2.15	0.19
S	16	2.47	0.23
Fe	26	7.11	0.85
Zn	30	9.66	1.19
Br	35	13.47	1.78
As	47	25.51	3.81
I	53	33.17	5.19
In	69	59.40	10.12
W	74	69.52	12.10
Pb	82	88.00	15.86

ตัวอย่างเช่น อะตอมของโซเดียม มีค่าเลขเชิงอะตอม 11 แสดงว่าประกอบด้วย 11 อิเล็กตรอน และ 11 โปรตอน การจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนในวงโคจร K, L และ M มีจำนวน 2, 8 และ 1 ตามลำดับ พลังงานของอิเล็กตรอนดังกล่าวในวงโคจร K, L และ M มีค่าโดยประมาณเท่ากับ -1072 , -63 และ -1 eV ตามลำดับ ในการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนออกจากวงโคจร K ของอะตอมโซเดียมนั้น จำเป็นต้องใช้พลังงานมีค่าเท่ากับ 1072 eV (โดยประมาณ) แต่ถ้าเป็นกรณีวงโคจร M จะต้องใช้เพียง 1 eV เท่านั้น อิเล็กตรอนจากวง L สามารถเคลื่อนไปสู่วง M ได้โดยการดูดกลืนพลังงาน 62 eV ดังนั้น ย่อมก่อให้เกิดอะตอมของโซเดียมอยู่ในสภาวะโลด เมื่ออะตอมซึ่งมีสภาวะโลดดังกล่าวเกิดการสลายตัว (กล่าวคือ เมื่ออิเล็กตรอนกระโดดกลับสู่วงโคจร L) ผลคือเกิดการเปล่งกัมมันตภาพรังสีซึ่งมีสมบัติเป็นแม่เหล็กไฟฟ้า และมีพลังงาน 62 eV

สำหรับกรณีอิเล็กตรอน ณ ตำแหน่งที่พลังงานมีค่าเป็นศูนย์ ถือว่าเป็นระดับพลังงานที่อิเล็กตรอนมีสภาพเป็นอิสระพอดี และจะไม่ถูกยึดเหนี่ยวอยู่ภายในอะตอมใด ๆ ผลที่ตามมาคือ เมื่ออิเล็กตรอนถูกยึดเหนี่ยวอยู่ภายในอะตอม พลังงานของมันจะถูกแทนด้วยค่าลบ และเมื่ออิเล็กตรอนเป็นอิสระหรือกำลังเคลื่อนที่ กล่าวคือ มีพลังงานจลน์จะมีพลังงานเป็นค่าบวก แนวคิดดังกล่าวนี้ต่างจากกรณีนิวเคลียส ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในบทต่อไป

แรง หรือ สนาม

แรง เป็นคำทั่วไปที่แสดงความสัมพันธ์ของการเกิดปฏิกิริยาของวัตถุสถานะต่าง ๆ ในปัจจุบันแรงหรือสนามทั้ง 4 ที่รู้จักกันแพร่หลาย ได้แก่

1. แรงโน้มถ่วง (gravitational forces)
2. แรงชนิดอ่อน (weak forces)
3. แรงแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic forces)
4. แรงขนาดเข้มมาก (strong forces)

แรงโน้มถ่วงเกิดจากมวลของวัตถุ และมีบทบาทมากในการยึดเหนี่ยวระบบสุริยะ ถ้าเทียบกับแรงระหว่างอะตอมหรือโมเลกุลแล้ว แรงโน้มถ่วงมีค่าน้อยมากจนอาจละทิ้งได้ ส่วนแรงชนิดอ่อนมีบทบาทมากในการจัดเรียงตัวใหม่ของนิวเคลียสซึ่งจะอธิบายต่อไปในบทที่ 2 แรงแม่เหล็กไฟฟ้ามักมีบทบาทเด่นในชีวิตประจำวันของเรา มาก เนื่องจากมันเป็นตัวยึดอะตอมไว้ด้วยกันและตอบสนองปฏิกิริยาระหว่างอะตอมกับโมเลกุลหรือสองโมเลกุล ฯลฯ ส่วนแรงขนาดใหญ่นั้นทำหน้าที่ยึดนิวเคลียสไว้ด้วยกัน และเกิดปฏิกิริยาระหว่างโปรตอนกับโปรตอน โปรตอนกับนิวตรอน และนิวตรอนกับนิวตรอน

