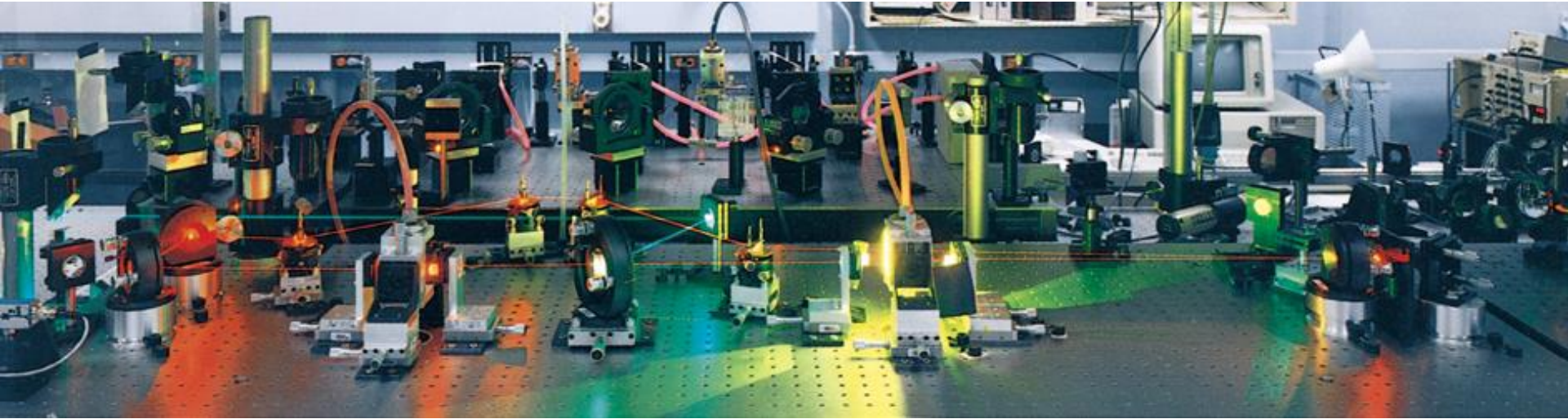
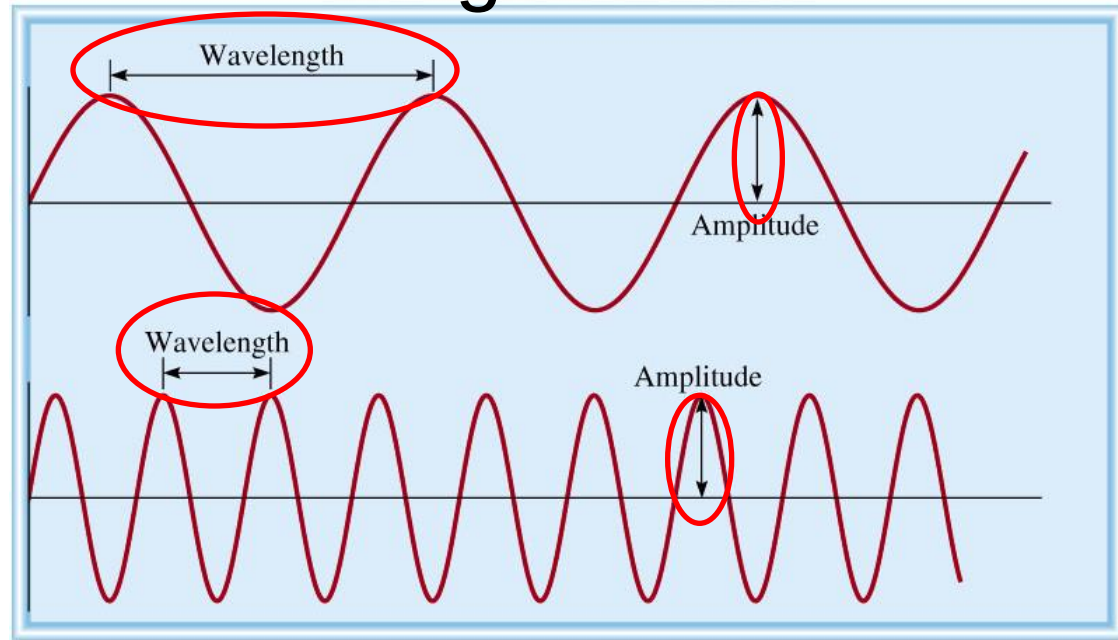
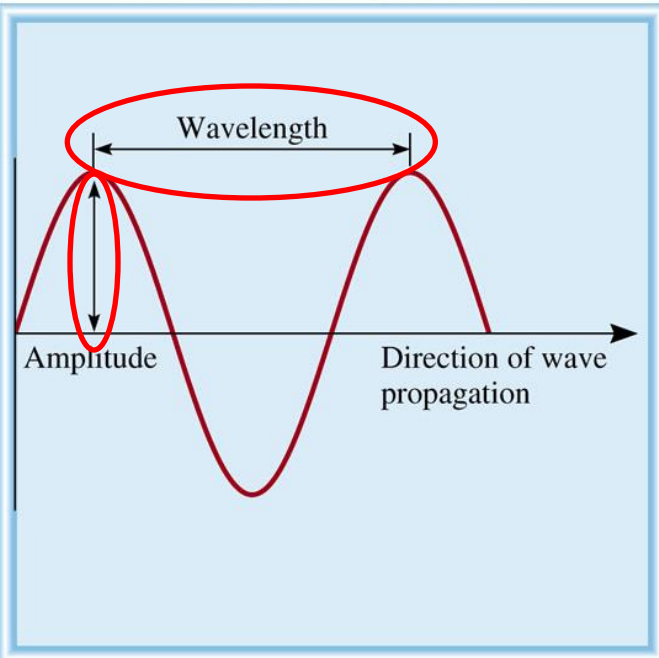




