

# โครงสร้างอะตอม (Atomic structure)

10303105 เคมีพื้นฐาน (2/2565)

- 1.1 โมเดลอะตอมแบบต่างๆ
- 1.2 อนุภาคต่างๆในอะตอม
- 1.3 ทฤษฎีอะตอมสมัยใหม่
- 1.4 ทฤษฎีอะตอมของบอร์ห์และสเปกตรัมของธาตุไฮโดรเจน
- 1.5 กลศาสตร์คลื่น
- 1.6 เลขควอนตัมต่างๆ
- 1.7 การจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุในตารางธาตุ

รัชดาภรณ์ ปันทะรส

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

[www.chemistry.mju.ac.th](http://www.chemistry.mju.ac.th)

email: [ratchadaporn\\_p@mju.ac.th](mailto:ratchadaporn_p@mju.ac.th)

| IUPAC Periodic Table of the Elements        |                                                |                                                                          |                                       |                                      |                                           |                                       |                                       |                                      |                                       |                                        |                                     |                                               |                                              |                                              |                                            |                                               |                                      |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1<br><b>H</b><br>hydrogen<br>[1.007, 1.009] |                                                |                                                                          |                                       |                                      |                                           |                                       |                                       |                                      |                                       |                                        |                                     |                                               |                                              |                                              |                                            |                                               | 2<br><b>He</b><br>helium<br>4.003    |
| 3<br><b>Li</b><br>lithium<br>[6.938, 6.997] | 4<br><b>Be</b><br>beryllium<br>9.012           | Key:<br>atomic number<br><b>Symbol</b><br>name<br>standard atomic weight |                                       |                                      |                                           |                                       |                                       |                                      |                                       |                                        |                                     | 13<br><b>B</b><br>boron<br>[10.80, 10.83]     | 14<br><b>C</b><br>carbon<br>[12.00, 12.02]   | 15<br><b>N</b><br>nitrogen<br>[14.00, 14.01] | 16<br><b>O</b><br>oxygen<br>[15.99, 16.00] | 17<br><b>F</b><br>fluorine<br>19.00           | 18<br><b>Ne</b><br>neon<br>20.18     |
| 11<br><b>Na</b><br>sodium<br>22.99          | 12<br><b>Mg</b><br>magnesium<br>[24.30, 24.31] | 3                                                                        | 4                                     | 5                                    | 6                                         | 7                                     | 8                                     | 9                                    | 10                                    | 11                                     | 12                                  | 13<br><b>Al</b><br>aluminium<br>26.98         | 14<br><b>Si</b><br>silicon<br>[28.08, 28.09] | 15<br><b>P</b><br>phosphorus<br>30.97        | 16<br><b>S</b><br>sulfur<br>[32.05, 32.08] | 17<br><b>Cl</b><br>chlorine<br>[35.44, 35.46] | 18<br><b>Ar</b><br>argon<br>39.95    |
| 19<br><b>K</b><br>potassium<br>39.10        | 20<br><b>Ca</b><br>calcium<br>40.08            | 21<br><b>Sc</b><br>scandium<br>44.96                                     | 22<br><b>Ti</b><br>titanium<br>47.87  | 23<br><b>V</b><br>vanadium<br>50.94  | 24<br><b>Cr</b><br>chromium<br>52.00      | 25<br><b>Mn</b><br>manganese<br>54.94 | 26<br><b>Fe</b><br>iron<br>55.85      | 27<br><b>Co</b><br>cobalt<br>58.93   | 28<br><b>Ni</b><br>nickel<br>58.69    | 29<br><b>Cu</b><br>copper<br>63.55     | 30<br><b>Zn</b><br>zinc<br>65.38(2) | 31<br><b>Ga</b><br>gallium<br>69.72           | 32<br><b>Ge</b><br>germanium<br>72.63        | 33<br><b>As</b><br>arsenic<br>74.92          | 34<br><b>Se</b><br>selenium<br>78.96(3)    | 35<br><b>Br</b><br>bromine<br>[79.90, 79.91]  | 36<br><b>Kr</b><br>krypton<br>83.80  |
| 37<br><b>Rb</b><br>rubidium<br>85.47        | 38<br><b>Sr</b><br>strontium<br>87.62          | 39<br><b>Y</b><br>yttrium<br>88.91                                       | 40<br><b>Zr</b><br>zirconium<br>91.22 | 41<br><b>Nb</b><br>niobium<br>92.91  | 42<br><b>Mo</b><br>molybdenum<br>95.96(2) | 43<br><b>Tc</b><br>technetium         | 44<br><b>Ru</b><br>ruthenium<br>101.1 | 45<br><b>Rh</b><br>rhodium<br>102.9  | 46<br><b>Pd</b><br>palladium<br>106.4 | 47<br><b>Ag</b><br>silver<br>107.9     | 48<br><b>Cd</b><br>cadmium<br>112.4 | 49<br><b>In</b><br>indium<br>114.8            | 50<br><b>Sn</b><br>tin<br>118.7              | 51<br><b>Sb</b><br>antimony<br>121.8         | 52<br><b>Te</b><br>tellurium<br>127.6      | 53<br><b>I</b><br>iodine<br>126.9             | 54<br><b>Xe</b><br>xenon<br>131.3    |
| 55<br><b>Cs</b><br>caesium<br>132.9         | 56<br><b>Ba</b><br>barium<br>137.3             | 57-71<br>lanthanoids                                                     | 72<br><b>Hf</b><br>hafnium<br>178.5   | 73<br><b>Ta</b><br>tantalum<br>180.9 | 74<br><b>W</b><br>tungsten<br>183.8       | 75<br><b>Re</b><br>rhenium<br>186.2   | 76<br><b>Os</b><br>osmium<br>190.2    | 77<br><b>Ir</b><br>iridium<br>192.2  | 78<br><b>Pt</b><br>platinum<br>195.1  | 79<br><b>Au</b><br>gold<br>197.0       | 80<br><b>Hg</b><br>mercury<br>200.6 | 81<br><b>Tl</b><br>thallium<br>[204.3, 204.4] | 82<br><b>Pb</b><br>lead<br>207.2             | 83<br><b>Bi</b><br>bismuth<br>209.0          | 84<br><b>Po</b><br>polonium                | 85<br><b>At</b><br>astatine                   | 86<br><b>Rn</b><br>radon             |
| 87<br><b>Fr</b><br>francium                 | 88<br><b>Ra</b><br>radium                      | 89-103<br>actinoids                                                      | 104<br><b>Rf</b><br>rutherfordium     | 105<br><b>Db</b><br>dubnium          | 106<br><b>Sg</b><br>seaborgium            | 107<br><b>Bh</b><br>bohrium           | 108<br><b>Hs</b><br>hassium           | 109<br><b>Mt</b><br>meitnerium       | 110<br><b>Ds</b><br>darmstadtium      | 111<br><b>Rg</b><br>roentgenium        | 112<br><b>Cn</b><br>copernicium     | 113<br><b>Nh</b><br>nihonium                  | 114<br><b>Fl</b><br>flerovium                | 115<br><b>Mc</b><br>moscovium                | 116<br><b>Lv</b><br>livermorium            | 117<br><b>Ts</b><br>tennessine                | 118<br><b>Og</b><br>oganesson        |
|                                             |                                                |                                                                          |                                       |                                      |                                           |                                       |                                       |                                      |                                       |                                        |                                     |                                               |                                              |                                              |                                            |                                               |                                      |
|                                             |                                                |                                                                          | 57<br><b>La</b><br>lanthanum<br>138.9 | 58<br><b>Ce</b><br>cerium<br>140.1   | 59<br><b>Pr</b><br>praseodymium<br>140.9  | 60<br><b>Nd</b><br>neodymium<br>144.2 | 61<br><b>Pm</b><br>promethium         | 62<br><b>Sm</b><br>samarium<br>150.4 | 63<br><b>Eu</b><br>europium<br>152.0  | 64<br><b>Gd</b><br>gadolinium<br>157.3 | 65<br><b>Tb</b><br>terbium<br>158.9 | 66<br><b>Dy</b><br>dysprosium<br>162.5        | 67<br><b>Ho</b><br>holmium<br>164.9          | 68<br><b>Er</b><br>erbium<br>167.3           | 69<br><b>Tm</b><br>thulium<br>168.9        | 70<br><b>Yb</b><br>ytterbium<br>173.1         | 71<br><b>Lu</b><br>lutetium<br>175.0 |
|                                             |                                                |                                                                          | 89<br><b>Ac</b><br>actinium           | 90<br><b>Th</b><br>thorium<br>232.0  | 91<br><b>Pa</b><br>protactinium<br>231.0  | 92<br><b>U</b><br>uranium<br>238.0    | 93<br><b>Np</b><br>neptunium          | 94<br><b>Pu</b><br>plutonium         | 95<br><b>Am</b><br>americium          | 96<br><b>Cm</b><br>curium              | 97<br><b>Bk</b><br>berkelium        | 98<br><b>Cf</b><br>californium                | 99<br><b>Es</b><br>einsteinium               | 100<br><b>Fm</b><br>fermium                  | 101<br><b>Md</b><br>mendelevium            | 102<br><b>No</b><br>nobelium                  | 103<br><b>Lr</b><br>lawrencium       |

'Nihonium' 'Nh' for 113

International Union of Pure and Applied Chemistry / Sci-News.com.

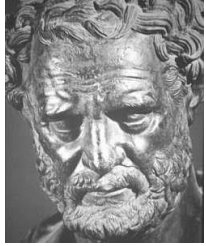
'Moscovium' 'Mc' for 115

'Tennessine' 'Ts' for 117

'Oganesson' 'Og' for 118

## 1.1 โมเดลอะตอมแบบต่างๆ

**460 BC**



**Democritus** develops the idea of atoms **ATOMA** (*greek for indivisible*)

- อะตอมเป็นส่วนประกอบที่เล็กที่สุดของสาร ทำลายและแบ่งแยกไม่ได้
- ค้นพบคุณสมบัติของสารใหม่หลายอย่าง เช่น ทอง เหล็ก แอลกอฮอล์
- พัฒนาเทคนิคการทดลอง เช่น การกลั่น การระเหิด การตกผลึก

**1808**

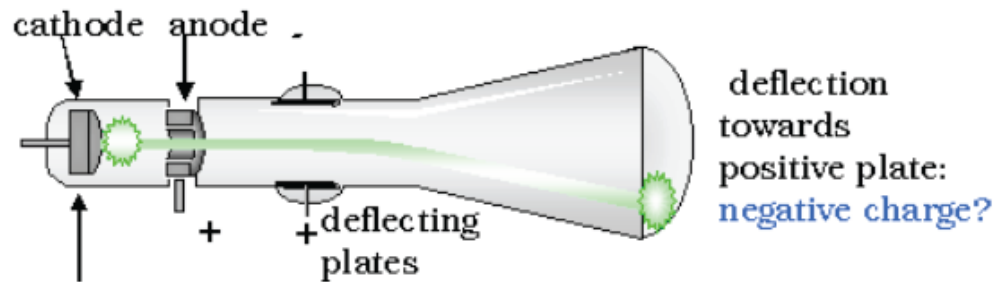


**John Dalton “ATOMS”**

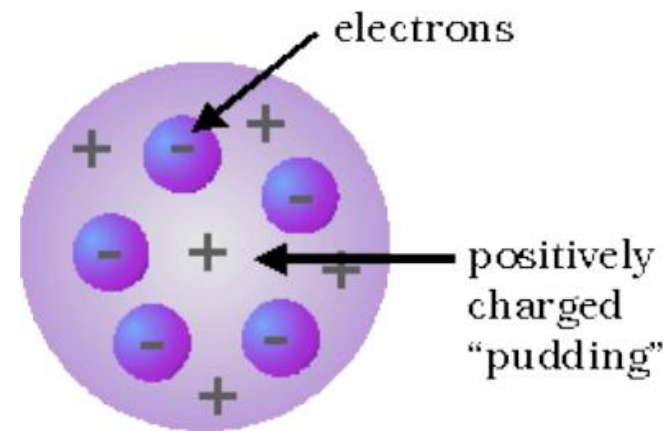
- อะตอมคือธาตุที่ประกอบด้วยอนุภาคที่เล็กมากและแบ่งแยกต่อไปอีกไม่ได้
- อะตอมของธาตุชนิดเดียวกันจะเหมือนกัน และต่างจากอะตอมของธาตุชนิดอื่น

- อะตอมของธาตุต่างชนิดกันจะรวมตัวกันด้วยอัตราส่วนอย่างต่ำที่ลงตัวง่ายๆ เกิดเป็นสารประกอบชนิดต่างๆ เช่น  $\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{H}:\text{O} = 2:1$ )
- ถ้าธาตุสามารถเกิดเป็นสารประกอบได้มากกว่า 1 ชนิด สารประกอบแต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนโดยมวลและโดยอะตอมแตกต่างกัน เช่น  $\text{C}_2\text{O}$  ( $\text{C}:\text{O} = 2:1$ )     $\text{CO}$  ( $\text{C}:\text{O} = 1:1$ )
- ปฏิกิริยาเคมีเกี่ยวข้องกับ การแยก การรวมและการจัดอะตอมใหม่เท่านั้น ไม่มีการสร้างหรือทำลายอะตอม

## Joseph J. Thomson (1879) (Atomic structure)



หลอดรังสีแคโทด (cathode ray)



