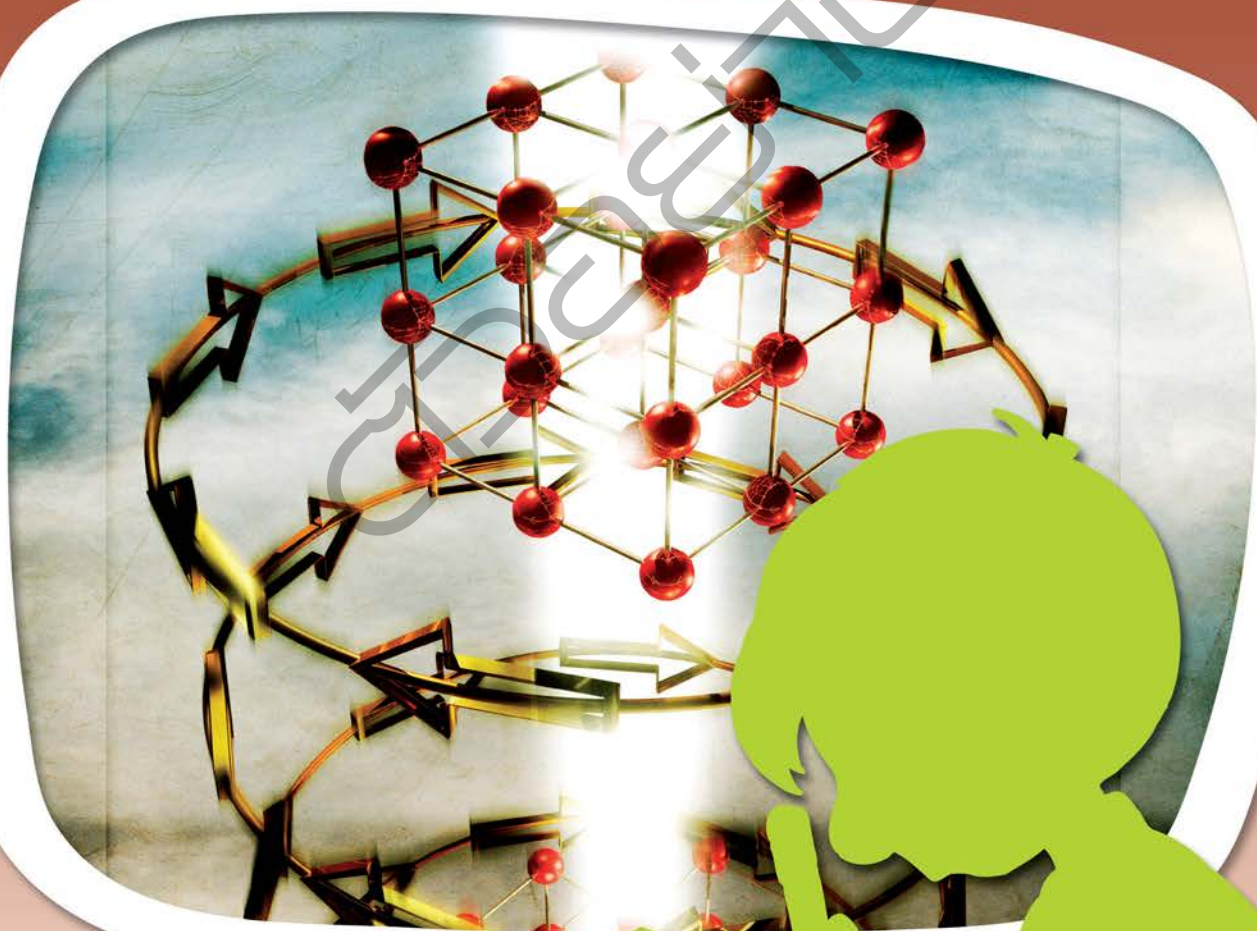
คู่มือแม็ค

ขยันก่อนสอบ

เคมีพื้นฐานและเพิ่มเติม ม.4

ใหม่

ตรงตามหลักสูตรแกนกลาง พ.ศ. 2551



รศ.ดร.นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์
เสกสรรค์ ศิริวัฒนวิบูลย์

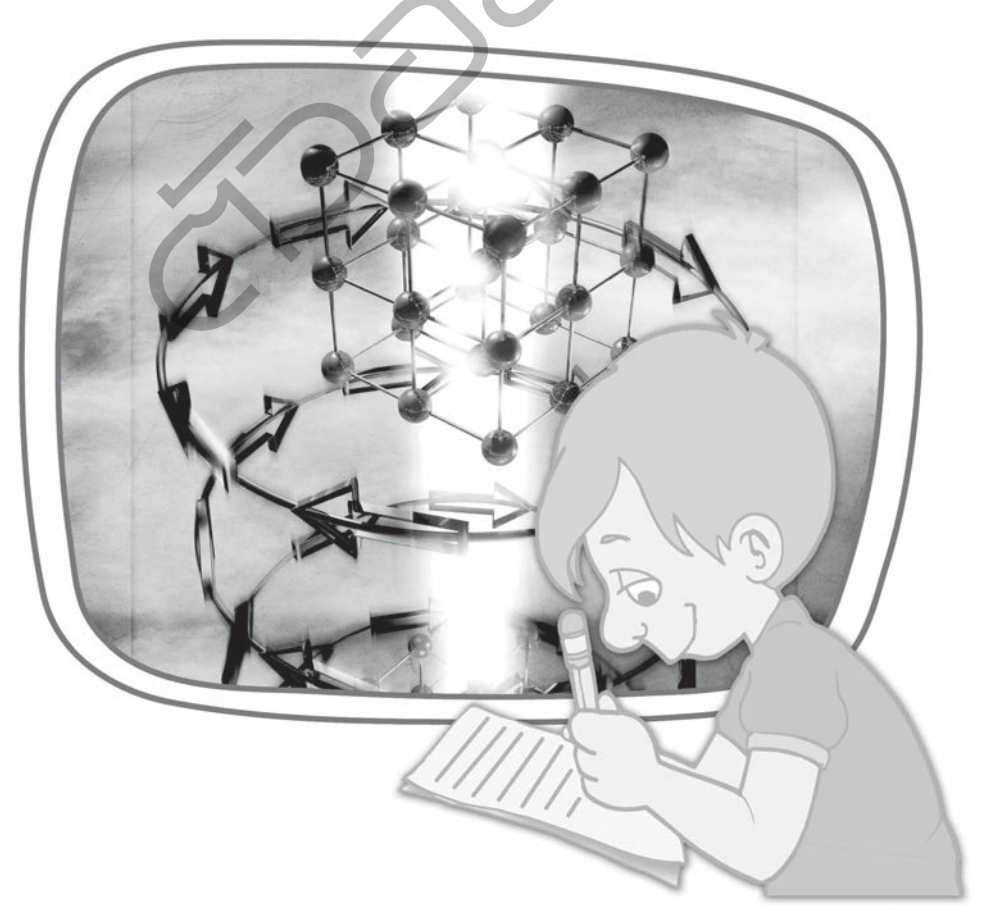
ตัวอย่าง

cdaiu

ขยันก่อนสอบ
เคมีพื้นฐานและเพิ่มเติม ม.4

สอดคล้องกับหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2544 และ
หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 ของกระทรวงศึกษาธิการ

- ครอบคลุมเนื้อหาสาระการเรียนรู้เคมีพื้นฐานและเพิ่มเติม ม.4 เข้าใจง่าย ตรงประเด็น
- จุใจกับแบบทดสอบพร้อมเฉลย ผู้ใช้สามารถประเมินผลได้ด้วยตนเอง
- เหมาะสำหรับเตรียมความพร้อมในการสอบเก็บคะแนน สอบกลางภาค สอบปลายภาค และเพิ่มความมั่นใจก่อนลงสนามสอบ ***O-NET***



ตัวอย่าง

ขยันก่อนสอบ
เคมีพื้นฐานและเพิ่มเติม ม.4

นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์.
ขยันก่อนสอบ เคมีพื้นฐานและเพิ่มเติม ม.4 -- กรุงเทพฯ : แม็ค, 2551.
272 หน้า.
1. เคมี--การศึกษาและการสอน (มัธยมศึกษา).
2. เคมี--คำถามและคำตอบ.
I. เสกสรรค์ ศิริวัฒนวิบูลย์, ผู้แต่งร่วม. II ชื่อเรื่อง.
540
ISBN 978-974-412-378-7

ตัวอย่าง

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดย

MODERN ACADEMIC CENTER

บริษัท สำนักพิมพ์แม็ค จำกัด
MAC PRESS CO., LTD.