Teori Kuantum dan Struktur Elektronik Atom

Bab 7

Sifat Gelombang



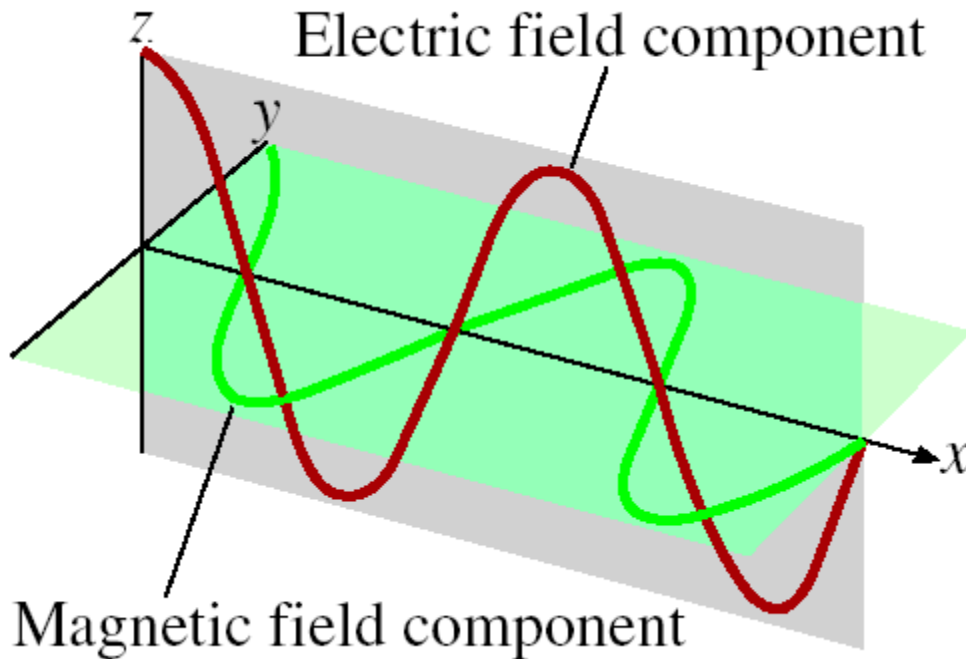
Panjang gelombang (λ) adalah jarak antara dua titik dengan fase yang sama pada suatu gelombang.

Amplitudo adalah jarak vertikal antara garis tengah gelombang dengan puncak gelombang.

Frekuensi (ν) adalah jumlah gelombang yang melewati satu titik tertentu setiap detik (Hz = 1 siklus/detik).

$$\text{Kecepatan gelombang } (u) = \lambda \times \nu$$

Maxwell (1873), mengusulkan bahwa **Cahaya tampak** terdiri dari gelombang elektromagnetik.