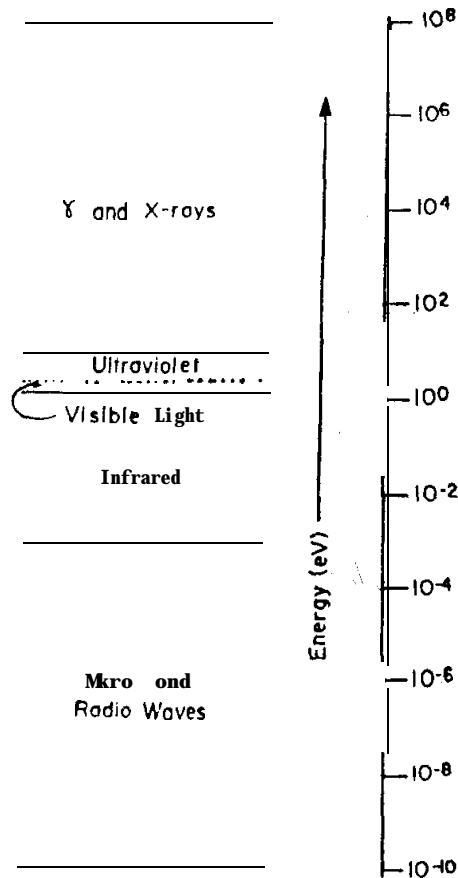
ความแรงสัมพัทธ์ของแรงดังกล่าวมีดังนี้

ชนิดของแรง	ความแรง
แรงขนาดมาก (strong)	1
แรงแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic)	10^{-2}
แรงชนิดอ่อน (weak)	10^{-13}
แรงโน้มถ่วง (gravitational)	10^{-39}

แรงแม่เหล็กไฟฟ้า:

แรงหรือสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเกิดจากอนุภาคมีประจุ ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคมีประจุ มักมีการปลดปล่อยพลังงานในรูปของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ซึ่งสามารถแพร่กระจาย

ได้ทั้งในรูปของคลื่นและของอนุภาค ถ้ารังสีแม่เหล็กไฟฟ้าประพฤติเป็นอนุภาค เรียกอนุภาคดังกล่าวว่า โฟตอน ซึ่งโฟตอนไม่มีมวลหยุดนิ่ง (rest mass) และไม่มีประจุ มันคือกลุ่มพลังงานซึ่งมีปฏิกริยา (ชน) กับวัตถุในลักษณะที่สามารถบ่งชี้ได้แน่นอน หรือสมนัยกับกฎของแรงแม่เหล็กไฟฟ้า ธรรมชาติการประพฤติได้ 2 ลักษณะของรังสีนี้เป็นไปได้ในวัตถุ (เช่นอิเล็กตรอน) เช่นกัน องค์ประกอบที่เป็นตัวกำหนดลักษณะสมบัติของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่ค่าพลังงานของมันเองหรือความยาวคลื่นเท่านั้น รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าของพลังงานค่าต่าง ๆ นั้น มีชื่อเรียกต่างกันไป ดังแสดงในรูป 1-2



รูปที่ 1-2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ชื่อของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงาน ต่างกันจะแตกต่างกันไป เช่น คลื่นเอ็กซ์หรือแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานมากกว่า 100 eV

พลังงานของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า สัมพันธ์กับความยาวคลื่นตามสมการดังนี้

$$E = hc/\lambda$$

โดย h เป็นค่าคงที่แพลงก์ (plank's constant)

c เป็นความเร็วของแสงหรือรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

λ เป็นความยาวคลื่น

จากสมการแทนค่า h และ c จะได้ค่า E เป็น

$$E(\text{keV}) = 12.4/\lambda$$

โดยที่พลังงานมีหน่วยเป็น keV และความยาวคลื่นเป็นอังสตรอม (angstrom)

$$A^{\circ} = 10^{-8} \text{ ซม.}$$

แคแตรเคอริสติกเอ็กซ์เรย์และออเกอร์อิเล็กตรอน :

จากรูป 1-2 เอ็กซ์เรย์เป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีพลังงานประมาณ 100 eV หรือสูงกว่าเรียกชื่อว่าเอ็กซ์เรย์ ข้อแตกต่างลำดับแรกของเอ็กซ์เรย์เมื่อเทียบกับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ารูปอื่นได้แก่ความสามารถที่จะก่อให้เกิดการแตกตัวในวัตถุและความสามารถในการทะลุทะลวงสาร แคแตรเคอริสติกเอ็กซ์เรย์เกิดจากการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนจากวงโคจรรอบนอกไปสู่วงโคจรรอบในของอะตอม (ที่เกิดย่อยได้แก่วง K หรือ L) ในสภาวะปกติวงโคจรรอบในของอะตอมจะถูกบรรจุอิเล็กตรอนอยู่เต็ม ถ้าจะให้มีการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนจากวงโคจรรอบนอกสู่รอบใน จำเป็นต้องสร้างช่องว่างหรือ hole ในวงโคจรรอบในก่อน ในทางปฏิบัติสามารถทำได้หลายวิธี ตัวอย่างที่รู้จักก็คือหลอดเอ็กซ์เรย์ ซึ่งอิเล็กตรอนพลังงานสูงมักชนกับอิเล็กตรอนในวงโคจรรอบใน ผลคือเกิดการไล่อิเล็กตรอนให้หลุดออกจากอะตอมเป้า ส่วนตัวอย่างอื่นในการสร้างช่องว่างในวงโคจรรอบใน จะกล่าวถึงในบทที่ 2