ผู้เขียน : รศ.ดร.นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และ เสกสรรค์ ศิริวัฒนวิบูลย์

การสั่งซื้อ : ส่งธนาณัติสั่งจ่าย **ไปรษณีย์ลาดพร้าว** ในนาม **บริษัท สำนักพิมพ์แม็ค จำกัด**
เลขที่ 9/99 อาคารแม็ค ซอยลาดพร้าว 38 ถนนลาดพร้าว แขวงจันทรเกษม
เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
: 0-2938-2022-7 FAX : 0-2938-2028
E-mail : macpress@MACeducation.com
www.MACeducation.com

ราคาจำหน่าย : 90 บาท

สงวนลิขสิทธิ์ : สิงหาคม 2551

พิมพ์ที่ : หจก.สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ 034-298-288-89

(สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย ห้ามลอกเลียน ไม่ว่าจะเป็นส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้ นอกจากจะได้รับอนุญาต)

ขยันก่อนสอบ เคมีพื้นฐานและเพิ่มเติม ม.4 เล่มนี้ บริษัทได้จัดทำขึ้นตามกรอบหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2544 และยังได้เทียบเคียงกับหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ของกระทรวงศึกษาธิการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นหนังสือเล่มนี้จึงเหมาะกับนักเรียนที่กำลังศึกษาอยู่ทั้งสองหลักสูตร นอกจากนี้ยังเหมาะกับครูและผู้ปกครองที่ต้องการเสริมความรู้เพิ่มเติมนอกเหนือจากบทเรียนให้แก่ศิษย์และบุตรหลานอีกด้วย

การจัดทำหนังสือชุดขยันก่อนสอบชุดนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้นักเรียนได้ศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง โดยทบทวนเนื้อหาและฝึกทำโจทย์ทดสอบที่หลากหลายอย่างสม่ำเสมอสำหรับเตรียมความพร้อมและสร้างความมั่นใจก่อนสอบเก็บคะแนน สอบกลางภาค สอบปลายภาค และเป็นพื้นฐานการเรียนรู้ในระดับที่สูงขึ้นไป

บริษัท สำนักพิมพ์แม็ค จำกัด หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือชุดนี้จะอำนวยประโยชน์ให้แก่นักเรียน ครู และผู้ปกครอง เพื่อประโยชน์สูงสุดต่อตนเอง ศิษย์ และลูกหลาน พร้อมกันนี้ บริษัทขอเป็นแรงใจให้นักเรียนประสบความสำเร็จในการสอบทุกคน

บริษัท สำนักพิมพ์แม็ค จำกัด

ตัวอย่าง

บทที่ 1 อะตอมและตารางธาตุ **1**

- โครงสร้างอะตอม 1
- เลขอะตอม เลขมวล ไอโซโทป ไอโซโทน ไอโซบาร์ 6
- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 8
- สเปกตรัมของธาตุ 11
- ตารางธาตุ 28

บทที่ 2 พันธะเคมี **55**

- สารประกอบ 56
- สารประกอบไอออนิก 57
- พันธะโคเวเลนต์ 72
- พันธะโลหะ 91

บทที่ 3 สมบัติของธาตุและสารประกอบ **93**

- สมบัติของสารประกอบของธาตุตามคาบ 93
- สมบัติของสารประกอบของธาตุตามหมู่ 104
- โลหะแทรนซิชัน (ธาตุกลุ่มหมู่ B) 119
- ธาตุกัมมันตรังสี 134

บทที่ 4 ปริมาณสัมพันธ์ **148**

- มวลอะตอมของธาตุ 148
- มวลโมเลกุล 150
- มวลโมเลกุลของเกลือผลึก 150
- มวลไอออน 153
- โมล 154
- ปริมาตรของแก๊สทุกชนิดที่ STP 156
- ความเข้มข้นของสารละลาย 159

- จุดเดือดและจุดหลอมเหลว(จุดเยือกแข็ง)ของสารละลาย 164
- ปริมาตรของแก๊สในปฏิกิริยาเคมี 168
- การคำนวณหามวลและร้อยละโดยมวลของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในสารประกอบ 171
- การคำนวณหาสูตรเอมพิริคัลและสูตรโมเลกุล 174
- มวลของสารในปฏิกิริยาเคมี 176
- การคำนวณของปริมาณสารจากสมการเคมี 178

บทที่ 5 ของแข็ง ของเหลว แก๊ส **182**
- สถานะของสาร 182
- การเปลี่ยนสถานะของสาร 182
- สมบัติของแข็ง 183
- สมบัติของของเหลว 186
- แก๊ส 191
- เทคโนโลยีที่เกี่ยวกับสมบัติของแข็ง ของเหลว และแก๊ส 205

แบบทดสอบชุดที่ 1 **209**

แบบทดสอบชุดที่ 2 **225**

เฉลย **237**

cdaiu

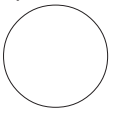
อะตอมและตารางธาตุ

โครงสร้างอะตอม

วิวัฒนาการของแบบจำลองอะตอม

วิวัฒนาการของแบบจำลองอะตอมตั้งแต่เริ่มแรกจนถึงปัจจุบันเป็นดังนี้

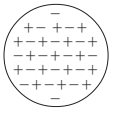
สรุปทฤษฎีอะตอมของดอลตัน



อะตอมมีลักษณะเป็นทรงกลม และเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กที่สุดซึ่งแบ่งแยกไม่ได้ และไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่หรือทำให้สูญหายไปได้

John Dalton
(ค.ศ. 1766–1844)

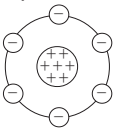
สรุปแบบจำลองอะตอมของทอมสัน



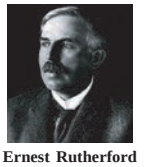
อะตอมประกอบด้วยอนุภาคโปรตอนและอิเล็กตรอนกระจายอยู่ทั่วไปอย่างสม่ำเสมอ อะตอมในสภาพที่เป็นกลางทางไฟฟ้าจะมีจำนวนประจุบวกเท่ากับจำนวนประจุลบ

J.J. Thomson
(ค.ศ. 1856–1940)

สรุปแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

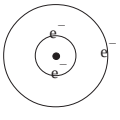


อะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสที่มีโปรตอนรวมอยู่ตรงกลาง มีขนาดเล็กและมีมวลมาก และมีอิเล็กตรอนซึ่งมีมวลน้อยวิ่งวนอยู่รอบๆ นิวเคลียส

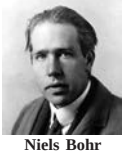


Ernest Rutherford
(ค.ศ. 1871–1937)

สรุปแบบจำลองอะตอมของนีลส์ โบร์

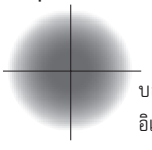


นีลส์ โบร์ พบชั้น (shell) หรือระดับพลังงาน (energy level) อะตอมเป็นทรงกลม ประกอบด้วยนิวเคลียสซึ่งมีโปรตอนและนิวตรอนอยู่ตรงกลางและมีอิเล็กตรอนวิ่งรอบๆ เป็นชั้นๆ หรือระดับพลังงาน

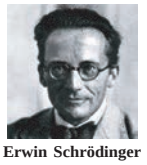


Niels Bohr
(ค.ศ. 1855–1962)

สรุปแบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอกของชเรอดิงเงอร์



อะตอมจะประกอบด้วยกลุ่มหมอกของอิเล็กตรอนรอบๆ นิวเคลียสซึ่งเราไม่สามารถบอกตำแหน่งที่แน่นอนของอิเล็กตรอนได้ บอกได้แค่เพียงบริเวณนั้นมีโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนมากหรือน้อยเท่านั้น



Erwin Schrödinger
(ค.ศ. 1887–1961)

ตัวอย่าง

ในปัจจุบันได้ใช้แบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอกมาอธิบายถึงโครงสร้างของอะตอมดังนี้