- ได้ตั้งสมมติฐานว่ารังสีแคโทดประกอบด้วยอนุภาคที่มีชื่อว่าอิเล็กตรอน
- จึงได้ศึกษาพฤติกรรมของหลอดรังสีแคโทดในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยค้นพบอิเล็กตรอนมีประจุไฟฟ้าลบ
- ค่า  $e/m$  ของอิเล็กตรอนมีค่ามากกว่าของโปรตอน ประมาณ 1000 เท่า
- ประจุของอิเล็กตรอนอาจมากกว่าของโปรตอน
- น้ำหนักของอิเล็กตรอนน้อยกว่า

R.A. Mullikan (1909) ได้ทำการทดลองพบว่า

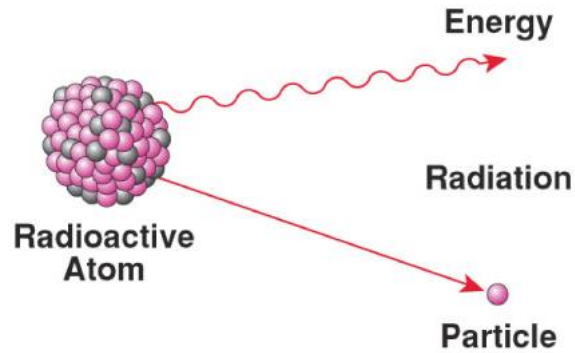
- ค่าประจุของอิเล็กตรอน เท่ากับ  $1.6 \times 10^{-19}$  คูลอมป์
- มวลของอิเล็กตรอน เท่ากับ  $9.11 \times 10^{-31}$  kg ซึ่งเบากว่าโปรตอน 1/2000 เท่า (มวลโปรตอน  $1.67 \times 10^{-27}$  kg)

อะตอมไม่ใช่สิ่งทีเล็กที่สุด แต่ประกอบด้วยอิเล็กตรอนและอนุภาคอื่น

# การค้นพบที่ส่งเสริมวิวัฒนาการของทฤษฎีอะตอมยุคใหม่

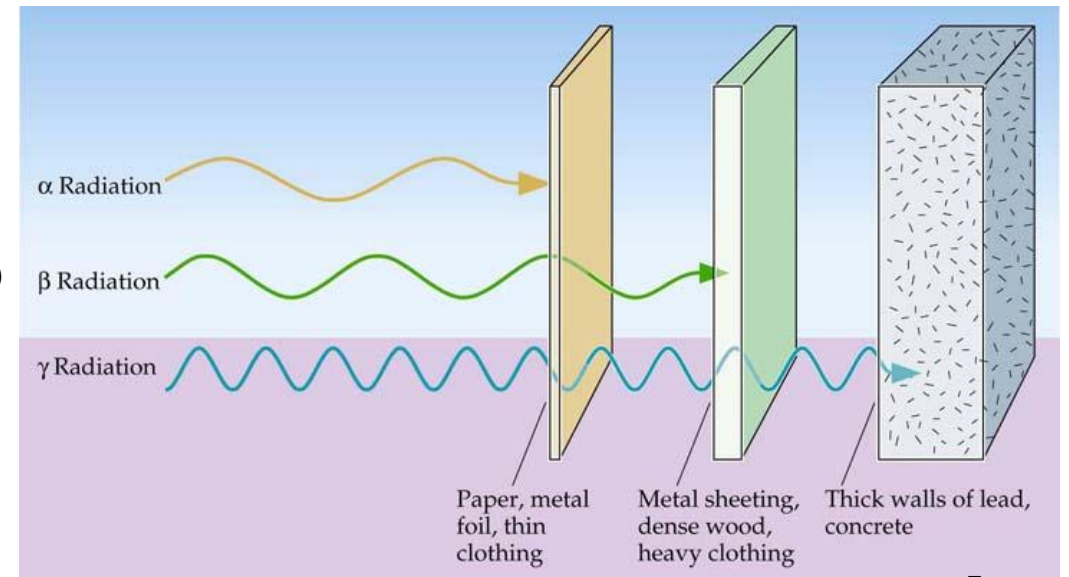
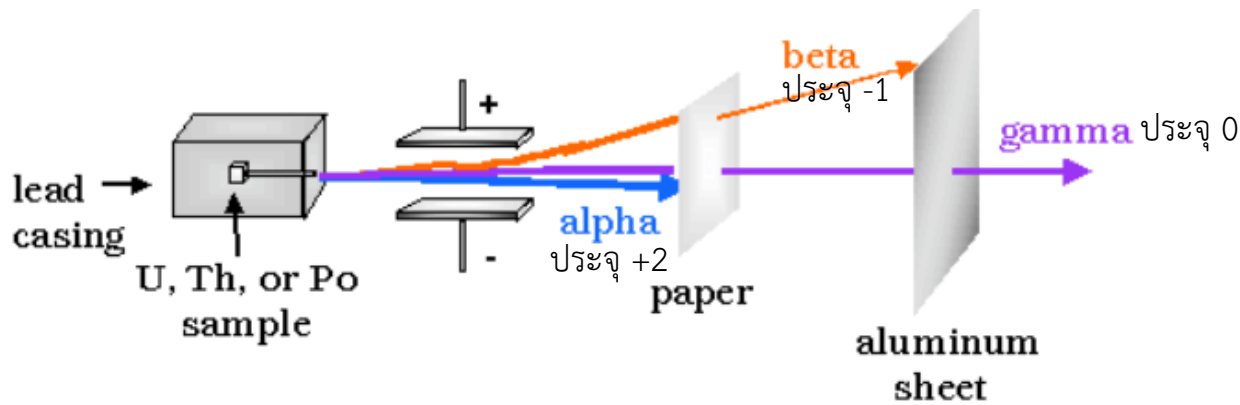
## Pierre และ Marie Curie (1898)

### Radioactive Decay of an Atom

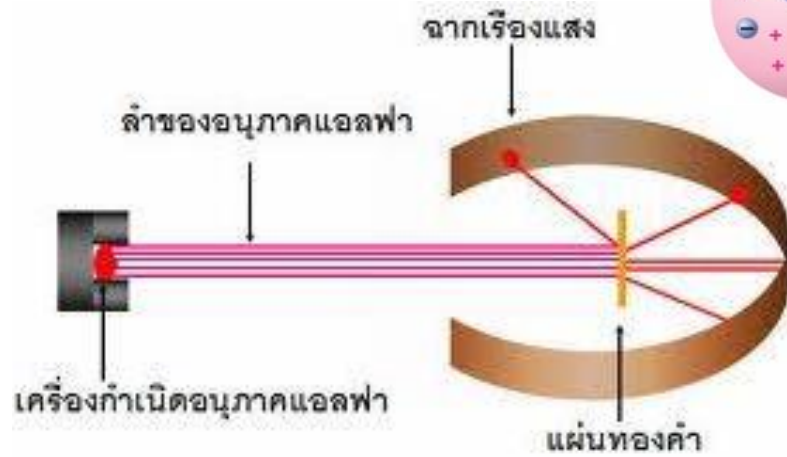


- ธาตุกัมมันตรังสีมีการแตกตัวแล้วเปล่งแสงออกมา ได้อะตอมชนิดอื่นและอนุภาค
- ดังนั้น อะตอมจึงไม่ใช่อนุภาคที่แบ่งแยกไม่ได้

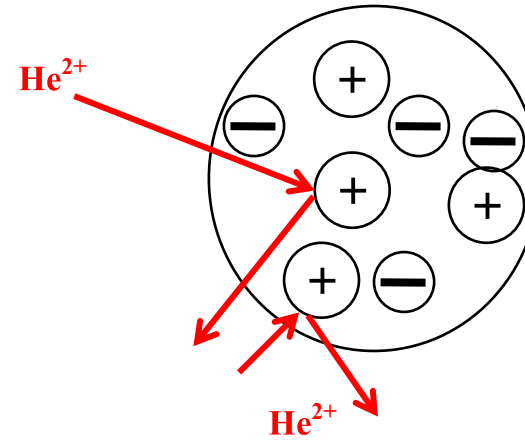
## Ernest Rutherford (1910)



## Ernest Rutherford, 1910

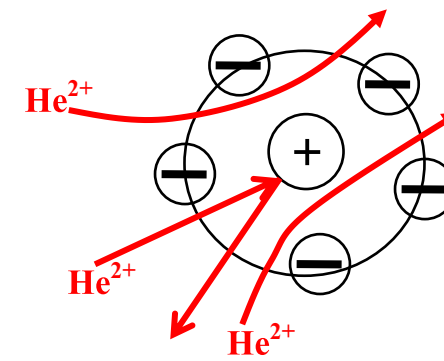


## Thomson



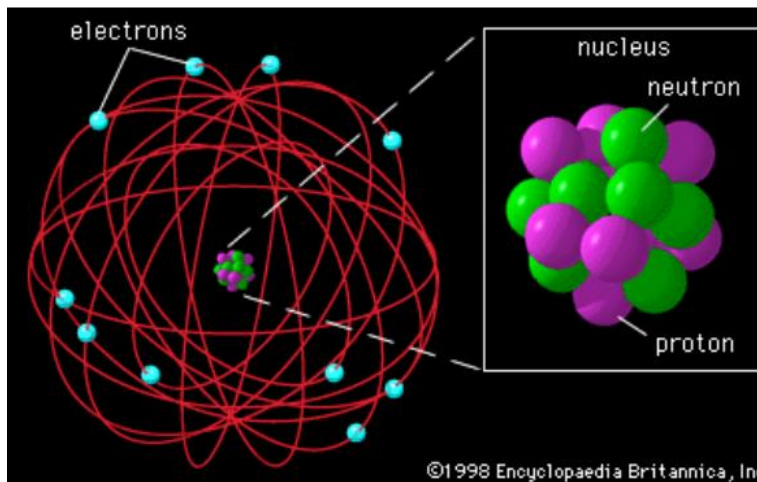
## จากการทดลองของ

## Rutherford



หากแบบจำลองอะตอมเป็นไปตามของทอมสัน รังสีทั้งหมดควรกระเจิงหรือสะท้อนกลับทางเดิมเนื่องจากเกิดการชนและผลักระหว่างอนุภาคแอลฟา ( $\text{He}^{2+}$ ) และนิวเคลียส

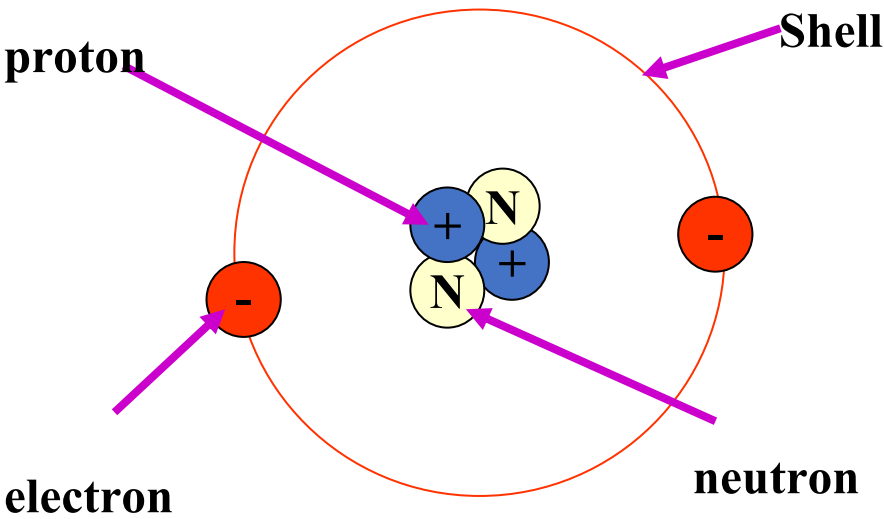
แต่กลับพบว่ารังสีแอลฟาส่วนใหญ่สามารถวิ่งผ่านได้เป็นจำนวนมาก มีเพียงส่วนน้อยที่เป็นกระเจิงหรือสะท้อนกลับทางเดิม



แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด: อะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสซึ่งเป็นอนุภาคประจุบวกที่รวมตัวเป็นกลุ่มอยู่ตรงกลาง และมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นวงล้อมรอบ จำนวนอิเล็กตรอนเท่ากับจำนวนประจุบวกในนิวเคลียส

# 1.2 อนุภาคต่างๆในอะตอม

Helium atom: He



| Particles | Symbol | Charge | Coulombs              | Weight                   |          |
|-----------|--------|--------|-----------------------|--------------------------|----------|
|           |        |        |                       | kg                       | amu      |
| Electron  | $e^-$  | -1     | $1.6 \times 10^{-19}$ | $9.1094 \times 10^{-31}$ | 0.000549 |
| Proton    | $p^+$  | +1     | $1.6 \times 10^{-19}$ | $1.6726 \times 10^{-27}$ | 1        |
| Neutron   | $n^0$  | 0      | 0                     | $1.6726 \times 10^{-27}$ | 1        |

amu = atomic mass unit                      1 amu =  $1.67 \times 10^{-27}$  kg

อะตอมของธาตุแต่ละชนิดมีจำนวนโปรตอนไม่เท่ากัน

| อะตอม | จำนวนโปรตอน | จำนวนอิเล็กตรอน | จำนวนนิวตรอน | เลขมวล<br>อะตอม |
|-------|-------------|-----------------|--------------|-----------------|
| H     | 1           | 1               | 0            | 1               |
| C     | 6           | 6               | 6            | 12              |
| K     | 19          | 19              | 20           | 39              |

สัญลักษณ์ของธาตุ  ${}_Z^AX$

X = ชนิดของธาตุ

A = เลขมวลอะตอม = จำนวนโปรตอน + จำนวนนิวตรอน = จำนวนนิวคลีออน  $\rightarrow A = Z + n$