ถ้าเกิดช่องว่างในวงโคจรรอบในของอะตอม อิเล็กตรอนจากวงโคจรรอบนอกจะเคลื่อนมาแทนที่โพรงหรือช่องว่างดังกล่าว ผลต่างของพลังงานศักย์ของวงโคจรทั้งสองที่เกิดการจัดเปลี่ยนอิเล็กตรอน จะถูกเปล่งออกไปในรูปของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ถ้าพลังงานที่ถูกเปล่งออกไปนั้นมีค่าประมาณ 100 eV หรือมากกว่าเรียกชื่อว่าแคแตรเคอริสติกเอ็กซ์เรย์ของอะตอม ถ้าช่องว่างเกิดในวงโคจร K เรียกเอ็กซ์เรย์ที่ถูกเปล่งออกมาว่า K-เอ็กซ์เรย์ ถ้าช่องว่างเกิดในวงโคจร L เรียกชื่อว่า L-เอ็กซ์เรย์ และเนื่องจากพลังงานของแคแตรเคอริสติกเอ็กซ์เรย์ถูกเปล่งออกจากอะตอมเป็นค่าเอกลักษณ์ (unique) จึงสามารถจะบอกชื่ออะตอมโดยอาศัยพลังงานของแคแตรเคอริสติกเอ็กซ์เรย์ได้

ลองพิจารณาตัวอย่างของอะตอมโซเดียม ซึ่งอิเล็กตรอนในวง K, L และ M มีค่าพลังงานเป็น -1072, -63, และ -1 eV ตามลำดับ ถ้าเกิดช่องว่างในวง K ของอะตอมนี้ ช่องว่างดังกล่าวอาจถูกเติมจากอิเล็กตรอนในวง L หรือ M ก็ได้ สมมุติว่าถูกเติมโดยอิเล็กตรอนจากวง L ซึ่งภาวะแรกเริ่มนั้น อิเล็กตรอนในวง L มีพลังงาน -63 eV แต่ในวง K มีพลังงาน -1072 eV ค่าสมมูล ของพลังงานทั้งสองคือ

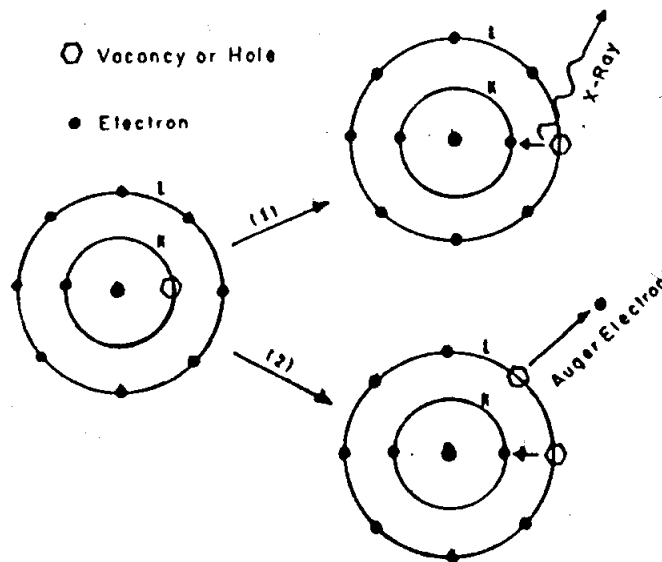
$$\begin{aligned}e_L - e_K &= -63 - (-1072) \\ &= 1009 \text{ eV}\end{aligned}$$

จะถูกเปล่งออกไปเป็นแคแตรเคอริสติก K-เอ็กซ์เรย์และค่าพลังงานดังกล่าวเป็นค่าเฉพาะของอะตอมโซเดียมเท่านั้น