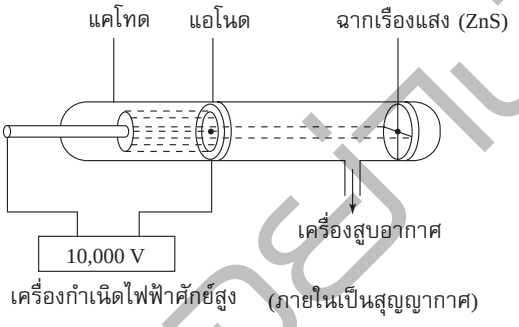
1. อิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสด้วยความเร็วสูง วงโคจรไม่จำเป็นต้องเป็นวงกลมเสมอไปอาจเป็นรูปอื่นก็ได้ แล้วแต่มีอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงานใด

2. ไม่สามารถบอกตำแหน่งที่แน่นอนของอิเล็กตรอนได้ บอกได้แต่เพียงโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนในตำแหน่งต่างๆ ภายในอะตอมเท่านั้น ดังนั้นอะตอมจึงประกอบด้วยกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียส ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกลม

3. บริเวณที่กลุ่มหมอกหนาทึบ แสดงว่ามีโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนในบริเวณนั้นมาก และบริเวณที่กลุ่มหมอกจาง แสดงว่ามีโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนในบริเวณนั้นน้อย

การทดลองของทอมสัน

ศึกษาและทดลองเกี่ยวกับการนำไฟฟ้าของแก๊สในหลอดรังสีแคโทด แสดงได้ดังนี้



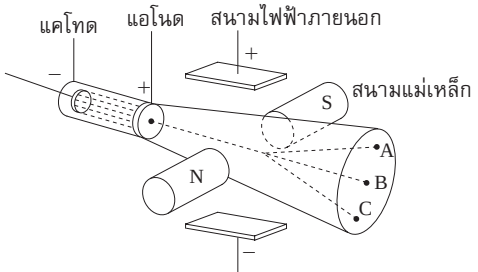
รูปแสดงการทดลองของทอมสัน

เมื่อยังไม่ได้ผ่านสนามไฟฟ้าหรือผ่านสนามแม่เหล็กภายนอกไปล่อลำแสง พบว่าจะเห็นลำแสงเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงจากขั้วแคโทดผ่านรูขั้วแอโนดไปตกกระทบยังกึ่งกลางฉากเรืองแสง

เมื่อผ่านสนามไฟฟ้าภายนอกไปล่อลำแสง ลำแสงจะเบนเข้าหาขั้วบวกของสนามไฟฟ้าภายนอก (A)

เมื่อผ่านสนามแม่เหล็กภายนอกไปล่อลำแสง ลำแสงจะเบนเข้าหาสนามแม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามกับที่เบนในสนามไฟฟ้าภายนอก (C)

ถ้าให้สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าตั้งฉากกัน (สนามทั้งสองหักล้างกัน) ไปล่อลำแสง ลำแสงจะวิ่งเป็นแนวเส้นตรงไปกระทบยังกึ่งกลางฉากเรืองแสง (B)



รูปแสดงการเบี่ยงเบนของอนุภาคในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

- ผลการทดลองของทอมสัน ได้ผลสรุปว่า

ลำแสงที่เคลื่อนที่ออกจากขั้วแคโทด จะมีประจุลบเคลื่อนที่ออกมาเป็นลักษณะรังสี เรียกรังสีที่ประกอบด้วยอนุภาคลบนี้ว่า **รังสีแคโทด** และเรียกอนุภาคลบนี้ว่า **อิเล็กตรอน**

อะตอมทุกชนิดมีอนุภาคที่มีประจุลบเป็นองค์ประกอบและเรียกอนุภาคนี้ว่า **อิเล็กตรอน**

รังสีแคโทดหรือลำอิเล็กตรอนเกิดจากโลหะที่ใช้ทำแคโทดและแก๊สที่บรรจุอยู่ในหลอดรังสีแคโทด

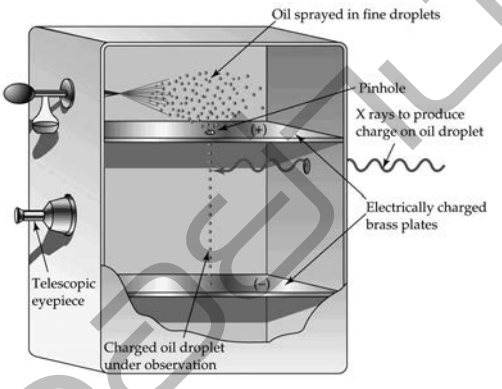
รังสีแคโทดหรือลำอิเล็กตรอนเบี่ยงเบนได้ทั้งในสนามแม่เหล็กและในสนามไฟฟ้า และคำนวณหาค่าประจุต่อมวลของอิเล็กตรอน

ค่าอัตราส่วนประจุต่อมวลของอนุภาคลบหรืออิเล็กตรอน (e^-) มีค่าเท่ากับ 1.76×10^8 คูลอมบ์ต่อกรัม ซึ่งมีค่าคงที่เสมอไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊สและโลหะที่ใช้ทำแคโทด

อะตอมทุกชนิดประกอบด้วยอิเล็กตรอน

การทดลองของมิลลิแกน

การทดลองของมิลลิแกน เป็นการทดลองเพื่อหาประจุที่มีอยู่ในอิเล็กตรอนแต่ละตัว



รูปแสดงการทดลองหยดน้ำมันของมิลลิแกน

การทดลองหยดน้ำมันของมิลลิแกน อิเล็กตรอนซึ่งหลุดออกจากโมเลกุลของอากาศโดยการกระทำของรังสีเอ็กซ์ จะถูกจับติดไปกับหยดน้ำมันที่ตกลงมา โดยวัดอัตราการตกของหยดน้ำมันทั้งในขณะที่มีสนามไฟฟ้าและไม่มีสนามไฟฟ้า มิลลิแกนสามารถคำนวณหาประจุของอิเล็กตรอนได้

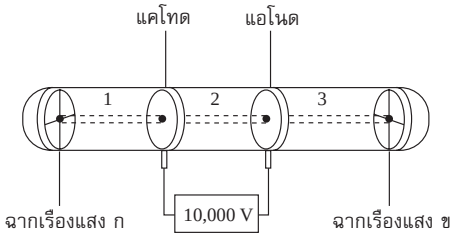
ค่าประจุอิเล็กตรอน = 1.60×10^{-19} คูลอมบ์

แต่ค่าประจุต่อมวลของอิเล็กตรอน = 1.76×10^8 คูลอมบ์ต่อกรัม ทั้งทอมสันและมิลลิแกนจึงสามารถคำนวณหามวลอิเล็กตรอนได้

$$\text{มวลอิเล็กตรอน} = \frac{1.60\times10^{-19}}{1.76\times10^{8}} = 9.11\times10^{-28} \text{ กรัม}$$

การทดลองของโกลด์ชไตน์

พบอนุภาคที่มีประจุบวก และเรียกอนุภาคบวกที่เกิดจากแก๊สไฮโดรเจนว่า **โปรตอน**



รูปแสดงการทดลองของโกลด์ชไตน์

จากการทดลองของโกลด์ชไตน์ ได้ผลสรุปว่าตำแหน่งที่ 1 เป็นรังสีบวก และกระทบตรงกลางฉากเรืองแสง ก ถ้ามีสนามไฟฟ้าภายนอกมาไว้ที่ตำแหน่ง 1 รังสีจะเบนเข้าหาขั้วลบของสนามไฟฟ้าภายนอก

ตำแหน่งที่ 3 เป็นรังสีลบ (ลำอิเล็กตรอน) จะกระทบตรงกลางฉากเรืองแสง ข ถ้ามีสนามไฟฟ้าภายนอกมาไว้ที่ตำแหน่ง 3 รังสีจะเบนเข้าหาขั้วบวกของสนามไฟฟ้าภายนอก

ตำแหน่งที่ 2 มีทั้งรังสีบวกและลำอิเล็กตรอน ถ้ามีสนามไฟฟ้าภายนอกมาไว้ที่ตำแหน่ง 2 จะมีทั้งรังสีที่เบนขึ้นและเบนลงเข้าหาสนามไฟฟ้าภายนอก