Z = เลขอะตอม = จำนวนโปรตอน = จำนวนอิเล็กตรอน

**Isotope (ไอโซโทป)** อะตอมของธาตุเดียวกัน (มีโปรตอนเท่ากัน) แต่มีจำนวนนิวตรอนต่างกัน  
สัญลักษณ์ของไอโซโทปมี 2 แบบ คือ  $^A_ZX$  หรือ X-A

|            | จำนวน<br>โปรตอน | จำนวนอิเล็กตรอน | จำนวน<br>นิวตรอน | เลขมวลอะตอม |
|------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------|
| $^{12}_6C$ | 6               | 6               | 6                | 12          |
| $^{13}_6C$ | 6               | 6               | 7                | 13          |
| $^{14}_6C$ | 6               | 6               | 8                | 14          |

**Isotone (ไอโซโทน )** อะตอมต่างชนิดกันที่มีจำนวนนิวตรอนเท่ากัน แต่มีเลขมวลอะตอม (A) และเลขอะตอม (Z) ไม่เท่ากัน  
เช่น  $^{18}_8O$   $^{19}_9F$  เป็นไอโซโทนกัน มีนิวตรอนเท่ากันคือ  $n = 10$

|          | จำนวน<br>โปรตอน | จำนวนอิเล็กตรอน | จำนวน<br>นิวตรอน | เลขมวลอะตอม |
|----------|-----------------|-----------------|------------------|-------------|
| $^{18}O$ | 8               | 8               | 10               | 18          |
| $^{19}F$ | 9               | 9               | 10               | 19          |

**Isobar (ไอโซบาร์)** อะตอมต่างชนิดกันที่มีเลขมวลอะตอมเท่ากัน แต่มีเลขอะตอมและจำนวนนิวตรอนไม่เท่ากัน

เช่น  $^{30}_{14}\text{Si}$  กับ  $^{30}_{15}\text{P}$  มีเลขมวลเท่ากันคือ 30

เฉพาะ A เท่านั้นที่เท่ากัน แต่ Z และ n ไม่เท่ากัน จึงเป็นไอโซบาร์

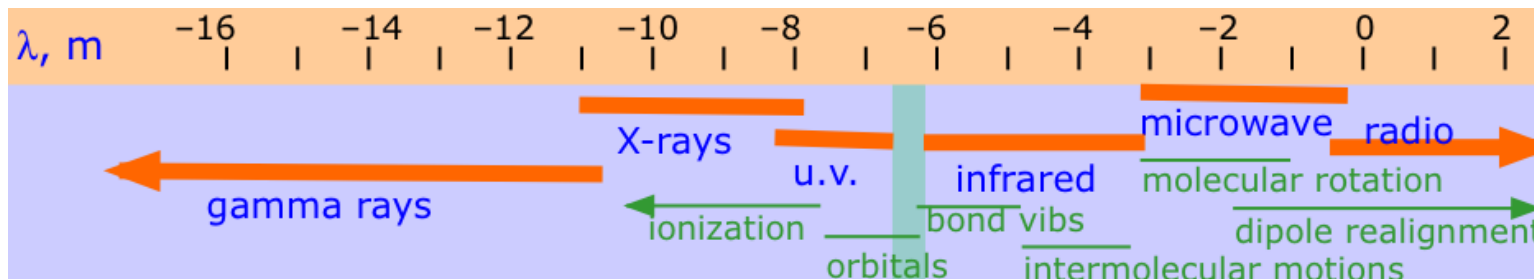
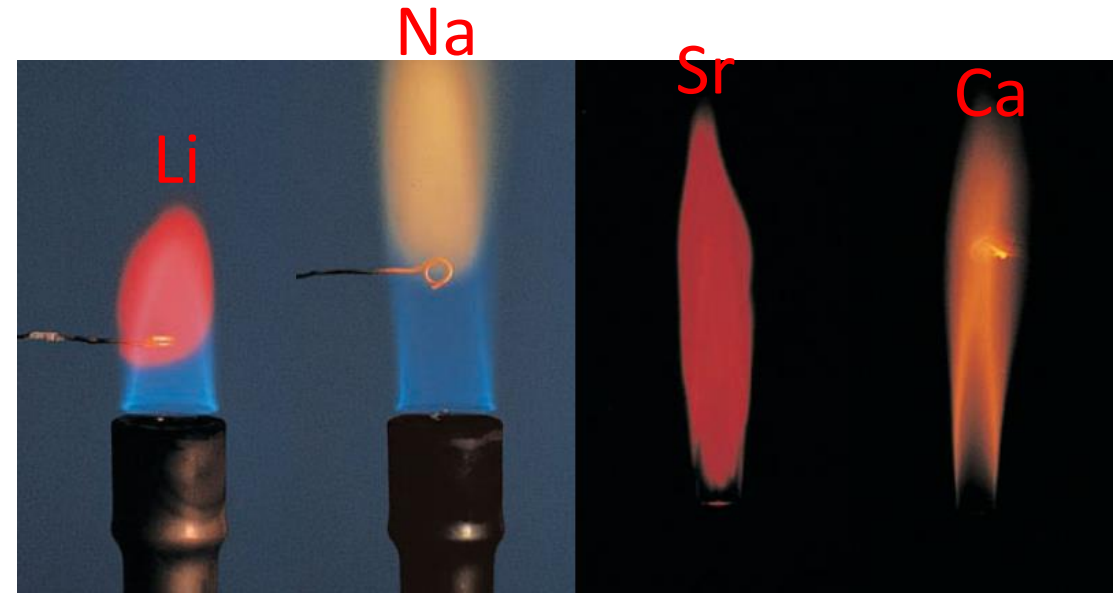
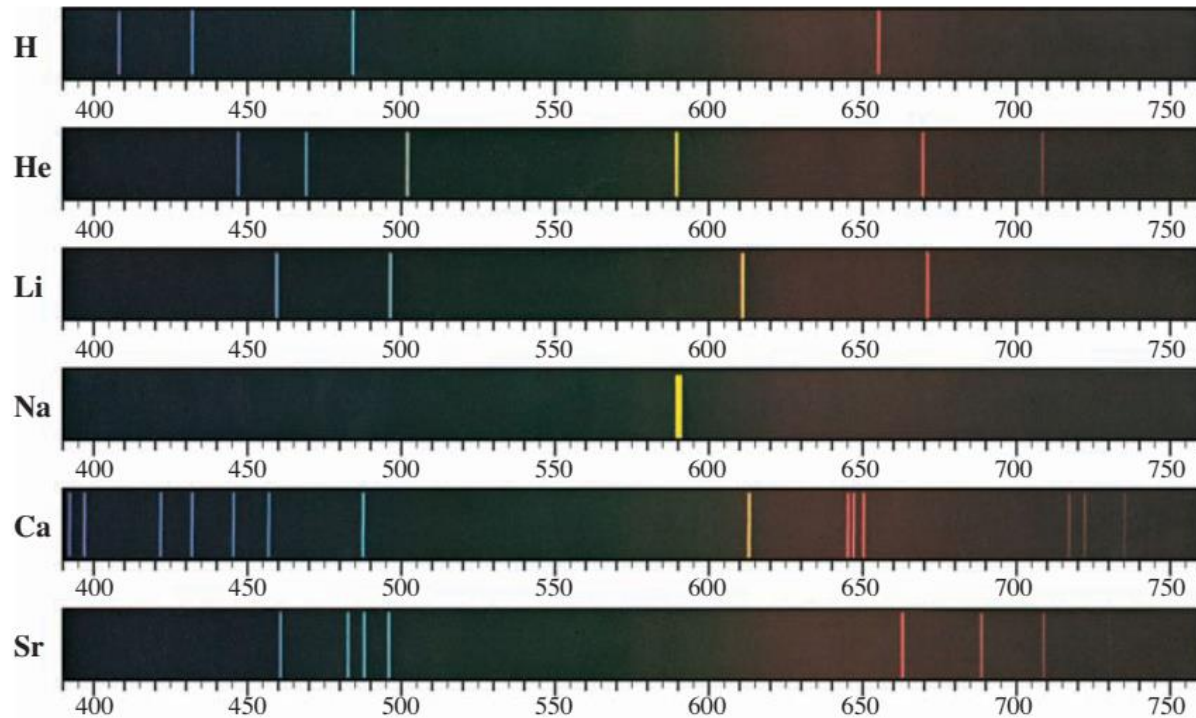
|                       | จำนวนโปรตอน | จำนวนอิเล็กตรอน | จำนวนนิวตรอน | เลขมวลอะตอม |
|-----------------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|
| $^{30}_{14}\text{Si}$ | 14          | 14              | 16           | 30          |
| $^{30}_{15}\text{P}$  | 15          | 15              | 15           | 30          |

| อะตอม                 | จำนวน<br>โปรตอน | จำนวนอิเล็กตรอน | จำนวนนิวตรอน | เลขอะตอม | เลขมวล<br>อะตอม |
|-----------------------|-----------------|-----------------|--------------|----------|-----------------|
| $^{27}_{13}\text{Al}$ |                 |                 |              |          |                 |
| $^{35}_{17}\text{Cl}$ |                 |                 |              |          |                 |
| $^{36}_{17}\text{Cl}$ |                 |                 |              |          |                 |
| $^{40}_{20}\text{Ca}$ |                 |                 |              |          |                 |

| อะตอม                      | จำนวนโปรตอน | จำนวนอิเล็กตรอน |
|----------------------------|-------------|-----------------|
| $^{16}_{16}\text{S}^{2-}$  |             |                 |
| $^{34}_{34}\text{Se}^{2-}$ |             |                 |
| $^{56}_{56}\text{Ba}^{2+}$ |             |                 |
| $^{19}_{19}\text{K}^{+}$   |             |                 |

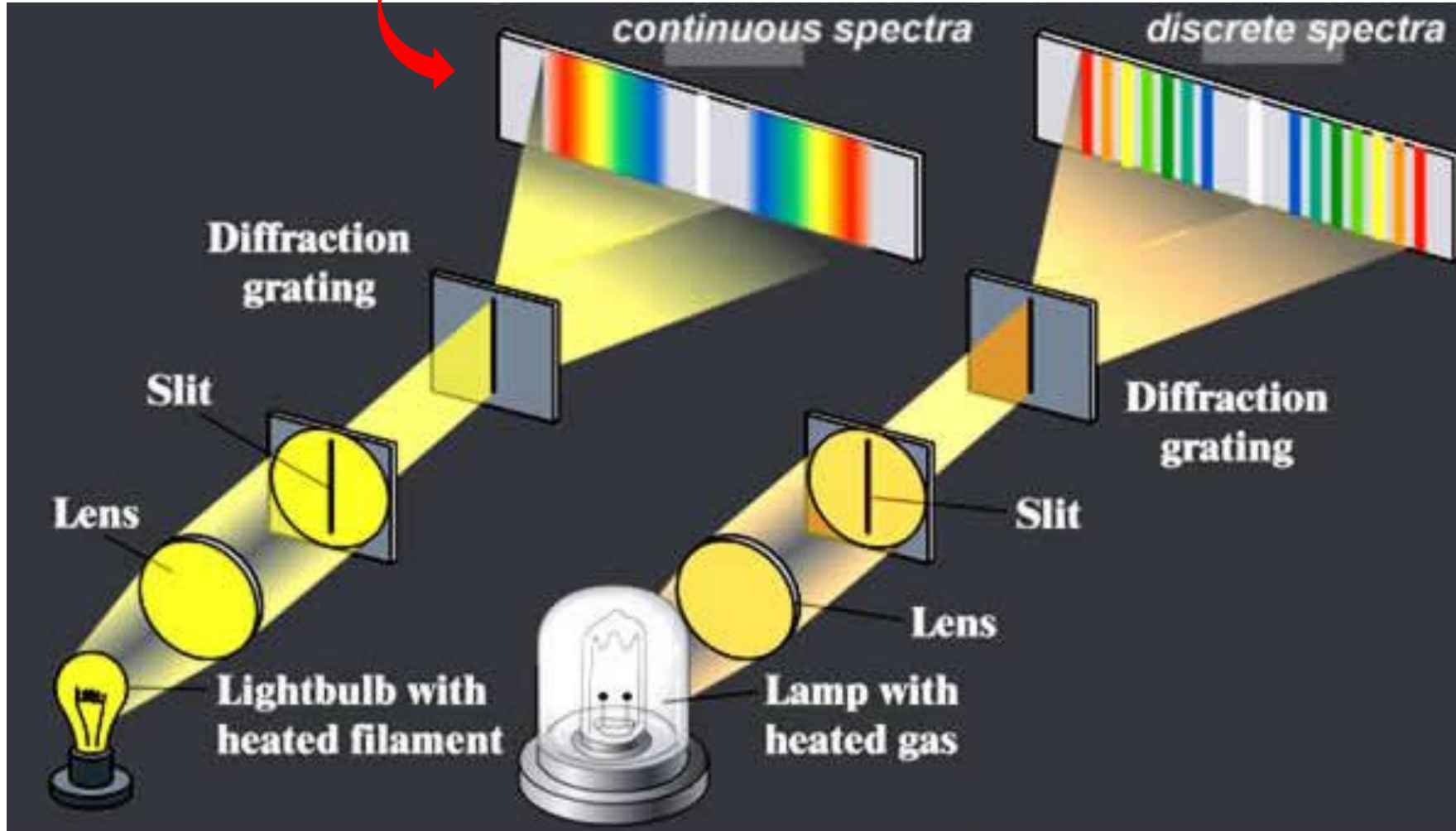
### 1.3 ทฤษฎีอะตอมสมัยใหม่

Max Plank ศึกษาข้อมูลการแผ่รังสีของของแข็งเมื่อได้รับความร้อน พบว่าอะตอมและโมเลกุลปลดปล่อยพลังงานเป็นปริมาณไม่ต่อเนื่อง แต่มีค่าแน่นอน เรียกว่า quanta ซึ่งในขณะนั้น นักฟิสิกส์ทั่วไปมีสมมติฐานว่าค่าพลังงานรังสีต่างๆ เป็นค่าต่อเนื่อง เช่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ