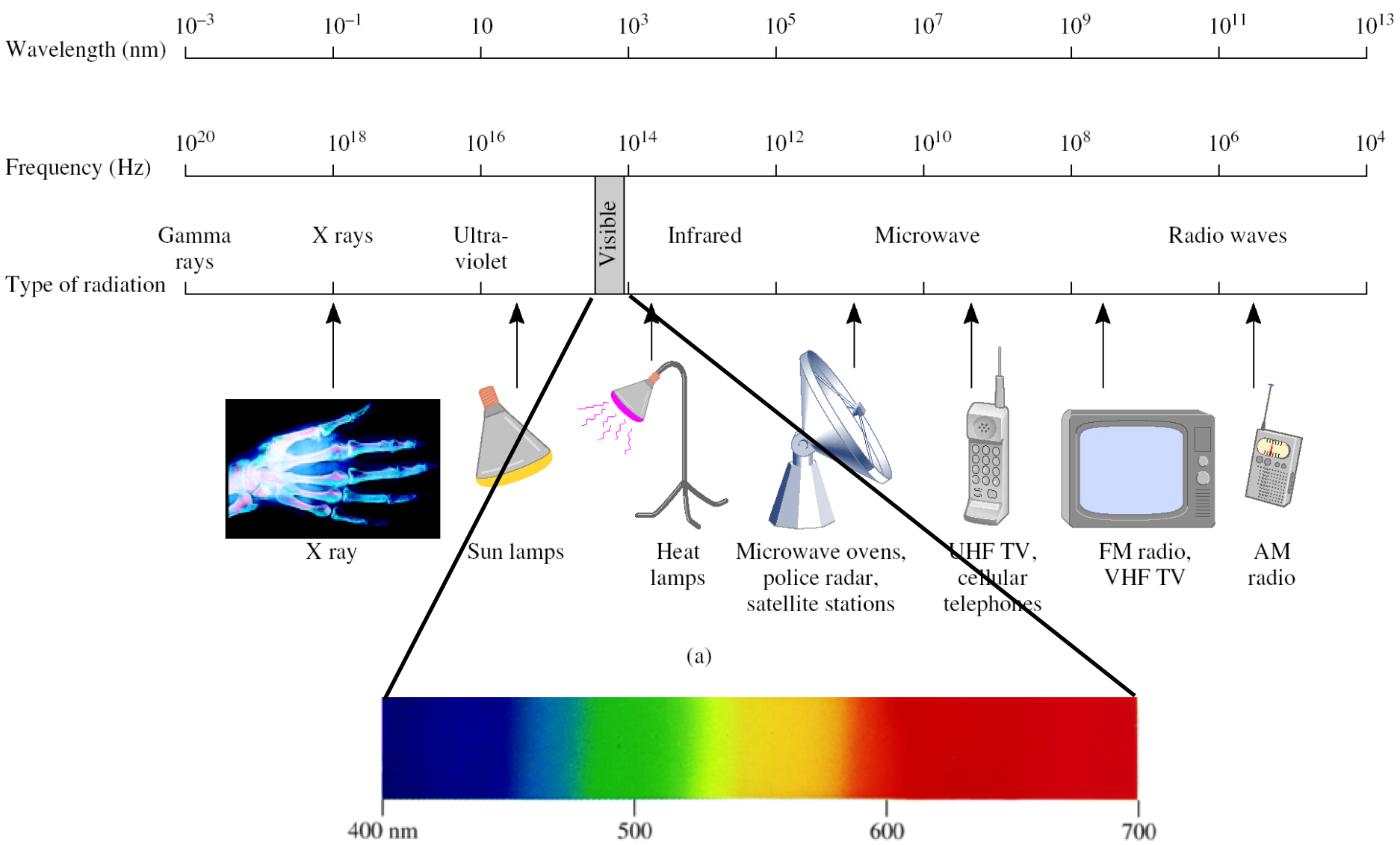


Radiasi Elektromagnetik adalah emisi dan transmisi energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik.

Kecepatan Cahaya (c) dalam vakum = $3,00 \times 10^8$ m/s

Semua radiasi elektromagnetik

$$\lambda \times \nu = c$$



Suatu foton memiliki frekuensi $6,0 \times 10^4$ Hz. Ubahlah frekuensi ini menjadi panjang gelombang (nm). Apakah frekuensi tersebut berada pada daerah sinar tampak?

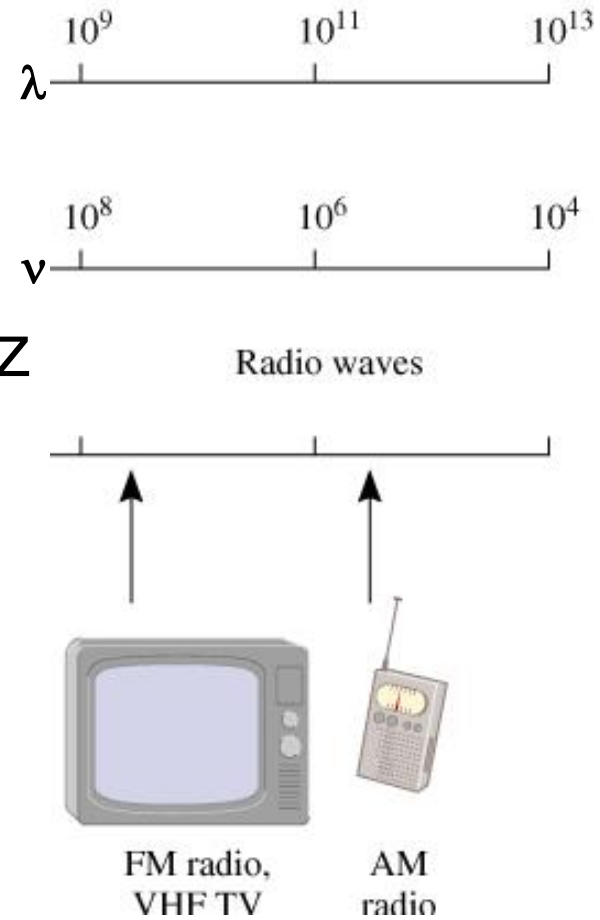
$$\lambda \times \nu = c$$

$$\lambda = c/\nu$$

$$\lambda = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s} / 6,0 \times 10^4 \text{ Hz}$$

$$\lambda = 5,0 \times 10^3 \text{ m}$$

$$\lambda = 5,0 \times 10^{12} \text{ nm}$$



Mystery #1, “Masalah Padatan yang Dipanaskan” Dipecahkan oleh Planck pada tahun 1900

Ketika benda padat dipanaskan, benda tersebut memancarkan radiasi elektromagnetik pada rentang panjang gelombang yang luas.

Energi radiasi yang dipancarkan pada suhu tertentu tergantung pada panjang gelombangnya.