รังสีบวกหรืออนุภาคบวกเกิดจากแก๊สที่บรรจุภายในหลอดรังสีแคโทด ซึ่งสามารถเบี่ยงเบนได้ทั้งในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

รังสีบวกมีค่าอัตราส่วนประจุต่อมวลไม่คงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊สที่บรรจุอยู่ภายในหลอดรังสีแคโทด เนื่องจากมวลของแก๊สแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน เมื่อใช้แก๊สไฮโดรเจนจะได้อนุภาคบวกที่มีประจุเท่ากับประจุของอิเล็กตรอนเรียกอนุภาคบวกที่เกิดจากแก๊สไฮโดรเจนว่า **โปรตอน**

● **การเกิดอนุภาคบวกและลบภายในหลอดรังสีแคโทด** เมื่ออะตอมของโลหะที่เป็นแคโทดได้รับพลังงานไฟฟ้าที่มีศักย์สูง ทำให้อิเล็กตรอนของโลหะมีพลังงานเพิ่มขึ้น แล้วหลุดออกจากโลหะ ซึ่งอิเล็กตรอนนั้นมีความเร็วและพลังงานสูง จะวิ่งเป็นแนวเส้นตรงจากแคโทดไปยังแอโนด พร้อมทั้งชนอะตอมหรือโมเลกุลของแก๊สที่อยู่ภายในหลอดรังสีแคโทด ทำให้แก๊สที่อยู่ภายในหลอดรังสีแคโทดเกิดการแตกตัวเป็นไอออนบวกและให้อิเล็กตรอนออกมา โดยที่ M เป็นโลหะที่ใช้ทำแคโทด

$$M \xrightarrow{\text{ไฟฟ้า}} e^- \text{ (จากโลหะ M)} \rightarrow \text{แก๊ส} \rightarrow \text{แก๊ส}^{\oplus} + e^-$$

จะเคลื่อนที่จากแอโนดไปยังแคโทด

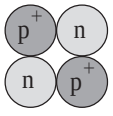
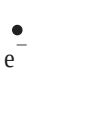
จะเคลื่อนที่จากแคโทดไปยังแอโนด

ข้อสังเกต

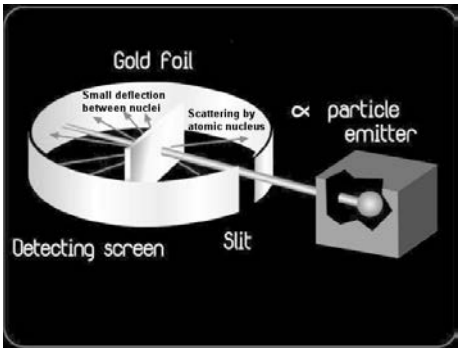
e^- ที่เกิดขึ้นนี้มาจาก 2 ส่วน คือ จากโลหะที่ทำแคโทด และจากแก๊สที่บรรจุในหลอดรังสีแคโทด

การทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด

รัทเทอร์ฟอร์ดเรียกรังสีสองชนิดที่แผ่ออกมาจากธาตุยูเรเนียมว่า **รังสีหรืออนุภาคแอลฟา และบีตา** ในปี ค.ศ. 1898 และในปี ค.ศ. 1900 Paul Villard ได้พบรังสีอีกหนึ่งชนิดที่แผ่จากธาตุยูเรเนียม และเรียกรังสีนั้นว่า **รังสีแกมมา** (เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า electromagnetic radiation, E.M.)

Alpha (α)	Beta (β)	Gamma (γ)
		
He^{2+}	electrons	E–M radiation

รัทเทอร์ฟอร์ด ทำการทดลองยิงอนุภาคแอลฟาไปยังแผ่นทองคำบางๆ มีความหนาเพียง 0.0004 mm เรียกการทดลองนี้ว่า **การกระเจิงรังสีแอลฟา (Alpha Scattering Experiment)**



รูปแสดงการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด

การทดลองยิงอนุภาคแอลฟา (α, ^4_2He) ไปยังแผ่นทองคำบางๆ ของรัทเทอร์ฟอร์ดและไกเกอร์ พบว่า

\# อนุภาคแอลฟาส่วนใหญ่วิ่งเป็นแนวเส้นตรงทะลุแผ่นทองคำบางๆ ⇒ (ภายในอะตอมมีที่ว่าง)

\# อนุภาคแอลฟาบางส่วนวิ่งเบี่ยงเบนไปจากแนวเส้นตรง ⇒ (อนุภาคแอลฟาถูกผลักจากโปรตอน)

\# อนุภาคแอลฟาส่วนน้อยสะท้อนกลับ ⇒ (อนุภาคแอลฟาไปชนถูกนิวเคลียส)

ข้อควรทราบ

เซอร์เจมส์ แชดวิก นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ได้ทำการทดลองยิงอนุภาคแอลฟา (α, ^4_2He) ไปยังอะตอมของธาตุต่างๆ และได้สรุปว่า "ในนิวเคลียสของอะตอมมีอนุภาคที่เป็นกลางทางไฟฟ้าอยู่ เรียกว่า นิวตรอน"

ทอมสัน ใช้แก๊สนีออนในการทดลองในหลอดรังสีแคโทด พบว่าอนุภาคบวกที่เกิดจากแก๊สนีออนมีค่าอัตราส่วนประจุต่อมวล 2 ค่าที่ใกล้เคียงกันซึ่งสนับสนุนว่ามีนิวตรอนอยู่ภายในนิวเคลียส

อนุภาคมูลฐานของอะตอม

อนุภาค	สัญลักษณ์	ประจุไฟฟ้า (คูลอมบ์)	ชนิดประจุไฟฟ้า	มวล (กรัม)
อิเล็กตรอน	e	1.602×10^{-19}	-1	9.109×10^{-28}
โปรตอน	p	1.602×10^{-19}	$+1$	1.673×10^{-24}
นิวตรอน	n	0	0	1.675×10^{-24}

ข้อควรทราบ

ค่าประจุ e^- = ค่าประจุ p = 1.602×10^{-19} คูลอมบ์ต่อกรัม

มวลของ n > มวลของ p > มวลของ e^-

1,839 : 1,836 : 1

อนุภาคมูลฐานของอะตอม ประกอบด้วย p, n, e^-

ในอะตอมที่เป็นกลาง หมายถึง จำนวน p = จำนวน e^-

มวลของอะตอม = มวล p+มวล n อยู่ที่นิวเคลียส แต่จำนวน p, n และ e^- บอกโดย

เลขอะตอม คือ จำนวน p

เลขมวล คือ จำนวน p+n

- จะหาจำนวน e^- หรือ p ต้องทราบ **เลขอะตอม**
- จะหาจำนวน n ต้องทราบ **เลขมวลและเลขอะตอม**

เลขอะตอม เลขมวล ไอโซโทป ไอโซโทน ไอโซบาร์

สัญลักษณ์นิวเคลียร์ คือ สัญลักษณ์ของธาตุที่แสดงรายละเอียดของอนุภาคมูลฐานของอะตอมไว้ โดยแสดงเลขอะตอมไว้ตรงมุมล่างซ้าย และแสดงเลขมวลไว้ตรงมุมบนซ้าย ดังนี้

เลขมวล (p+n) → $^{A}_{Z}X$ ← เลขอะตอม (p)

- จำนวนโปรตอน เรียกว่า **เลขอะตอม** (เขียนแทนด้วย Z)
  (ในอะตอมที่เป็นกลาง จำนวนโปรตอนเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอน)
- จำนวนโปรตอน+จำนวนนิวตรอน เรียกว่า **เลขมวล** (เขียนแทนด้วย A)
- จำนวนนิวตรอน = A−Z

เลขมวล (A) = 40
ธาตุแคลเซียมมีจำนวน
p+n = 40
จำนวน n = 40−20 = 20

$^{40}_{20}Ca$

เลขอะตอม (Z) = 20
ธาตุแคลเซียม
- มี 20 โปรตอน
- มี 20 อิเล็กตรอน

สัญลักษณ์ของ
ธาตุแคลเซียม

ธาตุ	เลขอะตอม	เลขมวล	จำนวน p	จำนวน e^-	จำนวน n
$^{23}_{11}Na$	11	23	11	11	12
$^{223}_{87}Fr$	87	223	87	87	136
$^{235}_{92}U$	92	235	92	92	143