นักฟิสิกส์ทั่วไปมีสมมติฐานว่าค่าพลังงานรังสีต่างๆ เป็นค่าต่อเนื่อง

“Max Plank” ของแข็งเมื่อได้รับความร้อน มีการแผ่รังสีที่มีพลังงานเป็นปริมาณไม่ต่อเนื่อง แต่มีค่าแน่นอน เรียกว่า quanta



## ทฤษฎีควอนตัม (quantum) ของ Plank (1900)

Max Plank ตั้งสมมติฐานว่าอะตอมและโมเลกุลสามารถปลดปล่อย (หรือดูดกลืน) พลังงานเป็นค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น โดยนิยามคำว่า quantum เป็นปริมาณที่เล็กที่สุดของพลังงานที่สามารถปลดปล่อย (หรือดูดกลืน) ในรูปของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า โดยพลังงานมีค่าเท่ากับ

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

$E$  = quantum energy of photon

$h$  = Plank's constant =  $6.63 \times 10^{-34}$  Js

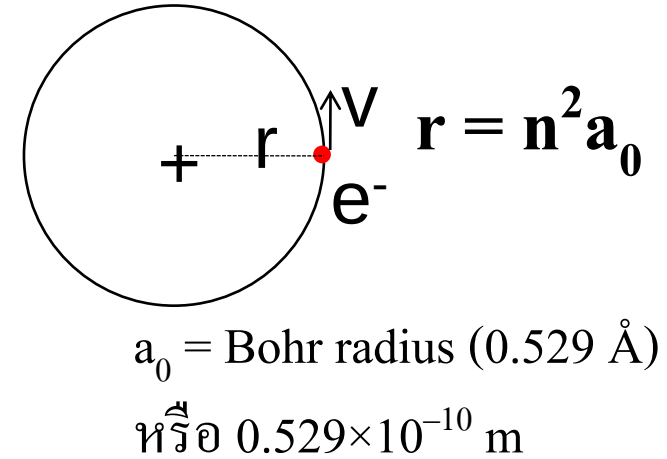
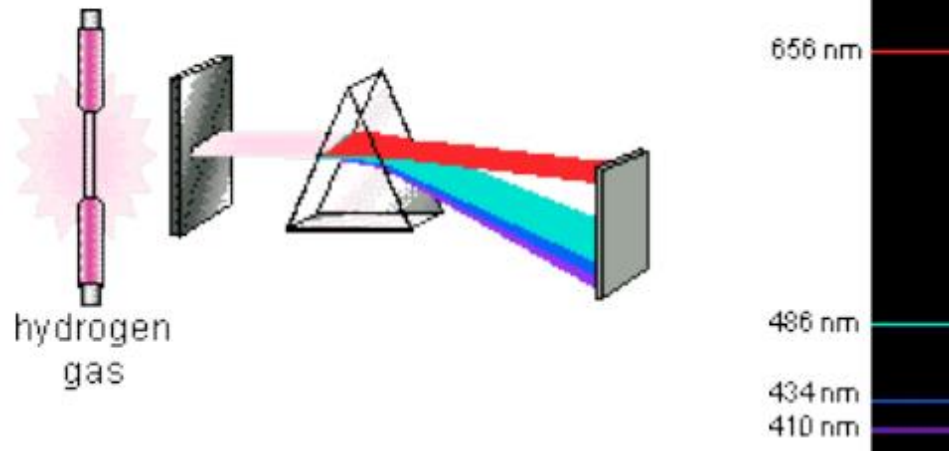
$\nu$  = frequency of radiation บางครั้งเขียนในรูปของ  $f$

$c$  = ความเร็วแสง ( $3 \times 10^8$  m/s)

$\lambda$  = ความยาวคลื่น

## 1.4 ทฤษฎีอะตอมของบอร์และสเปกตรัมของธาตุไฮโดรเจน

Hydrogen model by Neils Bohr (1913)



Bohr เสนอว่าวงโคจร (orbit) ของอิเล็กตรอนมีรัศมีเฉพาะบางค่า (มีระดับพลังงานเฉพาะบางค่า) เมื่ออยู่ในวงโคจรจะไม่แผ่รังสี แต่เมื่อเปลี่ยนวงโคจรจะแผ่รังสี ดังนั้นพลังงานของอิเล็กตรอนมีลักษณะเป็น quantized (มีเฉพาะบางค่า)

จากการตั้งสมมติฐานของ Bohr สรุปความได้ว่า

1. อิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบๆ นิวเคลียสในลักษณะวงกลมที่มีรัศมี  $r$  โดยอิเล็กตรอนมีมวล  $m_e$  และความเร็ว  $v$  การเคลื่อนที่นี้ อิเล็กตรอนไม่มีการสูญเสียพลังงาน อยู่ในสถานะคงตัว (stationary state)

$$m_e v r = n \hbar$$

$$(\hbar = h/2\pi) \text{ เมื่อ } h = \text{Plank's constant}$$

$$n = \text{เลขควอนตัม} = 1, 2, 3, \dots$$

$$E_n = - \frac{(2\pi^2 m_e Z^2 e^4)}{h^2} \frac{1}{n^2}$$

$$m_e (\text{มวลของอิเล็กตรอน}) = 9.11 \times 10^{-28} \text{ g}$$

$$e (\text{ประจุของอิเล็กตรอน}) = 4.8 \times 10^{-10} \text{ esu}$$

$$\text{esu} = \text{electrostatic unit} (1\text{C} = 3 \times 10^9 \text{ esu})$$

$$E_n = - (1311.65 \text{ kJ/mol}) \frac{1}{n^2}$$

$$Z (\text{atomic number of hydrogen}) = 1$$

$$h = 6.6262 \times 10^{-27} \text{ Js}$$

$$E_n = - (13.605 \text{ eV}) \frac{1}{n^2}$$

จากการตั้งสมมติฐานของ Bohr สรุปความได้ว่า

2. เมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนวงโคจร จะมีการดูดกลืนหรือเปล่งรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

- ถ้าเคลื่อนที่ไปวงโคจรที่มีพลังงานต่ำกว่า → อะตอมจะเปล่งรังสีออกมา
- ถ้าเคลื่อนที่ไปวงโคจรที่มีพลังงานสูงกว่า → อะตอมจะดูดกลืนรังสี

$$\Delta E = E_f - E_i = \left(-13.605 \frac{1}{n_f^2}\right) - \left(-13.605 \frac{1}{n_i^2}\right)$$

$$\Delta E = 13.605 \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) \text{ eV}$$

$n$  = principle quantum number = 1, 2, 3, ...

$n_i$  = ระดับพลังงานเริ่มต้น

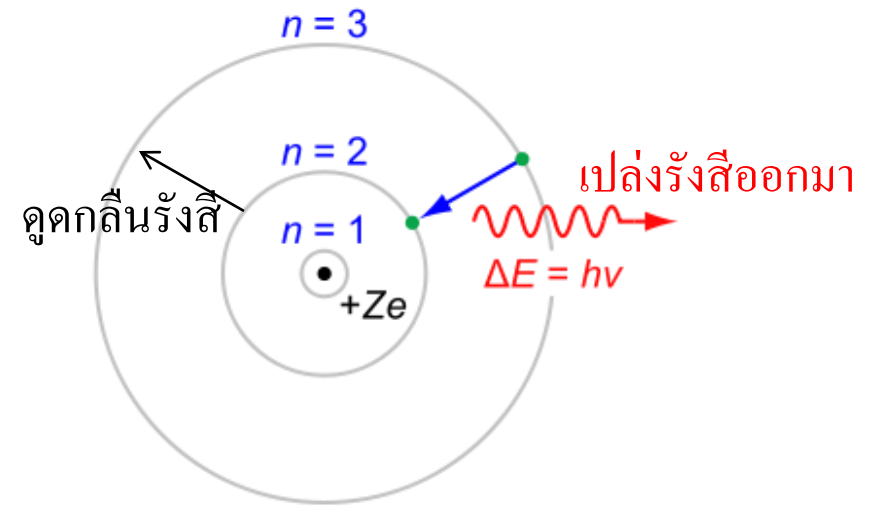
$n_f$  = ระดับพลังงานสุดท้าย

$R_H$  = Rydberg constant =  $2.18 \times 10^{-18} \text{ J}$

$$\Delta E = R_H \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) \text{ J}$$

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left[ \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right]$$

$R_H$  = Rydberg's constant =  $1.09678 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$



ตัวอย่าง จงคำนวณค่าความยาวคลื่นของแสง เมื่ออิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจนเคลื่อนที่จากระดับชั้นพลังงานที่สองไปยังระดับชั้นพลังงานที่สี่

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left[ \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right]$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1.09678 \times 10^7 m^{-1} \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 2.056 \times 10^6 m^{-1}$$

$$\lambda = \frac{1}{2.056 \times 10^6 m^{-1}}$$

$$\lambda = 4.863 \times 10^{-7} m$$

ตัวอย่าง จงคำนวณหาพลังงานของวงโคจร (หน่วย eV) ของอิเล็กตรอนในไฮโดรเจนอะตอมเมื่อ  $n = 1$  (สถานะพื้น)  $n = 2$  (สถานะเร้าที่หนึ่ง) และ  $n = 3$  (สถานะเร้าที่สอง) และหารัศมีของวงโคจรทั้งสาม

จาก  $E_n = -(13.605 \text{ eV}) (1/n^2)$

$$E_1 = -(13.605 \text{ eV}) (1/1^2) = -13.605 \text{ eV}$$

$$E_2 = -(13.605 \text{ eV}) (1/2^2) = -3.401 \text{ eV}$$

$$E_3 = -(13.605 \text{ eV}) (1/3^2) = -1.512 \text{ eV}$$

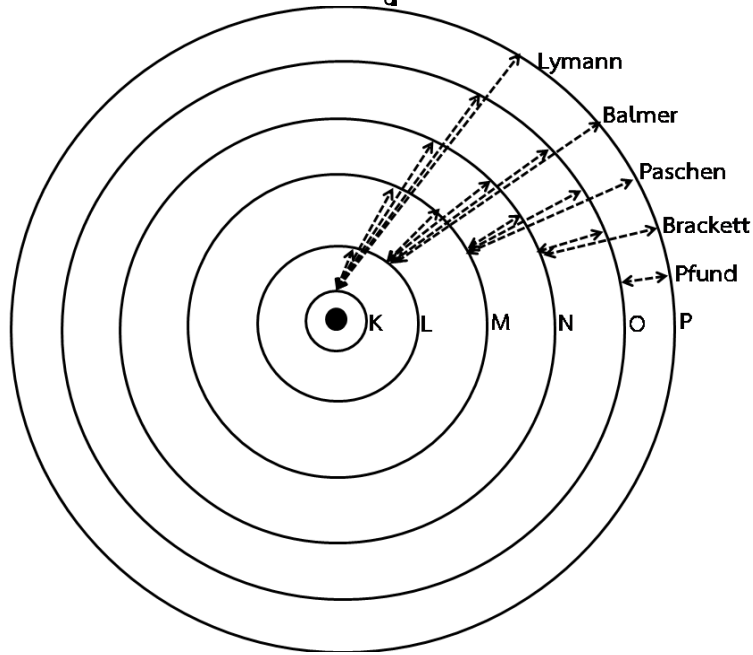
จาก  $r = n^2 a_0$

$$r_1 = 1^2 (0.529 \times 10^{-10} \text{ m}) = 0.529 \times 10^{-10} \text{ m} = 0.529 \text{ \AA}$$

$$r_2 = 2^2 (0.529 \times 10^{-10} \text{ m}) = 2.116 \times 10^{-10} \text{ m} = 2.116 \text{ \AA}$$

$$r_3 = 3^2 (0.529 \times 10^{-10} \text{ m}) = 4.76 \times 10^{-10} \text{ m} = 4.76 \text{ \AA}$$