Energi (cahaya) dipancarkan atau diserap bersifat diskrit (kuantum).

$$E = h \times \nu$$

Planck's constant (h)

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

Mystery #2, “Efek Fotoelektrik”

Diselesaikan oleh Einstein tahun 1905

Cahaya memiliki:

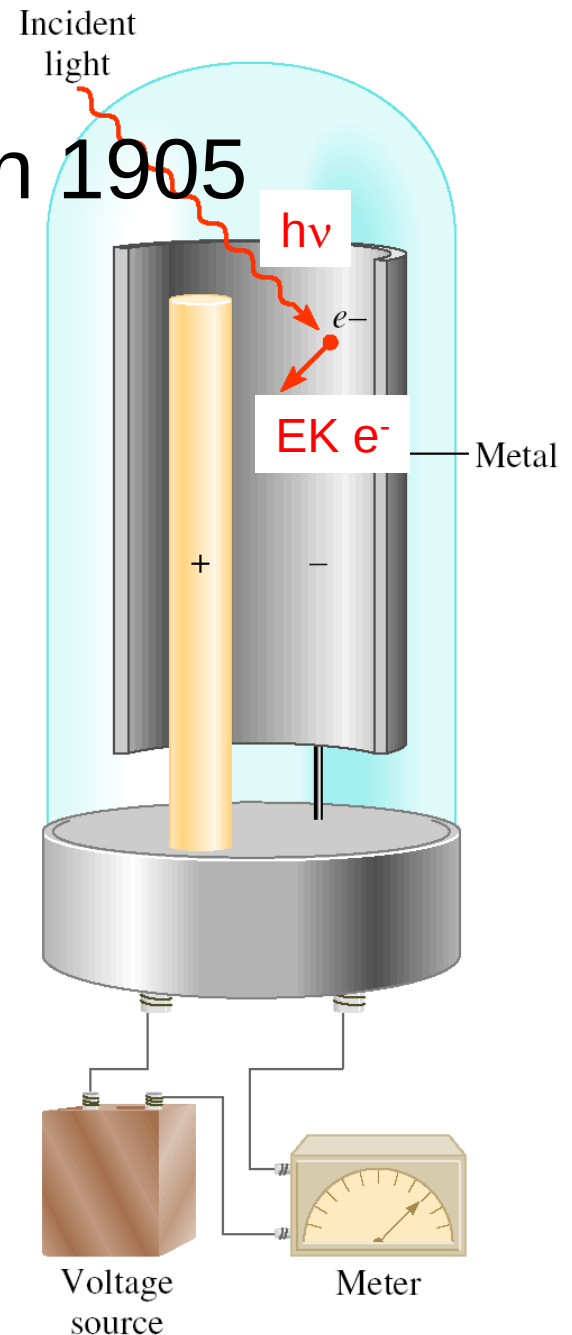
1. Sifat gelombang
2. Sifat partikel

Foton adalah ‘partikel’ cahaya

$$h\nu = EK + W$$

$$EK = h\nu - W$$

dimana W adalah fungsi kerja dan tergantung seberapa kuat elektronnya ditahan di dalam logam



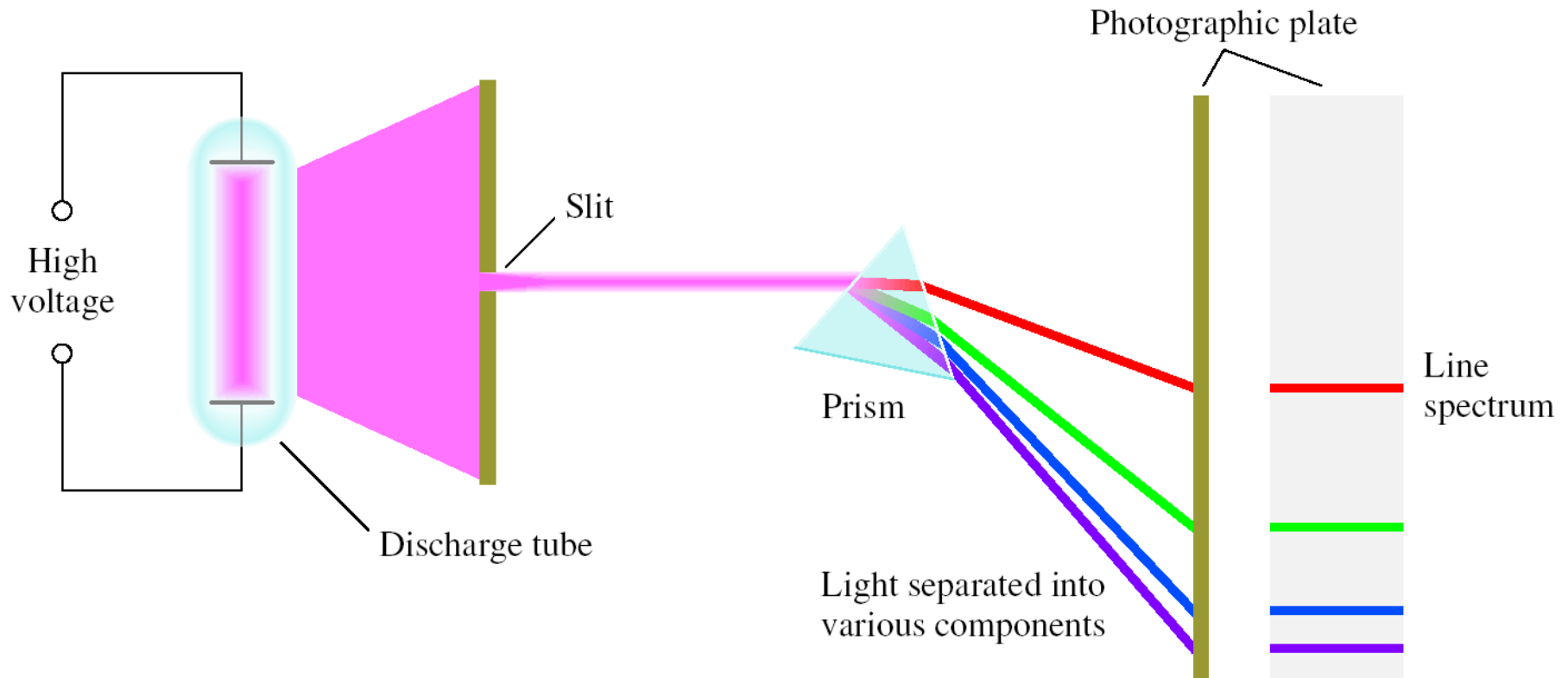
Ketika tembaga dibombardir dengan elektron berenergi tinggi, sinar X akan dipancarkan. Hitung energi (dalam joule) yang terkait dengan foton jika panjang gelombang sinar X adalah 0,154 nm.