ไอโซโทป

ธาตุชนิดเดียวกัน มีเลขอะตอม (จำนวนโปรตอน) เท่ากัน แต่มีเลขมวลและนิวตรอนต่างกัน เรียกว่า ไอโซโทป (IsotoPe, Iso = เท่ากัน, P = โปรตอน) เช่น ธาตุ H มี 3 ไอโซโทป ดังนี้

ตัวอย่าง

สัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ	$^{1}_{1}H$	$^{2}_{1}H$	$^{3}_{1}H$
จำนวน p	1	1	1
จำนวน e^-	1	1	1
จำนวน n	0	1	2
ชื่อเรียก	โปรเทียม	ดิวทีเรียม	ทริเทียม
สัญลักษณ์	H	D	T

Isotope มีเลขอะตอมเท่ากัน ได้แก่

$^{12}_{6}C$, $^{13}_{6}C$, $^{14}_{6}C$ เป็น Isotope กัน

$^{10}_{5}B$, $^{11}_{5}B$ เป็น Isotope กัน

$^{13}_{7}N$, $^{14}_{7}N$ เป็น Isotope กัน

ไอโซโทน

ธาตุต่างชนิดกัน มีจำนวนนิวตรอนเท่ากัน แต่มีเลขอะตอม (จำนวนโปรตอน) และเลขมวลต่างกัน เรียกว่า ไอโซโทน (IsotoNe, Iso = เท่ากัน, N = นิวตรอน) เช่น $^{13}_{6}C$ และ $^{14}_{7}N$ เป็นไอโซโทน ซึ่งกันและกัน

Isotone มีจำนวนนิวตรอนเท่ากัน ได้แก่

$^{12}_{6}C$, $^{11}_{5}B$ เป็น Isotone กัน มีนิวตรอน = 6

$^{13}_{6}C$, $^{14}_{7}N$ เป็น Isotone กัน มีนิวตรอน = 7

ไอโซบาร์

ธาตุต่างชนิดกัน มีเลขมวลเท่ากัน แต่มีเลขอะตอม (จำนวนโปรตอน) และจำนวนนิวตรอนต่างกัน เรียกว่า ไอโซบาร์ (IsobAr, Iso = เท่ากัน, A = เลขมวล) เช่น $^{40}_{18}Ar$ และ $^{40}_{19}K$ เป็นไอโซบาร์ ซึ่งกันและกัน

Isobar มีเลขมวลเท่ากัน ได้แก่

$^{13}_{6}C$ และ $^{13}_{7}N$ เป็น Isobar กัน เลขมวล = 13

$^{14}_{6}C$ และ $^{14}_{7}N$ เป็น Isobar กัน เลขมวล = 14

\# บางกรณีจะเขียนธาตุที่เป็นไอโซโทปกันดังนี้ “ธาตุ-เลขมวล” เช่น

ธาตุคาร์บอนมี 3 ไอโซโทป : C-12, C-13 และ C-14

ธาตุยูเรเนียมมี 2 ไอโซโทป : U-235 และ U-238

ธาตุซิลิคอนมี 3 ไอโซโทป : Si-28, Si-29 และ Si-30

ธาตุทองแดงมี 2 ไอโซโทป : Cu-63 และ Cu-65

ตัวอย่างที่ 1 ถ้าไอโซโทน คือ อะตอมที่มีจำนวนนิวตรอนเท่ากัน และไอโซบาร์ คือ อะตอมที่มีเลขมวลเท่ากัน จากสัญลักษณ์นิวเคลียร์ต่อไปนี้

$^{18}_{9}A$, $^{19}_{9}A$, $^{19}_{10}B$, $^{20}_{10}B$, $^{20}_{11}C$, $^{21}_{11}C$, $^{21}_{12}D$, $^{23}_{12}D$

ข้อใด**ไม่**ถูกต้อง

1. $^{18}_{9}A$ กับ $^{19}_{10}B$ เป็นไอโซโทน แต่ไม่เป็นไอโซบาร์
2. $^{19}_{9}A$ กับ $^{23}_{12}D$ ไม่เป็นไอโซโทน และไม่เป็นไอโซบาร์

3. $^{20}_{11}C$ กับ $^{21}_{11}C$ ไม่เป็นไอโซโทน แต่เป็นไอโซโทป

4. $^{20}_{10}B$ กับ $^{21}_{11}C$ เป็นไอโซบาร์ แต่ไม่เป็นไอโซโทน

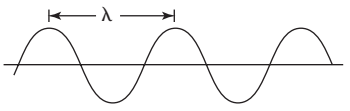
เลือกตอบข้อ 4 เพราะข้อ 4 ควรเป็นไอโซโทน **ตอบ**

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีการเคลื่อนที่แบบคลื่น ดังนั้น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงมีสิ่งต่อไปนี้

● **ความยาวคลื่น** (λ) หมายถึง ระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ มีหน่วยเป็นเมตร (m) หรือนาโนเมตร (nm)

● **ความถี่ของคลื่น** (ν) หมายถึง จำนวนรอบของคลื่นที่ผ่านจุดใดจุดหนึ่งในเวลา 1 วินาที มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที (s^{-1}) หรือเฮิรตซ์ (Hz)



ความยาวคลื่น

1 นาโนเมตร (nm) = 10^{-9} เมตร (m)

1 nm = 10^{-9} m

● **ความเร็ว (c)** ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศมีค่าเท่ากับความเร็วแสง ซึ่งเท่ากับ 2.997×10^{8} เมตรต่อวินาที (เพื่อความสะดวกใช้ 3.0×10^{8} เมตรต่อวินาที)

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ความถี่ และความยาวคลื่น เขียนได้ดังนี้

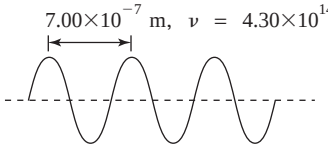
$$c = \lambda\nu \quad \text{หรือ} \quad \nu = \frac{c}{\lambda}$$

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้น จะมีความถี่สูง

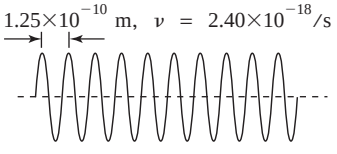
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นยาว จะมีความถี่ต่ำ

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดเดินทางด้วยความเร็วเท่ากัน แต่ต่างกันที่ความยาวคลื่นและความถี่เท่านั้น

ตัวอย่างที่ 2 จงอธิบายข้อแตกต่างระหว่างคลื่น A กับคลื่น B

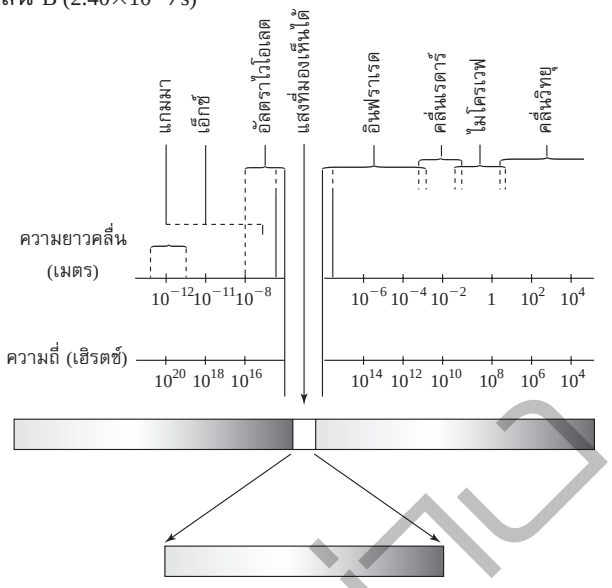


(คลื่น A)



(คลื่น B)

คลื่น A มีความยาวคลื่น (7×10^{-7} m) มากกว่าคลื่น B (1.25×10^{-10} m) แต่ความถี่ของคลื่น A (4.30×10^{14}/s) น้อยกว่าคลื่น B (2.40×10^{18}/s) **ตอบ**