## สเปกตรัมของธาตุไฮโดรเจน



## สเปกตรัมของธาตุไฮโดรเจน

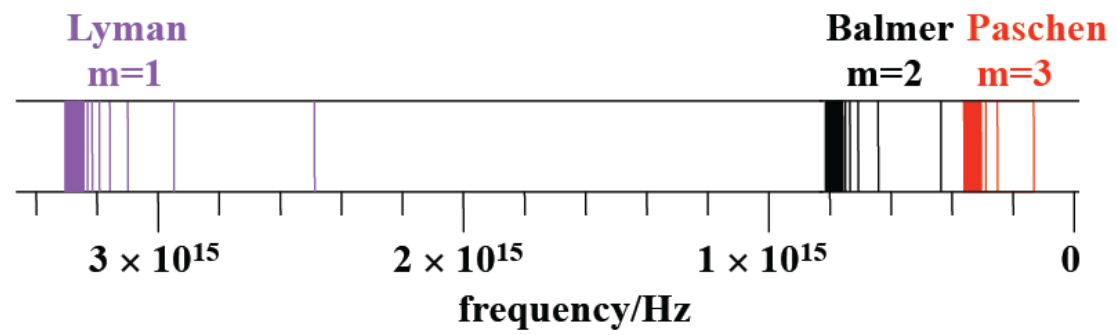
$n_f = 1$  Lyman

$n_f = 2$  Balmer

$n_f = 3$  Paschen

$n_f = 4$  Brackett

$n_f = 5$  Pfund



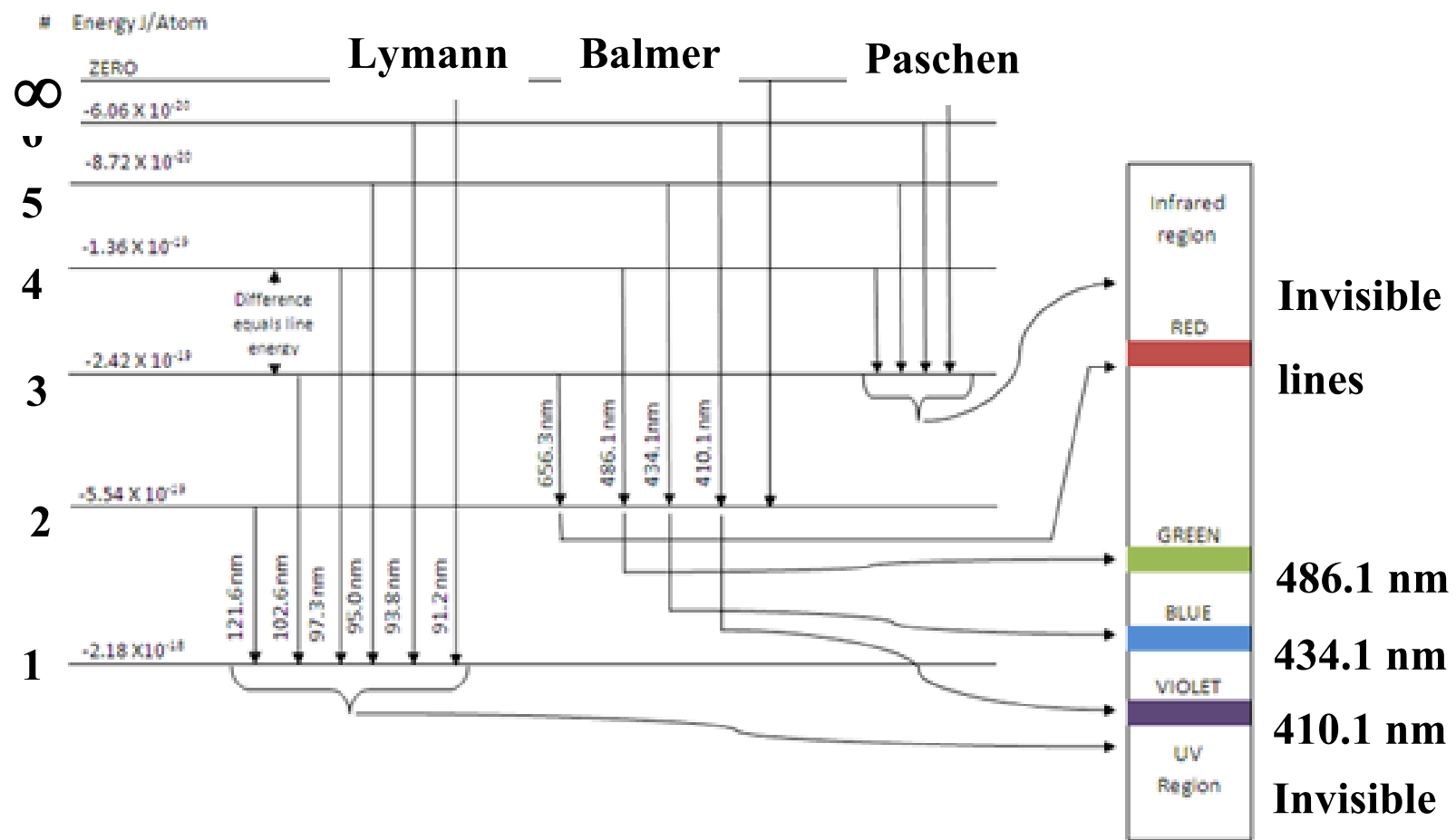
อนุกรม Lyman  $\frac{1}{\lambda} = 1.09678 \times 10^7 m^{-1} \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$

อนุกรม Balmer  $\frac{1}{\lambda} = 1.09678 \times 10^7 m^{-1} \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$

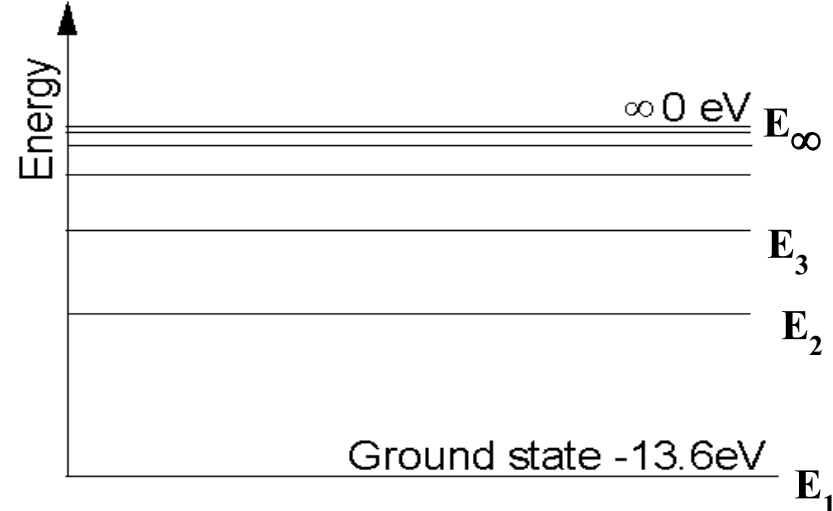
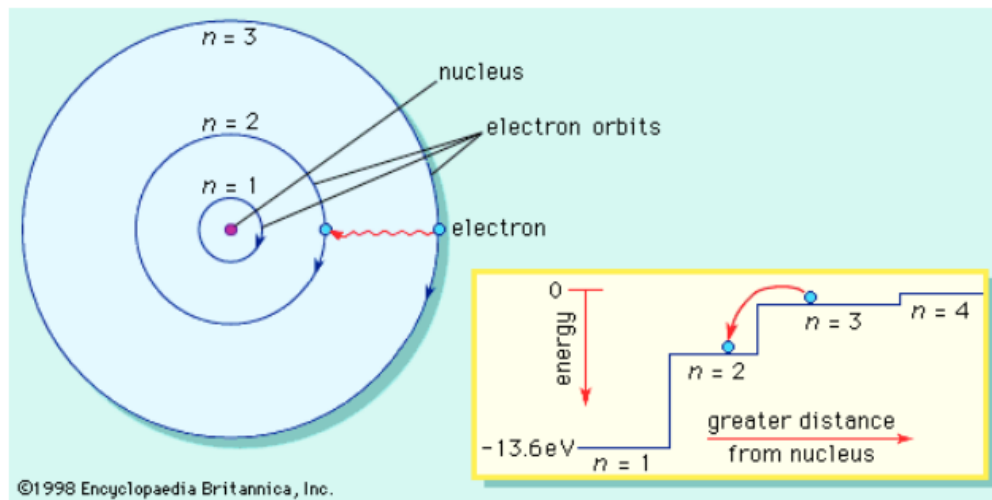
อนุกรม Paschen  $\frac{1}{\lambda} = 1.09678 \times 10^7 m^{-1} \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$

อนุกรม Brackett  $\frac{1}{\lambda} = 1.09678 \times 10^7 m^{-1} \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right)$

อนุกรม Pfund  $\frac{1}{\lambda} = 1.09678 \times 10^7 m^{-1} \left( \frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right)$



| Color Observed | Observed $\lambda$ (nm)    | Energy Change ( $\Delta E$ ) from Observed $\lambda$ | Energy Change ( $\Delta E$ ) from Bohr Model | lines Transition  |
|----------------|----------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------|
| Red            | 660                        | $3.01 \times 10^{-19}$ J                             | $3.03 \times 10^{-19}$ J                     | 3 $\rightarrow$ 2 |
| Blue Green     | 480                        | $4.14 \times 10^{-19}$ J                             | $4.09 \times 10^{-19}$ J                     | 4 $\rightarrow$ 2 |
| Violet         | 430                        | $4.63 \times 10^{-19}$ J                             | $4.58 \times 10^{-19}$ J                     | 5 $\rightarrow$ 2 |
| Violet         | 415<br>(may not been seen) | $4.79 \times 10^{-19}$ J                             | $4.84 \times 10^{-19}$ J                     | 6 $\rightarrow$ 2 |



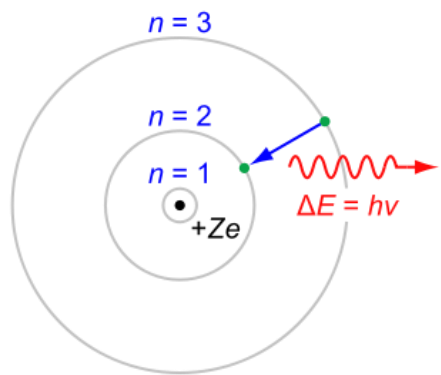
- เมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนวงโคจร จะมีการดูดกลืนหรือเปล่งรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับอะตอมหนึ่งๆ เมื่อมีการเปลี่ยนสถานะ ครั้งหนึ่งจะมีโฟตอนเกี่ยวข้องเพียง 1 ตัวเท่านั้น

ถ้า  $E_{n_2} > E_{n_1}$ ;  $\Delta E$  มีค่ามากกว่าศูนย์ แสดงว่าอะตอมดูดรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

ถ้า  $E_{n_2} < E_{n_1}$ ;  $\Delta E$  มีค่าน้อยกว่าศูนย์ แสดงว่าอะตอมคาย(เปล่ง)รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา

- เมื่อ  $n = \infty$  ได้ค่า  $E_\infty = 0$  เรียกว่า Zero energy เป็นพลังงานของอิเล็กตรอนอิสระ (อิเล็กตรอนที่หลุดออกไปจากอะตอม)
- เมื่อ  $n = 1$  ได้ค่า  $E_1 = -13.605 \text{ eV}$  พลังงานของสถานะพื้นจะเป็นลบมากที่สุดซึ่งหมายถึงพลังงานมีค่าต่ำที่สุด อิเล็กตรอนในสถานะนี้จะเสถียรมากกว่าสถานะอื่นๆ
- ถ้า  $n > 1$  เรียก excited state (สถานะเร้าหรือสถานะกระตุ้น)

จากสเปกตรัมของไฮโดรเจนอะตอมดังทฤษฎีของ Bohr อะตอมในสถานะพื้น (ground state) ได้รับพลังงานจากภายนอก เช่น ไฟฟ้า ความร้อน หรือแสง อย่างเพียงพอ อะตอมอาจเปลี่ยนไปอยู่ในสถานะเร้า (excited state) จากนั้นถ้าทิ้งไว้เฉยๆ อะตอมนั้นๆจะพยายามกลับเข้าสู่สถานะที่มีพลังงานต่ำกว่า (ซึ่งเสถียรกว่า) และในขณะเดียวกันก็จะเปล่งรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาด้วยความถี่ต่างๆกัน ขึ้นอยู่กับว่าอะตอมเหล่านั้นถูกเร้าขึ้นไปสู่สถานะใดและกลับเข้าสู่สถานะใด



### จุดอ่อนของทฤษฎีของ Bohr

1. อธิบายได้เพียงสเปกตรัมของไฮโดรเจนและไอออนที่มีอิเล็กตรอนเพียงตัวเดียว เช่น  $\text{He}^+$  และ  $\text{Li}^{2+}$  เท่านั้น แม้แต่อะตอมของโลหะอัลคาไลซึ่งมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเพียงตัวเดียวก็ตาม ( $ns^1$ )
2. ทฤษฎีของ Bohr อธิบายโครงสร้างอะตอมในสองมิติเท่านั้น

## ตัวอย่าง

1. สเปกตรัมของไฮโดรเจนประกอบด้วยแสงสีหลายชนิด จงคำนวณพลังงาน (J/mol) ที่อะตอมไฮโดรเจนต้องรับเข้าไป เพื่อจะเปล่งแสงสีม่วงซึ่งมีความยาวคลื่น  $4.36 \times 10^{-7} \text{ m}$

กำหนดให้  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$

$$c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$1 \text{ mole} = 6.02 \times 10^{23} \text{ โฟตอน}$$

จาก 
$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$= \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}) (3.00 \times 10^8 \text{ m/s})}{4.36 \times 10^{-7} \text{ m}}$$
$$= 4.56 \times 10^{-19} \text{ J} \quad (\text{ต่อ } 1 \text{ โฟตอน})$$
$$= \frac{4.56 \times 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ โฟตอน}} \times \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ โฟตอน}}{1 \text{ mole}}$$
$$= 2.75 \times 10^5 \text{ J/mole}$$

## ตัวอย่าง

2. จะต้องให้พลังงานกับอะตอมไฮโดรเจนเท่าใด (หน่วย J) เพื่อกระตุ้นอิเล็กตรอนจากวงโคจรแรกไปสู่วงโคจรที่ 3 โดยใช้แบบจำลองของ Bohr

$$\Delta E = R_H \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) J$$

$$R_H = \text{Rydberg constant} = 2.18 \times 10^{-18} \text{ J}$$

$$n = \text{principle quantum number} = 1, 2, 3, \dots$$

$$\begin{aligned} \Delta E &= 2.18 \times 10^{-18} J \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right) \\ &= 1.94 \times 10^{-18} \text{ J} \end{aligned}$$