$$E = h \times \nu$$

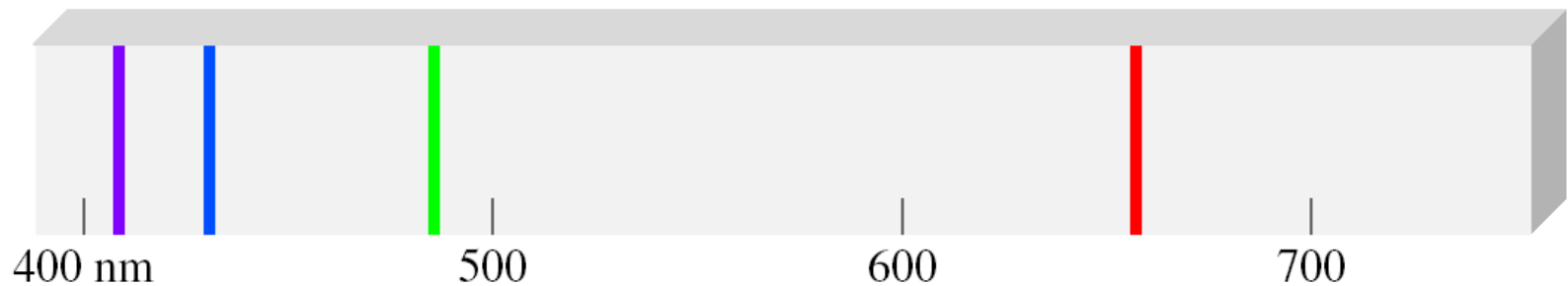
$$E = h \times c / \lambda$$

$$E = 6,63 \times 10^{-34} \text{ (J}\cdot\cancel{s}) \times 3,00 \times 10^8 \text{ (}\cancel{m}/\cancel{s}) / 0,154 \times 10^{-9} \text{ (}\cancel{m})$$