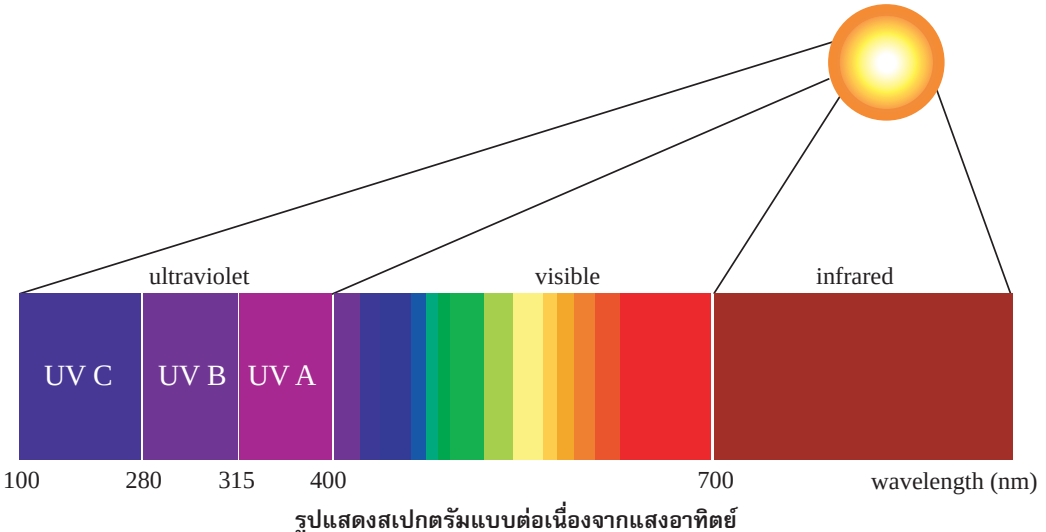
รูปแสดงสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกค่าความถี่รวมกันเรียกว่า สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะได้ว่าความยาวคลื่นของคลื่นวิทยุ > คลื่นไมโครเวฟ > แสงอินฟราเรด > แสงขาว > แสงอัลตราไวโอเลต > รังสีเอ็กซ์ > รังสีแกมมา

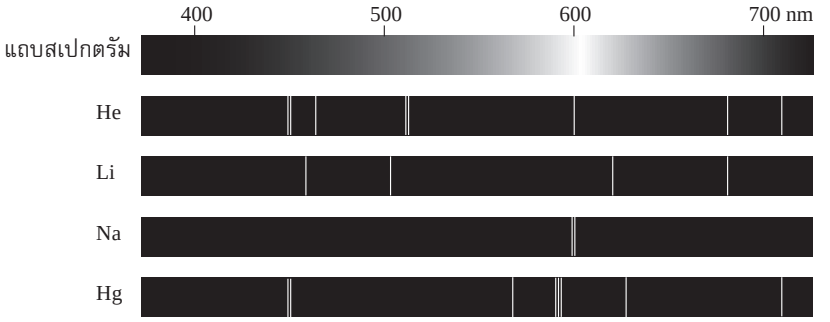
● **สเปกตรัม (spectrum)** เป็นแถบสีหรือเส้นสีที่ได้จากการผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านตัวแยกความยาวคลื่น (เช่น เกรตติง) อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาเกี่ยวกับสเปกตรัมจะเรียกว่า **สเปกโทรมิเตอร์ (spectrometer)** สเปกตรัมมี 2 แบบ คือ

1. สเปกตรัมแบบต่อเนื่อง (continuous spectrum) หรือแถบสเปกตรัม เป็นสเปกตรัมที่ประกอบด้วยแถบสีที่มีความถี่ต่อเนื่องกันไปอย่างกลมกลืนกัน เช่น สเปกตรัมจากแสงอาทิตย์



รูปแสดงสเปกตรัมแบบต่อเนื่องจากแสงอาทิตย์

2. สเปกตรัมแบบไม่ต่อเนื่อง (discontinuous spectrum) หรือเส้นสเปกตรัม (line spectrum) เป็นลักษณะของสเปกตรัมที่มีการเว้นช่องความถี่ของแต่ละเส้นสเปกตรัมที่เกิดขึ้น เช่น สเปกตรัมของธาตุ เป็นต้น



รูปแสดงสเปกตรัมแบบไม่ต่อเนื่องของธาตุ

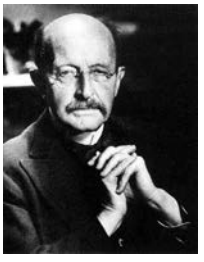
สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ประสาทตาของมนุษย์สามารถสัมผัสได้อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400–700 นาโนเมตร ซึ่งเรียกว่า **แสงที่มองเห็น (visible light)** ตามปกติมนุษย์เราจะมองไม่เห็นสีของแสงจากดวงอาทิตย์จึงเรียกแสงจากดวงอาทิตย์ว่า **แสงขาว (white light)** ซึ่งเป็นแสงที่ประสาทตาของมนุษย์สัมผัสได้ ถ้าให้แสงขาวส่องผ่านปริซึมแสงขาวจะแยกออกเป็นแสงสีต่อเนื่องกันเรียกว่า **สเปกตรัมของแสงขาว** ดังตาราง

ตารางแสดงแสงสีต่าง ๆ ในแถบสเปกตรัมของแสงขาว

สีของสเปกตรัม	ความยาวคลื่น (nm)	ความถี่ (Hz)	พลังงาน (J)
ม่วง	400–420	$(7.50–7.14)(10^{14})$	$(4.97–4.73)(10^{-19})$
น้ำเงิน	420–490	$(7.14–6.12)(10^{14})$	$(4.73–4.06)(10^{-19})$
เขียว	490–580	$(6.12–5.17)(10^{14})$	$(4.06–3.43)(10^{-19})$
เหลือง	580–590	$(5.17–5.08)(10^{14})$	$(3.43–3.37)(10^{-19})$
ส้ม	590–650	$(5.08–4.62)(10^{14})$	$(3.37–3.06)(10^{-19})$
แดง	650–700	$(4.62–4.29)(10^{14})$	$(3.06–2.84)(10^{-19})$

พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือพลังงานของโฟตอน **มักซ์ พลังค์** นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ได้ทำการศึกษาพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและได้เสนอว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีสมบัติเป็นอนุภาคได้และเรียกอนุภาคนั้นว่า **packet** ต่อมาไอน์สไตน์ เรียกว่า **โฟตอน (photon)** และสรุปว่า พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ของคลื่นนั้น เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้



Max Plank
(ค.ศ. 1858-1947)

$$E \propto \nu \propto \frac{1}{\lambda}$$

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

เมื่อ E คือ พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีหน่วยเป็น จูล (J)

h คือ ค่าคงตัวของพลังค์ มีค่าเท่ากับ 6.625×10^{-34} จูล-วินาที (J·s)

ตัวอย่างที่ 3 โฟตอนของแสงมีความยาวคลื่น 3.20×10^{5} เมตร จงคำนวณ

ก. ความถี่ของแสง ข. พลังงานของโฟตอน

วิธีทำ ก. $\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3\times10^{8}}{3.2\times10^{5}} = 938$ Hz **ตอบ**

ข. $E = h\nu = 6.625\times10^{-34}(938)$

$= 6.21\times10^{-31}$ J **ตอบ**

สเปกตรัมของธาตุ

รอเบิร์ต บุนเซน และกุสตาฟ คีร์ชฮอฟฟ์ นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ได้ประดิษฐ์สเปกโทรสโคปซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาสเปกตรัมที่ได้จากการเผาสารประกอบที่มีธาตุเป็นองค์ประกอบ เพื่อนำสเปกตรัมที่ได้มาระบุว่าสารประกอบนั้นมีธาตุใดเป็นองค์ประกอบ

สารประกอบที่มีโลหะเป็นองค์ประกอบ	เผา →	จะเห็นสีเปลวไฟที่มีสีเฉพาะตัวของโลหะนั้นๆ ที่เป็นองค์ประกอบของสารประกอบ

สารประกอบที่มี Na จะได้เปลวไฟสีเหลือง

สารประกอบที่มี K จะได้เปลวไฟสีม่วง

สารประกอบที่มี Ca จะได้เปลวไฟสีแดงอิฐ

สารประกอบที่มี Sr จะได้เปลวไฟสีแดงเข้ม

สารประกอบที่มี Ba จะได้เปลวไฟสีเขียว

สารประกอบที่มี Cu จะได้เปลวไฟสีเขียวเข้ม

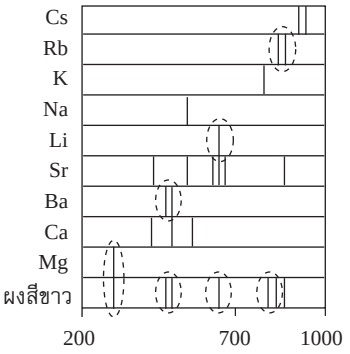
สารประกอบต่างชนิดกันแต่มีโลหะชนิดเดียวกันเป็นองค์ประกอบ จะให้สีเปลวไฟและเส้นสเปกตรัมเหมือนกัน