## ตัวอย่าง

3. จงคำนวณความยาวคลื่นของแสง (nm) ที่ตรงกับการเกิดทรานสิชันจากระดับพลังงาน  $n=5$  ไปยัง  $n=2$  ของอะตอมไฮโดรเจน

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left[ \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right] \quad R_H = \text{Rydberg's constant} = 1.09678 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1.09678 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \left( \frac{1}{5^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1.09678 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \left( \frac{1}{5^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

$$\lambda = -4.34 \times 10^{-7} \text{ m} \times \frac{10^9 \text{ nm}}{1 \text{ m}}$$

ความยาวคลื่นแสงที่คายออกมาเท่ากับ 434 nm

## สมมติฐานของเดอบรอยล์

Louis de Broglie (1925) ได้เสนอความคิดเกี่ยวกับ dual nature ของอิเล็กตรอน นำไปสู่ข้อสรุปที่ว่าคลื่นแสดงตัวเป็นอนุภาคได้ และอนุภาคก็แสดงตัวเป็นคลื่นได้

จากทฤษฎี

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

และทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษ

$$E = pc \text{ เมื่อ } p \text{ คือ โมเมนตัมของ photon } (p = mv)$$

ทั้งสองทฤษฎีสรุปได้ว่า  $pc = \frac{hc}{\lambda}$  สมการแสดงสมบัติเชิงอนุภาคและคลื่นมีความสัมพันธ์  
 $p = \frac{h}{\lambda}$

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$\lambda$  = wavelength of matter wave

$p$  = momentum of particle

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

} dual nature

## ตัวอย่าง

จงคำนวณความยาว (nm) ของอะตอมไฮโดรเจน (มวล =  $1.67 \times 10^{-27}$  kg) ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $7.00 \times 10^2$  cm/s

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad p = mv$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ kgm}^2\text{s}^{-2}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{(6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}) (\text{kgm}^2\text{s}^{-2} / \text{J}) \quad (100 \text{ cm/1m})}{(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}) (7.00 \times 10^2 \text{ cm/s})} \\ &= 5.67 \times 10^{-8} \text{ m} \quad (10^9 \text{ nm/1m}) \\ &= 56.7 \text{ nm} \end{aligned}$$

## หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก (Heisenberg uncertainty principle):

ไฮเซนเบิร์กเสนอว่า เป็นไปไม่ได้ที่จะทราบค่าที่แน่นอนทั้งโมเมนตัมและตำแหน่งของอนุภาคพร้อมๆ กัน นั่นคือ

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

change in momentum  
↑  
change in position

$\Delta x$  = uncertainty of position ความไม่แน่นอนในการวัดตำแหน่งตามแนวแกน x

$\Delta p$  = uncertainty of momentum ความไม่แน่นอนสำหรับค่าโมเมนตัมเชิงเส้นตรง

จาก uncertainty principle ไม่สามารถบอกวงโคจรที่แน่นอนของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสได้ ตำแหน่งของอิเล็กตรอนเป็นเพียงความน่าจะเป็นที่จะพบอิเล็กตรอนในตำแหน่งหนึ่งๆ เท่านั้น

แนวคิดพื้นฐานของ quantum mechanics ที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์ของอิเล็กตรอนในอะตอม

1. สสารมีสมบัติของคลื่น จึงวิเคราะห์หาสมบัติต่างๆของอิเล็กตรอนโดยใช้ wave equation

2. อิเล็กตรอนมีขนาดเล็กเกินกว่าหาสมบัติได้โดยตรง จึงพิจารณาสมบัติต่างๆของอิเล็กตรอนได้แค่ระดับ โอกาสหรือความน่าจะเป็น (probability) จึงนิยมใช้คำว่า ความหนาแน่นอิเล็กตรอน (electron density) หรือ โอกาสที่จะพบอิเล็กตรอน ที่บริเวณต่างๆ

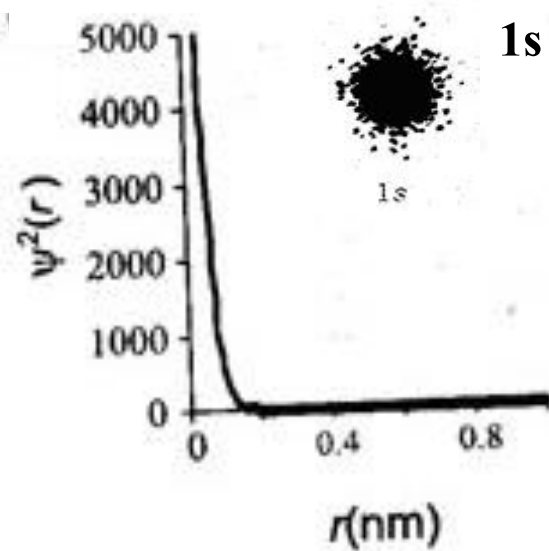
## 1.5 กลศาสตร์คลื่น (Wave mechanics )

ทฤษฎีที่ใช้อธิบายโครงสร้างอะตอมและสมบัติของอนุภาคภายในอะตอม ซึ่งมีรากฐานจากสมมติฐานของ Louis de Broglie

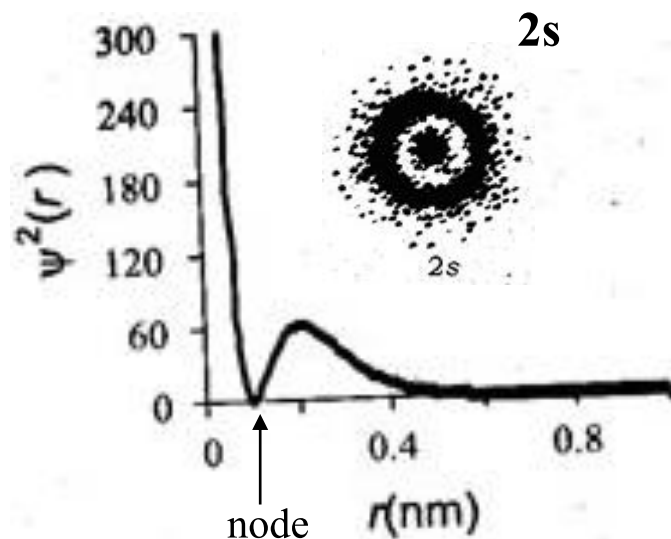
อิเล็กตรอนมีสมบัติเป็นคลื่นได้ การอธิบายปรากฏการณ์หรือพฤติกรรมต่างๆของอิเล็กตรอนจึงใช้สมการคลื่น (wave equation) ของ Schrödinger ซึ่งใช้ได้สำหรับ H atom และอะตอมบางอะตอมที่มีอิเล็กตรอนมากกว่า 1

เนื่องจากอิเล็กตรอนมีขนาดเล็กมาก จึงพิจารณาสมบัติต่างๆของอิเล็กตรอนได้จากความน่าจะเป็น หรือโอกาส (probability) เท่านั้น ในการแก้ปัญหาต่างๆจึงใช้คำว่า ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน (electron density) หรือ โอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนที่บริเวณต่างๆ

พิจารณาโอกาสการกระจาย (probability distribution) ของอิเล็กตรอนใน 1s orbital ของ H atom ซึ่งแทนด้วยกราฟระหว่าง  $\psi^2$  กับระยะทางจากนิวเคลียส (r)

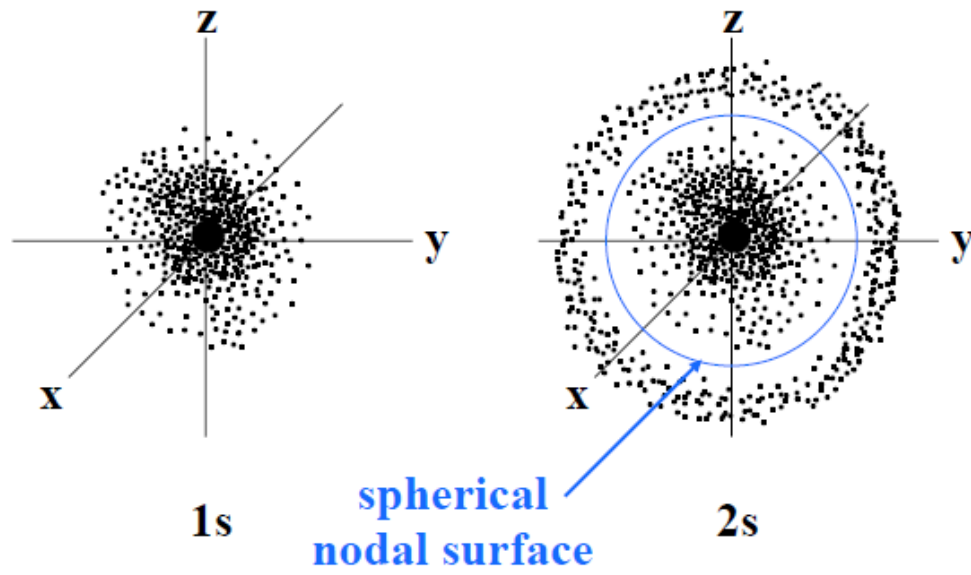


โอกาสที่พบใน 1s orbital มากที่สุดอยู่ที่ระยะ 0.05 nm จากนิวเคลียส ถ้าไกลกว่านี้โอกาสการพบอิเล็กตรอนจะน้อยลง และถ้า r มากกว่า 0.4 nm แล้ว โอกาสที่จะพบ 1s electron เกือบไม่มีเลย

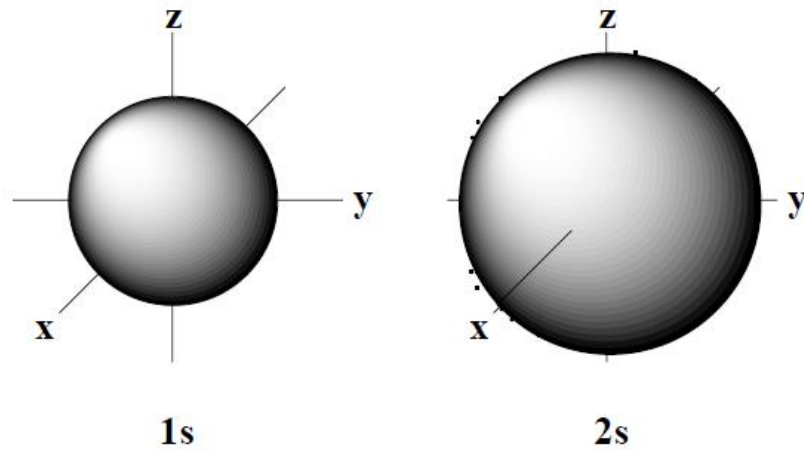
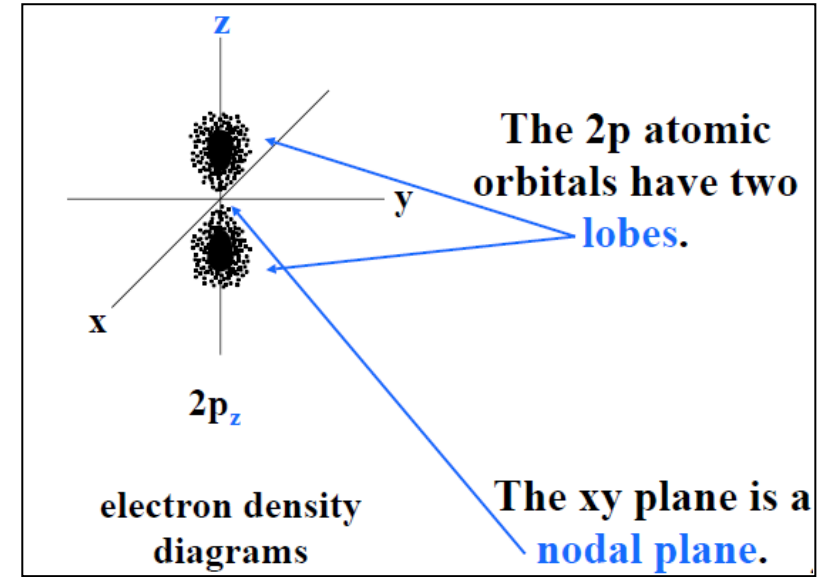


2s orbital ที่ตำแหน่งห่างจากนิวเคลียส ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนลดลงจนเป็นศูนย์แล้วเพิ่มขึ้นอีกครั้ง บริเวณที่ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนลดลงจนเป็นศูนย์เรียกว่า node