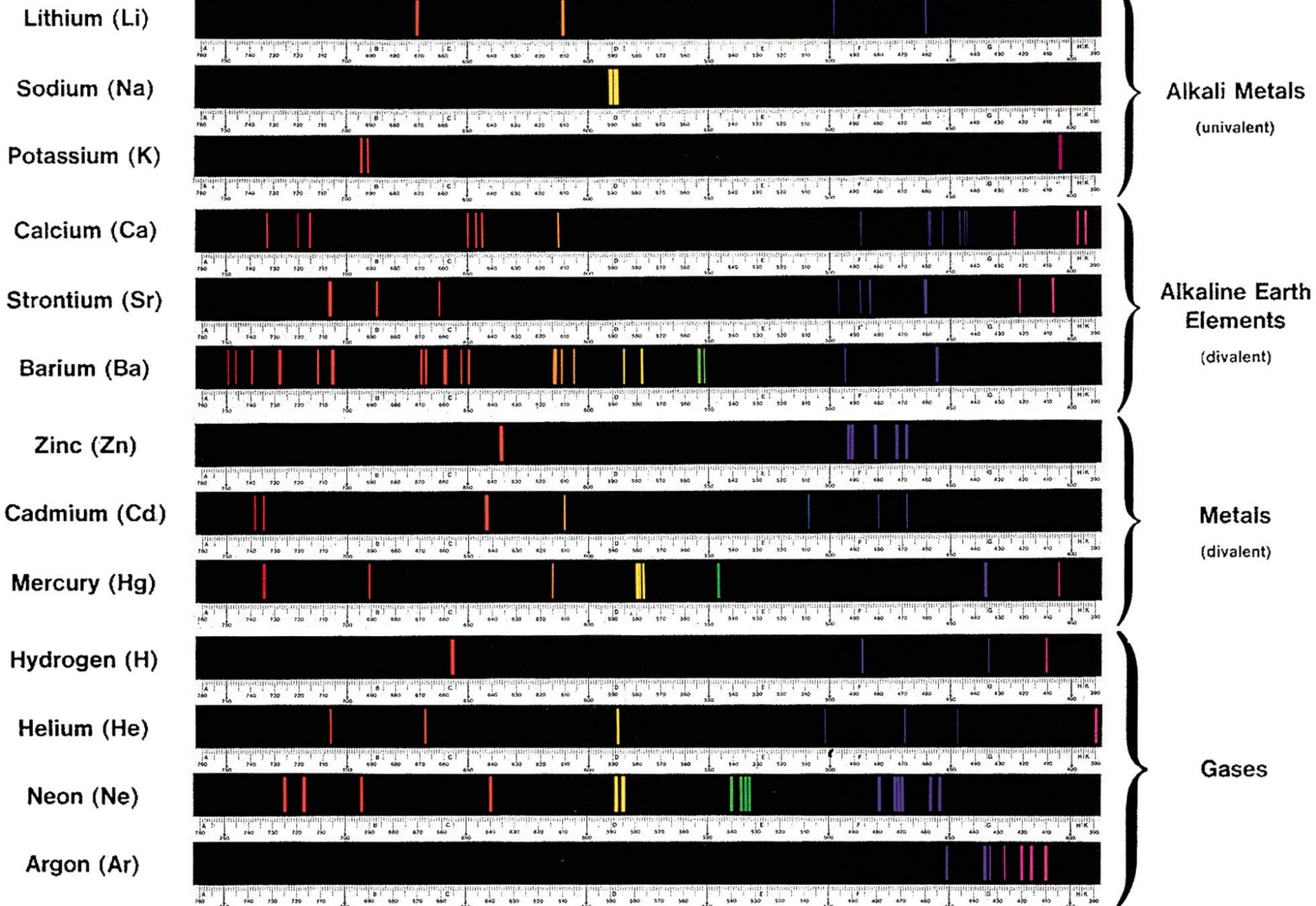
$$E = 1,29 \times 10^{-15} \text{ J}$$



Spektrum Emisi Garis Atom Hidrogen



Bright-line Spectra



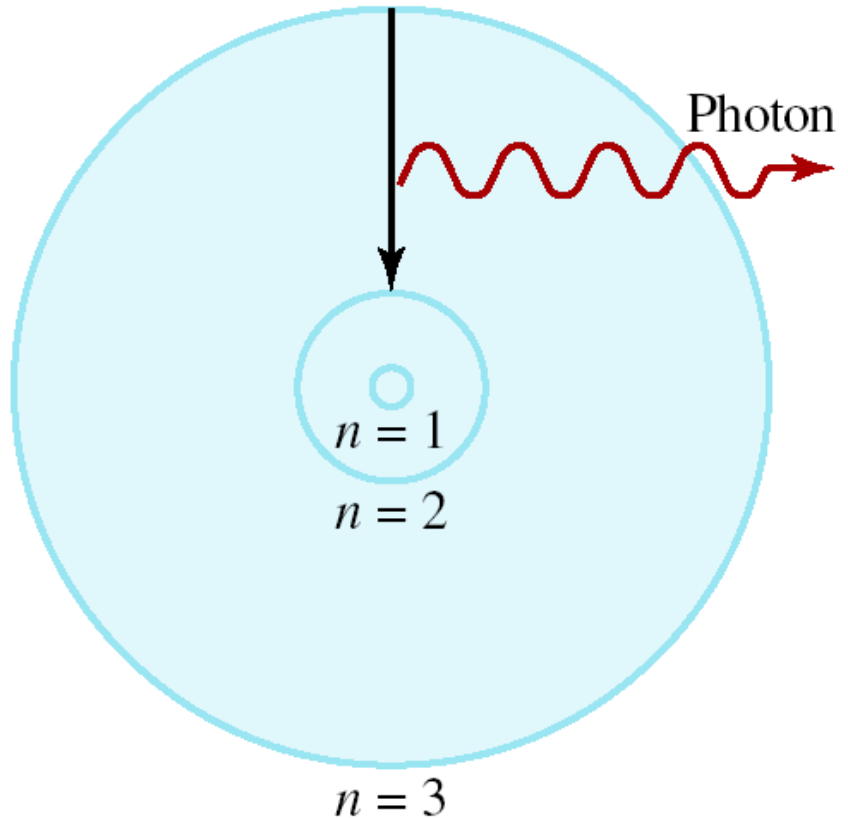
Model Atom Bohr (1913)