ขบวนการตรงข้ามหรือกลับกันกับการเปล่งแคแแรกเรอริสติกเอ็กซ์เรย์ คือ การเปล่งออเกอร์อิเล็กตรอน (Auger Electron) ซึ่งการตั้งชื่อนี้เพื่อให้เป็นเกียรติแก่ P. Auger ในขบวนการนี้ ช่องว่าง K จะถูกเติมโดยอิเล็กตรอนจากวง L หรือ M อย่างไรก็ตาม สมดุลพลังงานซึ่งอาจมีการเปล่งในรูปรังสีเอ็กซ์จะถูกจับโดยอิเล็กตรอนตัวอื่นในวง L หรือ M ดังนั้น ในการปล่อยออเกอร์อิเล็กตรอน จะมีอิเล็กตรอน 2 ตัวเคลื่อนออกจากวง L และหรือวง M โดยที่อิเล็กตรอนตัวหนึ่งจะไปแทนที่ช่องว่างในวง K ส่วนอิเล็กตรอนหนึ่งจะถูกเปล่งออกจากอะตอมด้วยค่าพลังงานสมดุลย์ดังที่เคยกล่าวแล้วข้างต้น เมื่อเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวขึ้น อะตอมจึงอยู่ในสภาพแตกตัว 2 ครั้ง ขบวนการทำนองเดียวกันนี้ อาจเกิดขึ้นในช่องว่างของวงโคจร L หรือ M ก็ได้เช่นกัน ขบวนการออเกอร์ จะเกิดได้มากกว่าในบรรดาธาตุที่มีเลขเชิงอะตอมต่ำ (คือค่า $Z < 24$ เช่น C,N,O,Al,Ca) ตรงข้ามกับการเปล่งแคแแรกเรอริสติกเอ็กซ์เรย์ ซึ่งจะเกิดมากในหมู่ธาตุที่มีเลขเชิงอะตอมสูง ($Z > 45$ เช่น I,Cs,W,Pb) รูปที่ 1-3 แสดงขบวนการเปล่งแคแแรกเรอริสติกเอ็กซ์เรย์และออเกอร์อิเล็กตรอน

ความสัมพันธ์ของมวลและพลังงาน

ในปี ค.ศ. 1905 ไอน์สไตน์ (Einstein) ได้ทำการหาอนุพันธ์เพื่ออธิบายทฤษฎีพื้นฐานของการเปล่งค่ามวลและพลังงาน และจากผลของความก้าวหน้าทางการทดลองฟิสิกส์ด้านอะตอมและนิวเคลียร์ สรุปได้ว่าข้อเสนอของเขาถูกต้อง



รูปที่ 1-3 การเปล่งเอ็กซ์เรย์และออเกอร์อิเล็กตรอน เมื่อเกิดช่องว่างอิเล็กตรอน (หรือ “โฮล”) ในวงโคจร K ของอะตอมนั้น อาจเกิดได้ 2 ปรากฏการณ์คือ (1) มีการเติมช่องว่างดังกล่าวด้วยอิเล็กตรอนจากวงโคจร L (หรือจากวงโคจรอื่น ๆ ที่สูงกว่า) และเปล่งแคแแรกเรอริสติกเอ็กซ์เรย์เพื่อปรับค่าพลังงานของอิเล็กตรอนให้สมดุล อยู่ในวงโคจร K หรือ (2) มีอิเล็กตรอนจากวงโคจร L หนึ่งตัวมาเติมช่องว่างดังกล่าวในวงโคจร K แต่ปริมาณพลังงานส่วนเกินมิได้ถูกเปล่งออกมา แต่กลับถ่ายทอดให้กับอิเล็กตรอนตัวอื่นในวงโคจร L (หรือวงโคจรอื่นที่อยู่สูงกว่า) ซึ่งก่อให้เกิดการเปล่งออเกอร์อิเล็กตรอน

สูตรหาความสัมพันธ์ของมวลและพลังงานคือ

$$E = mc^2$$

โดย E แทนพลังงาน

m แทนมวล

c เป็นความเร็วแสง

มวลในระดับอะตอมหรือนิวเคลียสนั้นใช้หน่วยเป็น “หน่วยมวลอะตอม” (atomic mass unit) คำย่อคือ amu โดยนิยามให้เป็น $1/12$ ของมวลอะตอมคาร์บอน จากสมการของไอน์สไตน์เกี่ยวกับการแปลงค่ามวลและพลังงาน 1 amu มีค่าเท่ากับพลังงาน 931 MeV ตาราง 1-2 แสดงค่ามวลในหน่วย amu และพลังงานที่สมมูลกันในหน่วย MeV ของอิเล็กตรอน โปรตอนและนิวตรอน

ตาราง 1-2 ค่ามวลและพลังงานสมมูลของอิเล็กตรอน โปรตอนและนิวตรอน

อนุภาค	มวล (amu)	พลังงาน (MeV)
e^-	0.000549	0.511
p	1.00728	938.28
n	1.00867	939.57