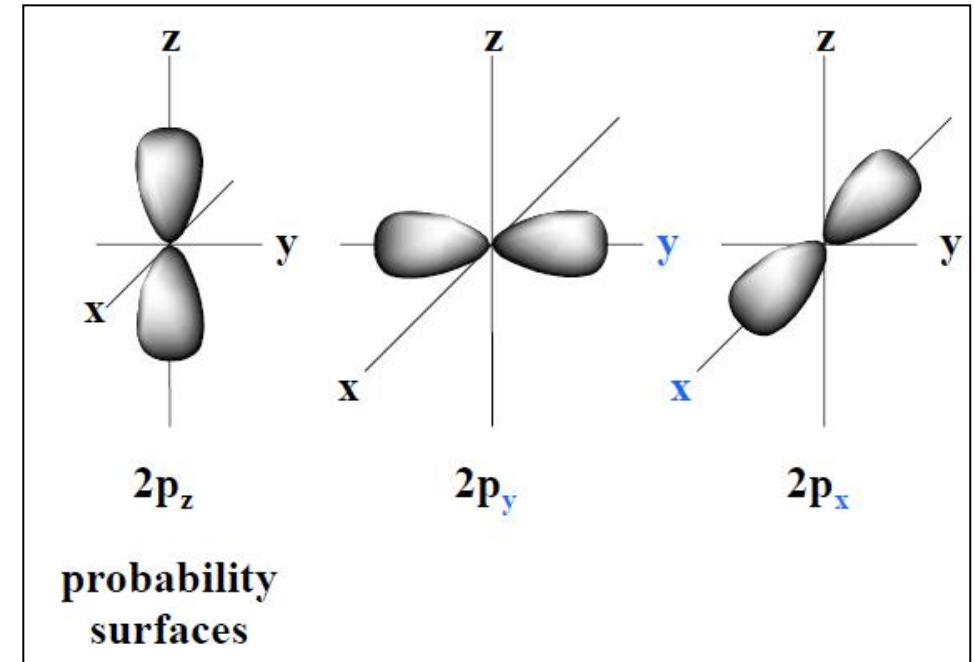
เขียนผิวของบริเวณที่มีโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอน จะได้ผิวเป็นรูปทรงกลม ดังนั้น s orbital มีรูปร่างเป็นทรงกลม (spherical)



electron density diagrams



probability surfaces



## 1.6 เลขควอนตัมต่างๆ

Electron configuration (โครงสร้างแบบอิเล็กตรอนในอะตอม)

หมายถึงการจัดเรียงอิเล็กตรอนในออร์บิทัลของอะตอม (atomic orbital)

ออร์บิทัลของอะตอมถูกกำหนดด้วยเลขควอนตัม 3 ชนิด

**1.  $n$  (the principle quantum number): เลขควอนตัมหลัก**

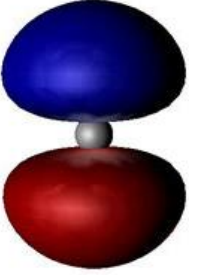
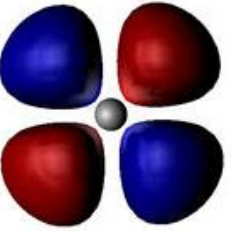
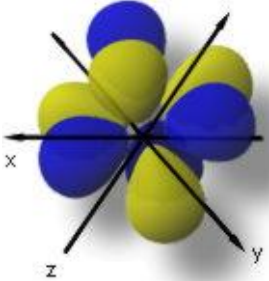
แสดงระดับพลังงานในอะตอมซึ่งถูกจัดเป็นระดับหลักหรือวง (shell)

|         |              |
|---------|--------------|
| $n = 1$ | K shell      |
| $n = 2$ | L shell      |
| $n = 3$ | M shell      |
| $n = 4$ | N shell      |
| $n = 5$ | O shell etc. |

## 2. $\ell$ (azimuthal quantum number หรือ the angular momentum quantum number) เลขควอนตัมโมเมนตัมเชิงมุม

$\ell$  แสดงวงโคจรย่อย (subshell หรือ sublevel) ซึ่งบอกถึงรูปร่างของออร์บิทัล

$\ell$  มีค่าตั้งแต่ 0, 1, 2, 3, ..., (n-1)

| $\ell$ | 0                                                                                 | 1                                                                                  | 2                                                                                   | 3                                                                                   |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|        | s (sharp)                                                                         | p (principle)                                                                      | d (diffuse)                                                                         | f (fundamental)                                                                     |
|        |  |  |  |  |

|       |                     |                                              |
|-------|---------------------|----------------------------------------------|
| n = 1 | $\ell = 0$          | K-shell มี 1 subshell คือ s orbital          |
| n = 2 | $\ell = 0, 1$       | L-shell มี 2 subshell คือ s, p orbital       |
| n = 3 | $\ell = 0, 1, 2$    | M-shell มี 3 subshell คือ s, p, d orbital    |
| n = 4 | $\ell = 0, 1, 2, 3$ | N-shell มี 4 subshell คือ s, p, d, f orbital |

### 3. $m_\ell$ (the magnetic quantum number) เลขควอนตัมแม่เหล็ก

$m_\ell$  แสดงการวางตัว (orientation) ของออร์บิทัล

จำนวนของออร์บิทัลในแต่ละชั้นย่อยถูกกำหนดโดยจำนวนค่าของ  $m_\ell$  ที่มีได้ และออร์บิทัลที่อยู่ในชั้นย่อยเดียวกัน มีระดับพลังงานเท่ากัน (degeneracy)

$$m_\ell = -\ell, \dots, 0, \dots, \ell$$

$n = 1, \quad \ell = 0 \quad m_\ell = 0$  ใน s subshell ประกอบด้วย 1 orbital

$n = 2, \quad \ell = 0 \quad m_\ell = 0$  ใน s subshell ประกอบด้วย 1 orbitals

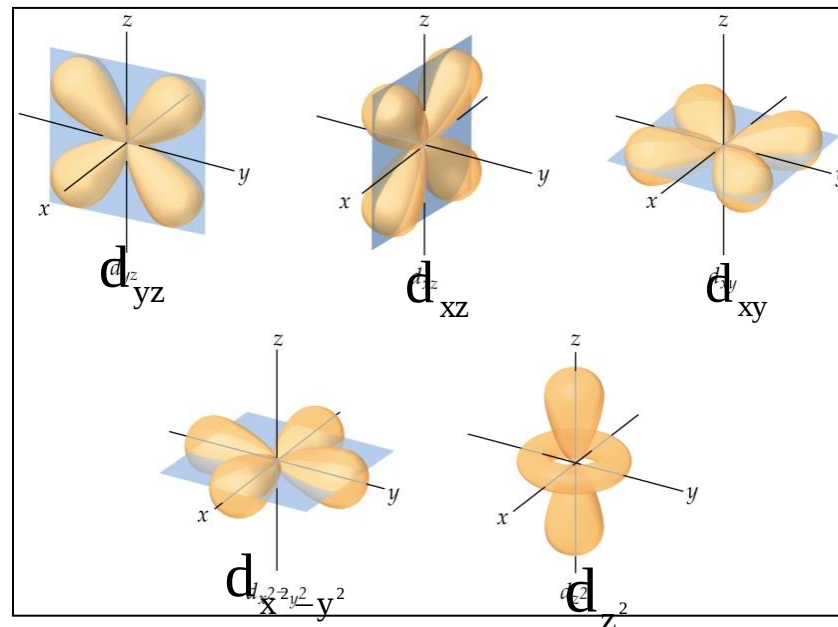
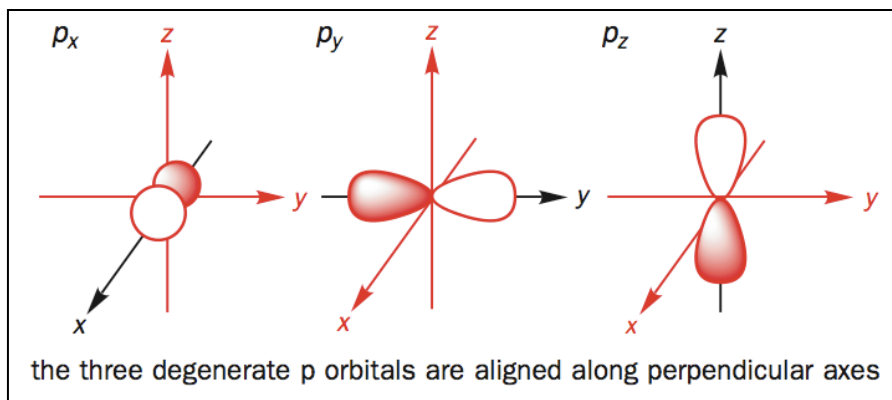
$\ell = 1 \quad m_\ell = -1, 0, 1$  ใน p subshell ประกอบด้วย 3 orbitals

$n = 3, \quad \ell = 0 \quad m_\ell = 0$  ใน s subshell ประกอบด้วย 1 orbital

$\ell = 1 \quad m_\ell = -1, 0, 1$  ใน p subshell ประกอบด้วย 3 orbitals

$\ell = 2 \quad m_\ell = -2, -1, 0, 1, 2$  ใน d subshell ประกอบด้วย 5 orbitals

| $\ell$ | $m_\ell$                      | จำนวน<br>degeneracy | จำนวน<br>ออร์บิทัล | ชนิดออร์บิทัล                                  |
|--------|-------------------------------|---------------------|--------------------|------------------------------------------------|
| 0 (s)  | 0                             | 1                   | 1                  | s                                              |
| 1 (p)  | -1, 0, 1                      | 3                   | 3                  | $p_x, p_y, p_z$                                |
| 2 (d)  | -2, -1, 0, 1, 2               | 5                   | 5                  | $d_{x^2-y^2}, d_{z^2}, d_{xy}, d_{yz}, d_{xz}$ |
| 3 (f)  | -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3        | 7                   | 7                  |                                                |
| 4 (g)  | -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4 | 9                   | 9                  |                                                |



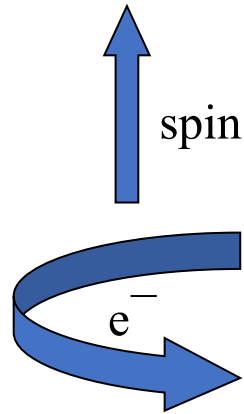
## สรุปค่าต่างๆของเลขควอนตัม

| $n$ | shell | Allowed values of $l$ | subshell | Allowed values of $m_l$ | Number of orbital | Number of electron |
|-----|-------|-----------------------|----------|-------------------------|-------------------|--------------------|
| 1   | K     | 0                     | 1s       | 0                       | 1                 | 2 e <sup>-</sup>   |
| 2   | L     | 0                     | 2s       | 0                       | 1                 | 2 e <sup>-</sup>   |
|     |       | 1                     | 2p       | -1,0,1                  | 3                 | 6 e <sup>-</sup>   |
| 3   | M     | 0                     | 3s       | 0                       | 1                 | 2 e <sup>-</sup>   |
|     |       | 1                     | 3p       | -1,0,1                  | 3                 | 6 e <sup>-</sup>   |
|     |       | 2                     | 3d       | -2, -1,0,1,2            | 5                 | 10 e <sup>-</sup>  |
| 4   | N     | 0                     | 4s       | 0                       | 1                 | 2 e <sup>-</sup>   |
|     |       | 1                     | 4p       | -1,0,1                  | 3                 | 6 e <sup>-</sup>   |
|     |       | 2                     | 4d       | -2, -1,0,1,2            | 5                 | 10 e <sup>-</sup>  |
|     |       | 3                     | 4f       | -3, -2, -1,0,1,2,3      | 7                 | 14 e <sup>-</sup>  |

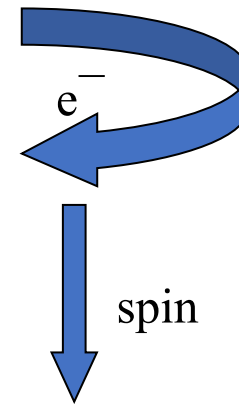
## $m_s$ (spin quantum number) เลขควอนตัมสปิน

เกิดจากอิเล็กตรอนมีการหมุนรอบตัวเอง ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กอ่อนๆขึ้น ซึ่งอิเล็กตรอนเกิดการสปินได้ 2 ทิศทาง

$m_s$  จึงมี 2 ค่า คือ  $+1/2$  (spin up) และ  $-1/2$  (spin down)



$$m_s = +1/2 \text{ (spin up)}$$



$$m_s = -1/2 \text{ (spin down)}$$

| orbital | n | $\ell$ | $m_\ell$  |
|---------|---|--------|-----------|
| 1s      | 1 | 0      | 0         |
| 2s      | 2 | 0      | 0         |
| 2p      | 2 | 1      | -1, 0, +1 |
| 3s      | 3 | 0      | 0         |

การจัดเลขควอนตัมแบบใดที่เป็นไปไม่ได้ เพราะเหตุใด

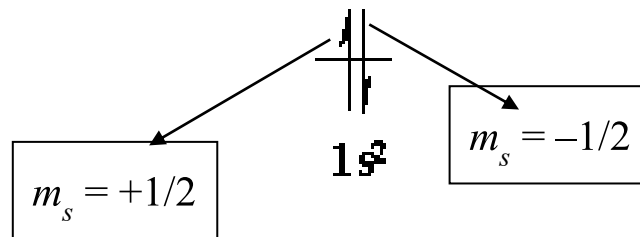
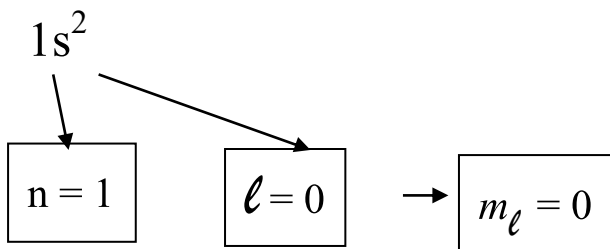
|   | n | $\ell$ | $m_\ell$ | $m_s$ |
|---|---|--------|----------|-------|
| ก | 3 | 2      | -1       | 1/2   |
| ข | 2 | 3      | -1       | 1/2   |
| ค | 3 | 2      | -3       | 1/2   |
| ง | 4 | 1      | 1        | 3/2   |
| จ | 4 | 5      | 3        | -1/2  |