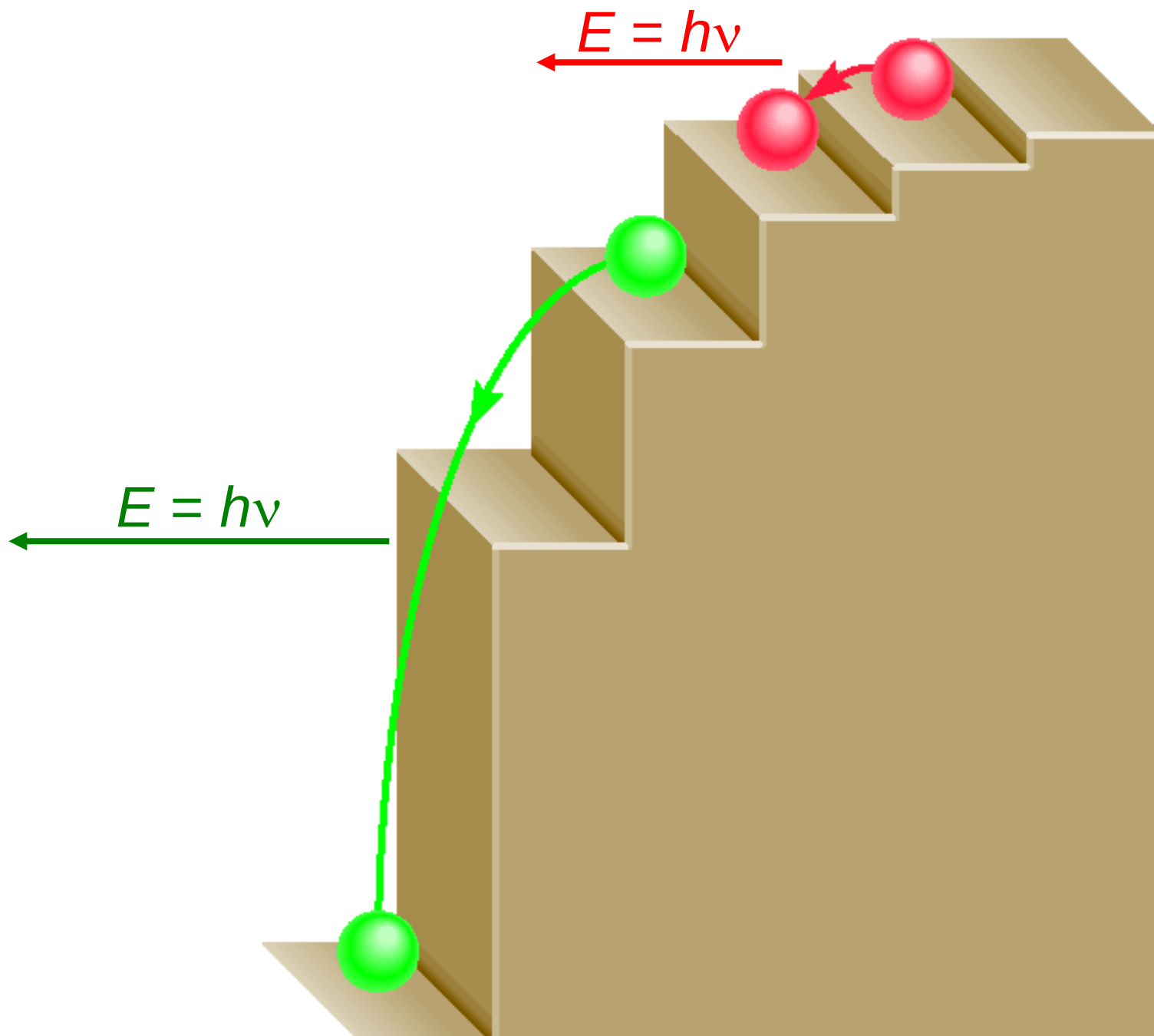
1. e- hanya dapat memiliki nilai energi tertentu (terkuantisasi).
2. Cahaya dipancarkan saat e- bergerak dari satu tingkat energi ke tingkat energi yang lebih rendah