$NaCl$, Na_2SO_4 } ให้เปลวไฟสีเหลือง

$CuCl_2$, $CuSO_4$ } ให้เปลวไฟสีเขียวเข้ม

ถ้ามองดูเปลวไฟเหล่านี้ผ่านเครื่องสเปกโทรมิเตอร์จะมองเห็นสเปกตรัมของแสงจากสีเปลวไฟเป็นเส้นๆ แต่ละเส้นของสเปกตรัมก็คือแสงแต่ละความถี่ เป็นไปตามกฎของพลังค์

ตัวอย่างที่ 4 ผงสีขาวชนิดหนึ่งเป็นของผสมของสารประกอบคลอไรด์ เมื่อนำมาวิเคราะห์เส้นสเปกตรัมของธาตุได้ผลดังรูป ผงสีขาวประกอบด้วยสารในข้อใด



1. NaCl, KCl, RbCl, CsCl
2. $MgCl_2$, $BaCl_2$, LiCl, RbCl
3. $CaCl_2$, $SrCl_2$, LiCl, RbCl
4. $MgCl_2$, $BaCl_2$, $CaCl_2$, $SrCl_2$

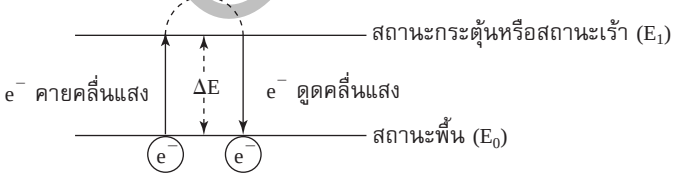
เลือกตอบข้อ 2 **ตอบ**

การอธิบายการเกิดสเปกตรัมของธาตุ

อิเล็กตรอนที่วิ่งวนอยู่รอบ ๆ นิวเคลียสจะมีพลังงานอยู่ 2 ชนิด คือ พลังงานศักย์ซึ่งเป็นพลังงานที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างอิเล็กตรอนกับโปรตอนในนิวเคลียส และพลังงานจลน์ที่อิเล็กตรอนวิ่งวนอยู่รอบนิวเคลียส พลังงานทั้ง 2 ชนิดนี้รวมกันเรียกว่า **พลังงานรวมของอิเล็กตรอน** ซึ่งจะมีค่าต่ำสุดที่ทำให้อะตอมของธาตุเสถียร พลังงานรวมของอิเล็กตรอนที่มีค่าต่ำสุดนี้จะถูกเรียกว่า **พลังงานในสถานะพื้น (ground state)**

เมื่ออะตอมได้รับพลังงาน (พลังงานความร้อนหรือไฟฟ้า) อิเล็กตรอนมีพลังงานเพิ่มขึ้น จึงเคลื่อนที่ไปยังระดับพลังงานสูงขึ้นซึ่งอยู่ในสถานะเร้า (excited state) และไม่เสถียร จากนั้นอิเล็กตรอนจึงพยายามปรับตัวโดยการกลับมาอยู่ในสถานะพื้น โดยการคายพลังงานออกมา (เท่ากับที่อิเล็กตรอนรับเข้าไป)

เมื่อทราบค่าพลังงานที่คายออกมา สามารถคำนวณความถี่และความยาวคลื่นได้ ทำให้สามารถระบุได้ว่าจะเกิดสเปกตรัมสีใดนั่นเอง



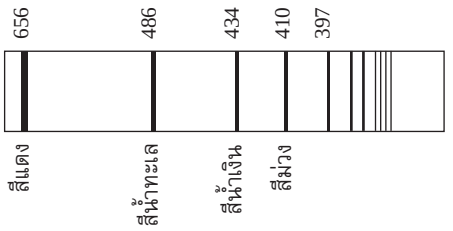
เมื่อ ΔE = ผลต่างของระดับพลังงาน

$= E_1 - E_0$

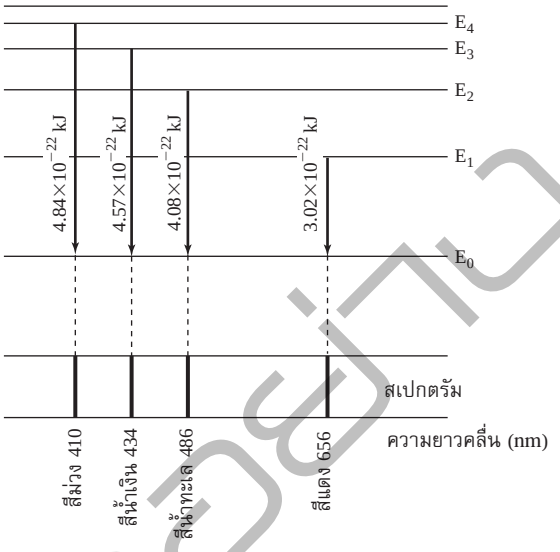
$= h\nu = \frac{hc}{\lambda}$

แบบจำลองอะตอมของโบร์

นีลส์ โบร์ ได้ศึกษาและปรับปรุงแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ดโดยนำปรากฏการณ์ดังกล่าวมาศึกษาสเปกตรัมของแก๊สไฮโดรเจน โดยนำแก๊สไฮโดรเจนมาบรรจุในหลอดแก้ว แล้วปรับความดันให้ต่ำและผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปแทนการเผา จะได้เส้นสเปกตรัมที่มองเห็นได้ 4 เส้น (ไฮโดรเจนมีอิเล็กตรอนเพียง 1 อิเล็กตรอน) ดังรูป



รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของไฮโดรเจน



รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของไฮโดรเจน

ตารางแสดงผลต่างระหว่างพลังงานของเส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจน

การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอน	เส้นสเปกตรัม	ความยาวคลื่น (nm)	พลังงานที่คายออกมา (kJ)	ผลต่างระหว่างพลังงานของเส้นสเปกตรัมที่อยู่ถัดกัน (kJ)/ΔE
$E_4 \rightarrow E_0$	สีม่วง	410	4.84×10^{-22}	2.7×10^{-23} (E_4-E_3)
$E_3 \rightarrow E_0$	สีน้ำเงิน	434	4.57×10^{-22}	4.9×10^{-23} (E_3-E_2)
$E_2 \rightarrow E_0$	สีน้ำทะเล	486	4.08×10^{-22}	10.6×10^{-23} (E_2-E_1)
$E_1 \rightarrow E_0$	สีแดง	656	3.02×10^{-22}	10.6×10^{-23} (E_2-E_1)

จากตารางจะได้ว่า ΔE : $(E_4-E_3) < (E_3-E_2) < (E_2-E_1)$

จากผลการทดลองของโบร์ อธิบายได้ดังนี้

1. เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงาน อิเล็กตรอนจะขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงขึ้น แต่จะไปอยู่ระดับใดย่อมขึ้นกับปริมาณพลังงานที่ได้รับ การที่อิเล็กตรอนขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงานใหม่นี้ทำให้อะตอมไม่เสถียร อิเล็กตรอนจึงพยายามกลับมาอยู่ที่ระดับพลังงานเดิม ในการเปลี่ยนตำแหน่งจากระดับพลังงานสูงลงมา อิเล็กตรอนจะต้องคายพลังงานค่าหนึ่งเท่ากับพลังงานที่ได้รับเข้าไปและพลังงานส่วนใหญ่ที่คายออกมาจะอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งปรากฏเป็นเส้นสเปกตรัมในสเปกโทรสโคป

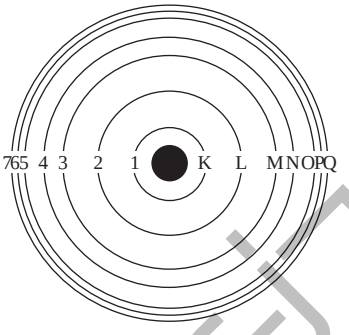
2. การเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนไม่จำเป็นต้องเป็นระหว่างระดับพลังงานที่อยู่ถัดกัน อาจมีการเปลี่ยนข้ามขั้นได้