## 1.7 การจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุในตารางธาตุ

การจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็นไปตามกฎดังนี้

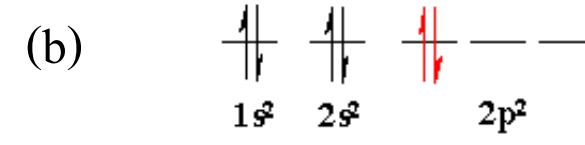
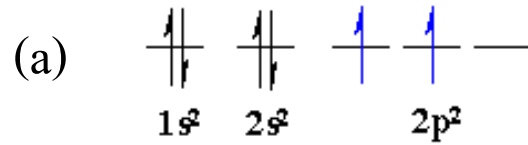
### 1. Pauli exclusion principle (หลักการกีดกันของเพาลี)

“อิเล็กตรอนคู่ใดๆในอะตอมจะมีค่า  $n$ ,  $\ell$ ,  $m_\ell$  และ  $m_s$  เหมือนกันทั้ง 4 ค่าไม่ได้” แต่จะมีเหมือนกันได้มากที่สุด 3 ค่า โดยที่อิเล็กตรอนคู่นี้ต้องมีสปินในทิศทางตรงกันข้าม



## 2. Hund's rule

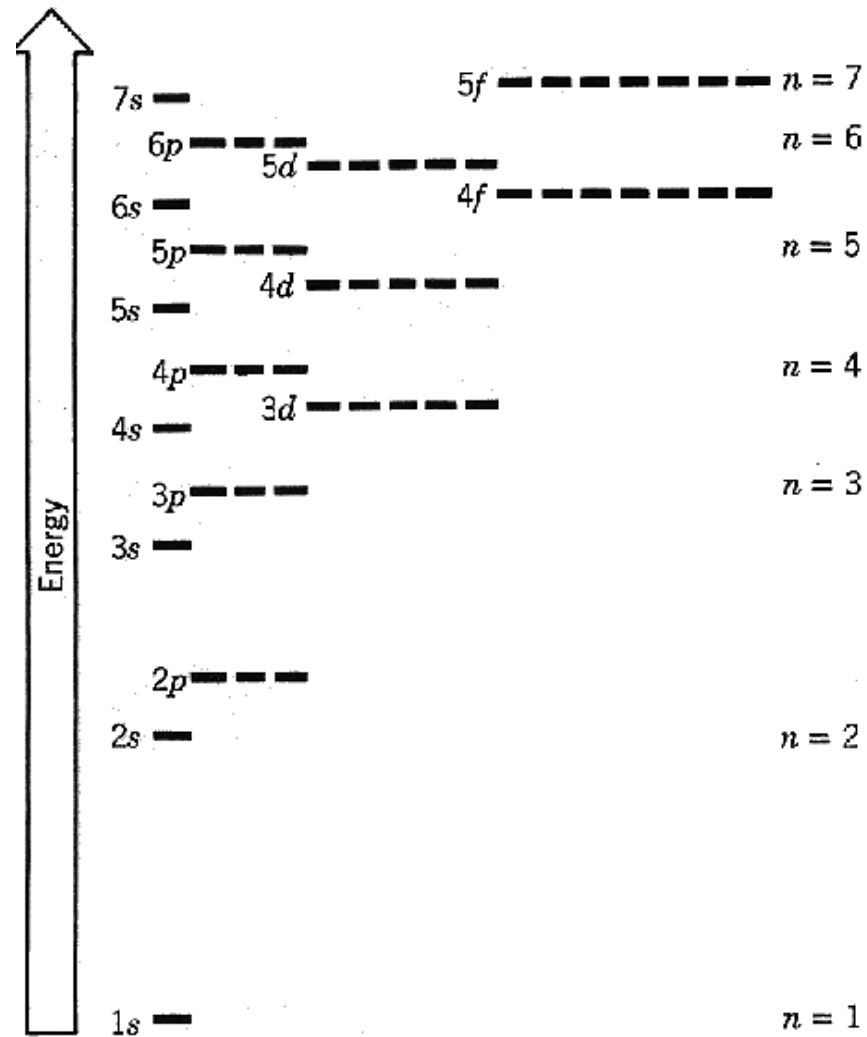
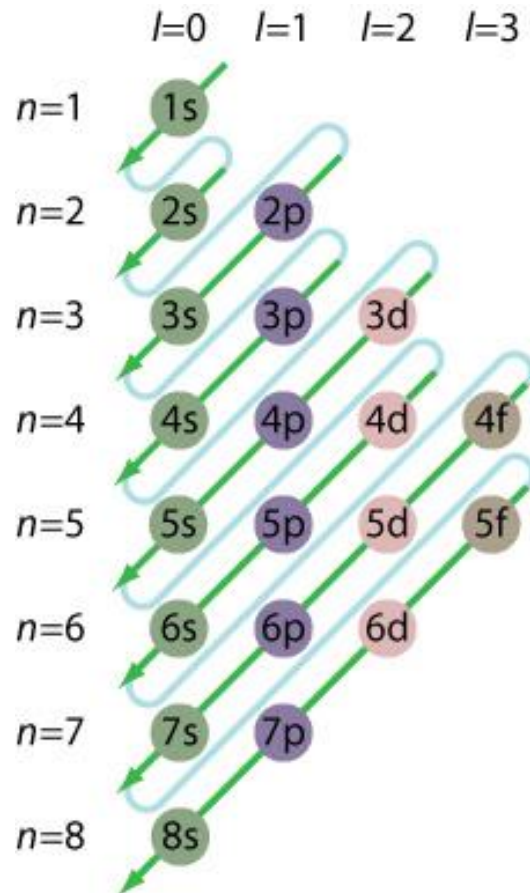
“การเติมอิเล็กตรอนในออร์บิทัลที่มีพลังงานเท่ากัน ให้เติมอิเล็กตรอนเดี่ยวๆ ให้เต็มออร์บิทัลก่อน แล้วจึงเติมอิเล็กตรอนให้เข้าคู่กัน”



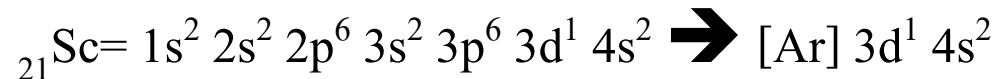
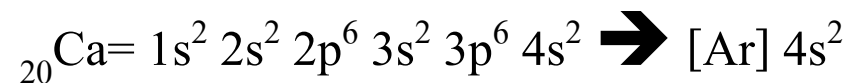
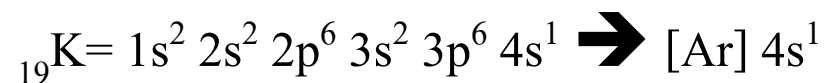
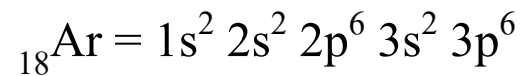
| Number of<br>Electrons | Arrangement                                                            | Unpaired $e^-$ |              |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|
| 1                      | $\uparrow \quad \_ \quad \_$                                           | 1              | paramagnetic |
| 2                      | $\uparrow \quad \uparrow \quad \_$                                     | 2              |              |
| 3                      | $\uparrow \quad \uparrow \quad \uparrow$                               | 3              |              |
| 4                      | $\uparrow\downarrow \quad \uparrow \quad \uparrow$                     | 2              |              |
| 5                      | $\uparrow\downarrow \quad \uparrow\downarrow \quad \uparrow$           | 1              |              |
| 6                      | $\uparrow\downarrow \quad \uparrow\downarrow \quad \uparrow\downarrow$ | 0              | diamagnetic  |

### 3. Aufbau (Building up principle)

ต้องเติมอิเล็กตรอนในระดับพลังงานต่ำกว่าให้เต็มก่อน แล้วจึงเติมในออร์บิทัลที่พลังงานสูงขึ้น



|           |                    |                  |                         | K | L | M | N | អង្គ | 1s                   | 2s                   | 2p                                                       |
|-----------|--------------------|------------------|-------------------------|---|---|---|---|------|----------------------|----------------------|----------------------------------------------------------|
| hydrogen  | ${}_1\text{H}$     | $1s^1$           |                         | 1 |   |   |   | 1    | $\uparrow$           |                      |                                                          |
| helium    | ${}_2\text{He}$    | $1s^2$           |                         | 2 |   |   |   |      | $\uparrow\downarrow$ |                      |                                                          |
| lithium   | ${}_3\text{Li}$    | $1s^2 2s^1$      | $[\text{He}] 2s^1$      | 2 | 1 |   |   | 1    | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow$           |                                                          |
| beryllium | ${}_4\text{Be}$    | $1s^2 2s^2$      | $[\text{He}] 2s^2$      | 2 | 2 |   |   | 2    | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ |                                                          |
| boron     | ${}_5\text{B}$     | $1s^2 2s^2 2p^1$ | $[\text{He}] 2s^2 2p^1$ | 2 | 3 |   |   | 3    | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow$                                               |
| carbon    | ${}_6\text{C}$     | $1s^2 2s^2 2p^2$ | $[\text{He}] 2s^2 2p^2$ | 2 | 4 |   |   | 4    | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\uparrow$                                       |
| nitrogen  | ${}_7\text{N}$     | $1s^2 2s^2 2p^3$ | $[\text{He}] 2s^2 2p^3$ | 2 | 5 |   |   | 5    | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\uparrow\uparrow$                               |
| oxygen    | ${}_8\text{O}$     | $1s^2 2s^2 2p^4$ | $[\text{He}] 2s^2 2p^4$ | 2 | 6 |   |   | 6    | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow\uparrow\uparrow$                     |
| fluorine  | ${}_9\text{F}$     | $1s^2 2s^2 2p^5$ | $[\text{He}] 2s^2 2p^5$ | 2 | 7 |   |   | 7    | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow$           |
| neon      | ${}_{10}\text{Ne}$ | $1s^2 2s^2 2p^6$ | $[\text{He}] 2s^2 2p^6$ | 2 | 8 |   |   | 8    | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow$ |



|                                                                             |                                          |                                     |                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| $_{21}\text{Sc} = [\text{Ar}] 3d^1 4s^2$                                    | $\text{Sc}^+ = [\text{Ar}] 3d^1 4s^1$    | $\text{Sc}^{2+} = [\text{Ar}] 3d^1$ | $\text{Sc}^{3+} = [\text{Ar}]$      |
| $_{22}\text{Ti} = [\text{Ar}] 3d^2 4s^2$                                    | $\text{Ti}^{1+} = [\text{Ar}] 3d^2 4s^1$ | $\text{Ti}^{2+} = [\text{Ar}] 3d^2$ | $\text{Ti}^{3+} = [\text{Ar}] 3d^1$ |
| <b><math>_{24}\text{Cr} = [\text{Ar}] 3d^5 4s^1</math> (half filled)</b>    | $\text{Cr}^{1+} = [\text{Ar}] 3d^5$      | $\text{Cr}^{2+} = [\text{Ar}] 3d^4$ | $\text{Cr}^{3+} = [\text{Ar}] 3d^3$ |
| $_{26}\text{Fe} = [\text{Ar}] 3d^6 4s^2$                                    | $\text{Fe}^{1+} = [\text{Ar}] 3d^6 4s^1$ | $\text{Fe}^{2+} = [\text{Ar}] 3d^6$ | $\text{Fe}^{3+} = [\text{Ar}] 3d^5$ |
| <b><math>_{29}\text{Cu} = [\text{Ar}] 3d^{10} 4s^1</math> (full filled)</b> | $\text{Cu}^{1+} = [\text{Ar}] 3d^{10}$   | $\text{Cu}^{2+} = [\text{Ar}] 3d^9$ |                                     |

การจัดเรียงอิเล็กตรอนแบบ half filled และ full filled เป็นการจัดเรียงที่เสถียรเพราะมีพลังงานต่ำ

เมื่ออะตอมถูกเร่ง อิเล็กตรอนที่มีเลขควอนตัมสูงสุดมักได้รับพลังงาน ทำให้อิเล็กตรอนนั้นมีพลังงานสูงขึ้น เช่น

$1s^2 2s^1$  สถานะพื้น

$1s^2 2s^2 2p^1$  สถานะพื้น

$1s^2 2s^1 2p^2$  สถานะเร้า อิเล็กตรอนจาก 2s ไปยัง 2p

$1s^2 2s^2 2p^4 3s^1$  สถานะ \_\_\_\_\_

$1s^2 2s^2 2p^2$  สถานะ \_\_\_\_\_

## แบบฝึกหัด

1. จะต้องให้พลังงานกับอะตอมไฮโดรเจนเท่าใด (หน่วย J) เพื่อกระตุ้นอิเล็กตรอนจากวงโคจร 3 ไปสู่วงโคจรที่ 5 โดยใช้แบบจำลองของ Bohr
2. วัสดุชนิดใดใช้เป็นวัสดุกำบังอนุภาคเบต้า
3. ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนระดับใดที่มีค่าพลังงานมากที่สุด
4. อิเล็กตรอนของไฮโดรเจนต้องใช้พลังงานเท่าใดเพื่อให้อิเล็กตรอนจากวงโคจรหนึ่งไปสู่วงโคจรที่
5. s orbital มีรูปร่างอย่างไร เพราะเหตุใดจึงมีรูปร่างเช่นนั้น
6. จงเขียนการจัดเรียงอิเล็กตรอนของอะตอมและไอออนต่อไปนี้  
 $\text{Cs}, \text{Ca}, \text{Ba}^{2+}, \text{Fe}, \text{Cu}^{2+}$
7. จงระบุค่า  $n, \ell, m_\ell$  ของ 5d orbital