3. อิเล็กตรอนในระดับพลังงานต่ำจะอยู่ใกล้นิวเคลียส อิเล็กตรอนในระดับพลังงานสูงจะอยู่ไกลนิวเคลียสออกไป

4. ระดับพลังงานต่ำอยู่ห่างกัน แต่ระดับพลังงานยิ่งสูงขึ้นจะยิ่งอยู่ชิดกันมากขึ้น

● แบบจำลองอะตอมของโบร์ เป็นดังนี้

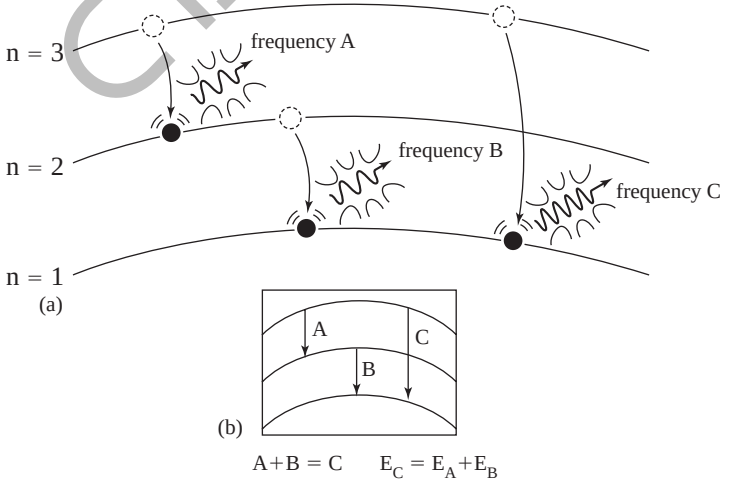
อิเล็กตรอนในอะตอมวิ่งอยู่รอบนิวเคลียสเป็นชั้นๆหรือเป็นระดับพลังงานมีค่าพลังงานเฉพาะคล้ายๆกับวงโคจรของดาวเคราะห์รอบดวงอาทิตย์



รูปแสดงแบบจำลองอะตอมของโบร์

จากรูป ชั้นที่อิเล็กตรอนอยู่ใกล้นิวเคลียสที่สุดและมีระดับพลังงานต่ำที่สุดเรียกว่า ชั้น K และระดับพลังงานถัดออกไปเป็น L, M, N, ... ตามลำดับ ซึ่งปัจจุบันเรียกเป็นระดับพลังงาน n โดยกำหนดให้ระดับพลังงานที่อยู่ใกล้นิวเคลียสที่สุดเรียกเป็น $n = 1$ (ชั้น K) และถัดออกไปเรียกเป็น $n = 2$, $n = 3$, ... ตามลำดับ

● การเกิดเส้นสเปกตรัมของธาตุจากแบบจำลองอะตอมของโบร์



จากรูปอธิบายได้ว่า

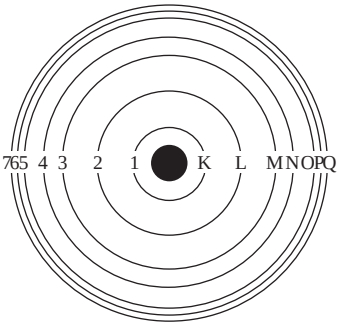
$n = 2$ และ $n = 3$ เป็นระดับพลังงานในสถานะเร้า

$n = 1$ เป็นระดับพลังงานในสถานะพื้น

e^- กลับจากสภาวะเร้าสู่สภาวะพื้นโดยการปลดปล่อยพลังงานออกมา

การจัดอิเล็กตรอนในอะตอม

ระดับพลังงานรอบๆ นิวเคลียส อาจเรียกสั้นๆ ว่า **shell**



n = 1 (K-shell) มี subshell s-orbital

n = 2 (L-shell) มี subshell s และ p-orbital

n = 3 (M-shell) มี subshell s, p และ d-orbital

n = 4, 5, 6 และ 7 (N, O, P และ Q-shell) มี subshell s, p, d และ f-orbital

ตารางแสดงจำนวนอิเล็กตรอนที่มีได้สูงสุดในระดับพลังงานต่าง ๆ

ระดับพลังงาน	จำนวนอิเล็กตรอนที่มีได้สูงสุด
n = 1	$2\times1^2 = 2$
n = 2	$2\times2^2 = 8$
n = 3	$2\times3^2 = 18$
n = 4	$2\times4^2 = 32$
n = 5	$2\times5^2 = 50$

จำนวนอิเล็กตรอนในระดับพลังงานนอกสุด (valence electron) มีได้ไม่เกิน 8 อิเล็กตรอน และจำนวนอิเล็กตรอนในระดับพลังงานวงถัดจากวงนอกสุดเข้ามามีได้ไม่เกิน 18 อิเล็กตรอน

ระดับพลังงานหลัก (n) ยังถูกแบ่งออกเป็นระดับพลังงานย่อย (subshell) (คือ s, p, d และ f) ซึ่งจะมีอิเล็กตรอนหมุนอยู่ ตำแหน่งที่อิเล็กตรอนหมุนอยู่เรียกว่า **ออร์บิทัล (orbital)** มีความหมายว่า "บ้านให้อิเล็กตรอนอยู่"

- s(sharp), p(principal), d(diffuse) และ f(fundamental)

  s-subshell มี 1 ออร์บิทัล มีอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 2

  p-subshell มี 3 ออร์บิทัล มีอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 6

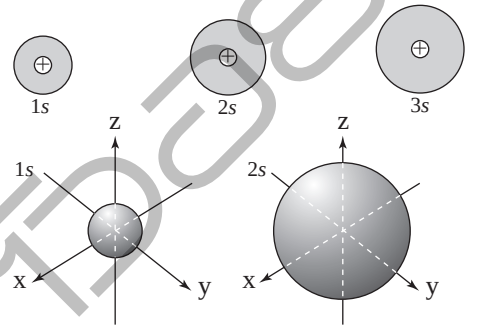
  d-subshell มี 5 ออร์บิทัล มีอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 10

  f-subshell มี 7 ออร์บิทัล มีอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 14

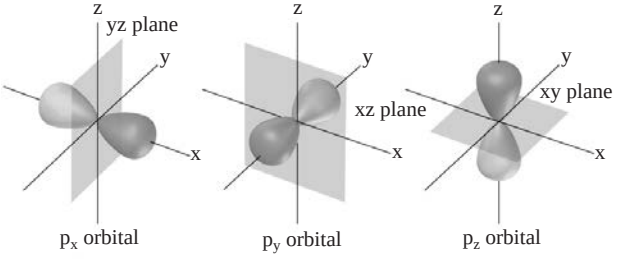
ระดับพลังงาน	ระดับพลังงานย่อย	จำนวนอิเล็กตรอนสูงสุด ในระดับพลังงานย่อย	จำนวนอิเล็กตรอนสูงสุด ในระดับพลังงาน
1	s	2	2
2	s p	2 6	8
3	s p d	2 6 10	18
4	s p d f	2 6 10 14	32

รูปร่างของออร์บิทัล

- **รูปร่างของ s–orbital** เป็นทรงกลม มี 1 แบบ มีอิเล็กตรอนบรรจุได้มากสุด $2e^-$



- **รูปร่างของ p–orbital** เป็น dumbell มี 3 แบบ P_x, P_y และ P_z มีอิเล็กตรอนบรรจุได้มากสุด $6e^-$



- **รูปร่างของ d–orbital** มี 5 แบบ d_{xy}, d_{yz}, d_{zx}, d_{z^2}, $d_{x^2-y^2}$ มีอิเล็กตรอนบรรจุได้มากสุด $10e^-$

ร่วมมือ...ร่วมใจ
ปฏิรูปการศึกษาไทย

หาซื้อได้แล้ววันนี้...ตามร้านหนังสือชั้นนำทั่วประเทศ

ขยันก่อนสอบ
เคมีพื้นฐานและเพิ่มเติม ม.4

MODERN ACADEMIC CENTER
สัญลักษณ์แห่งคุณภาพทางวิชาการ
MACeducation.com
Your Education Online
www.MACeducation.com

ราคา 90 บาท