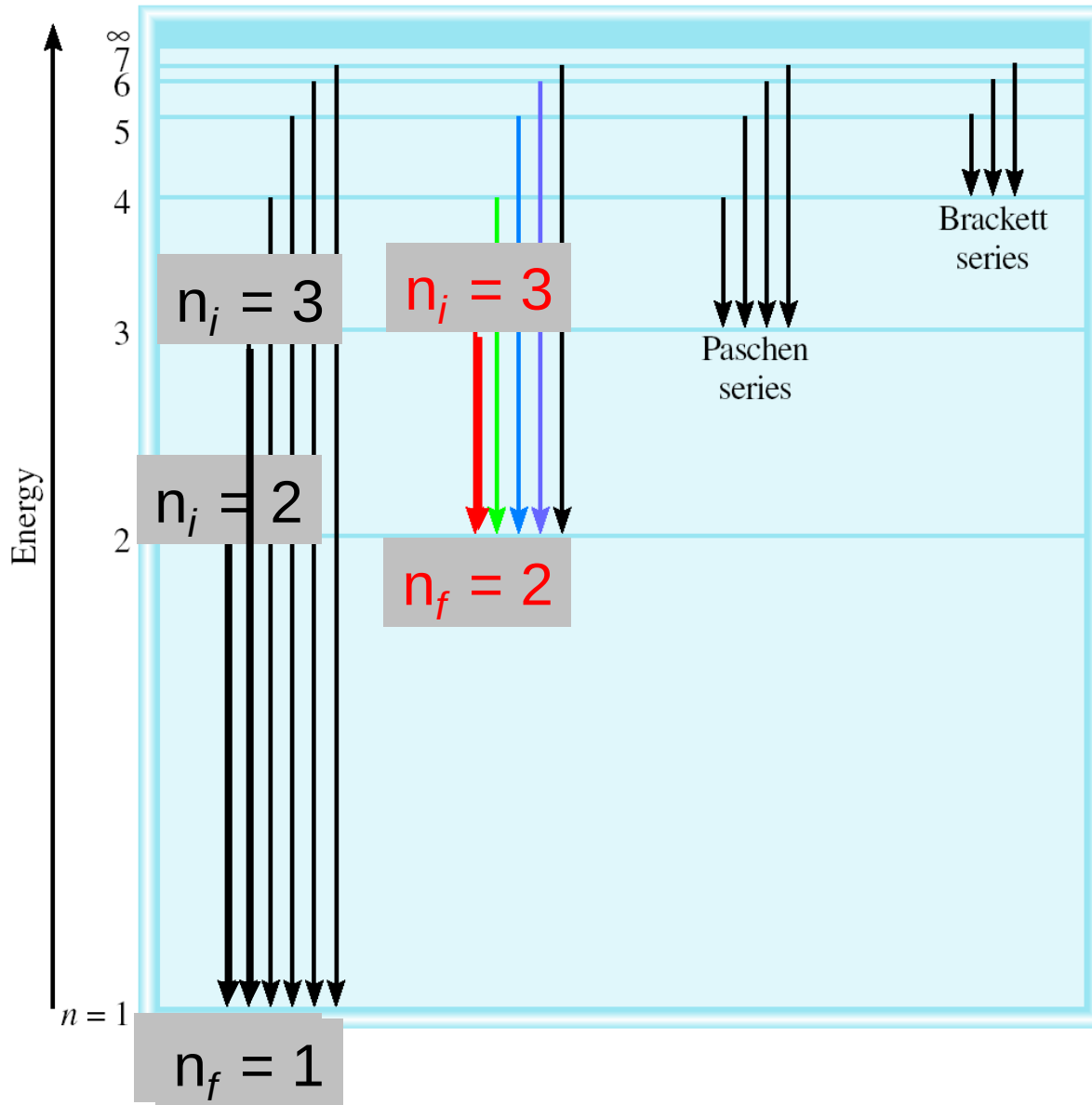
$$E_n = -R_H \left(\frac{1}{n^2} \right)$$

n (bilangan kuantum utama) = 1,2,3,...

R_H (konstanta Rydberg) = $2,18 \times 10^{-18} \text{J}$







$$E_{\text{photon}} = \Delta E = E_f - E_i$$

$$E_f = -R_H \left(\frac{1}{n_f^2} \right)$$

$$E_i = -R_H \left(\frac{1}{n_i^2} \right)$$

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

TABLE 7.1 The Various Series in Atomic Hydrogen Emission Spectrum

Series	n_f	n_i	Spectrum Region
Lyman	1	2, 3, 4, . . .	Ultraviolet
Balmer	2	3, 4, 5, . . .	Visible and ultraviolet
Paschen	3	4, 5, 6, . . .	Infrared
Brackett	4	5, 6, 7, . . .	Infrared

Hitung panjang gelombang (dalam nm) foton yang dipancarkan oleh atom hidrogen ketika elektronnya turun dari keadaan $n = 5$ ke keadaan $n = 3$.

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

$$E_{\text{photon}} = 2,18 \times 10^{-18} \text{ J} \times (1/25 - 1/9)$$

$$E_{\text{photon}} = \Delta E = -1,55 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_{\text{photon}} = h \times c / \lambda$$

$$\lambda = h \times c / E_{\text{photon}}$$

$$\lambda = 6,63 \times 10^{-34} \text{ (J}\cdot\text{s)} \times 3,00 \times 10^8 \text{ (m/s)} / 1,55 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\lambda = 1280 \text{ nm}$$

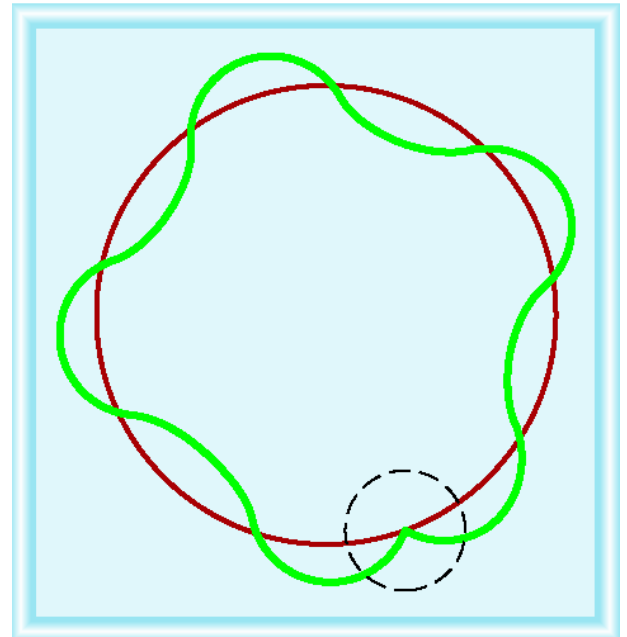
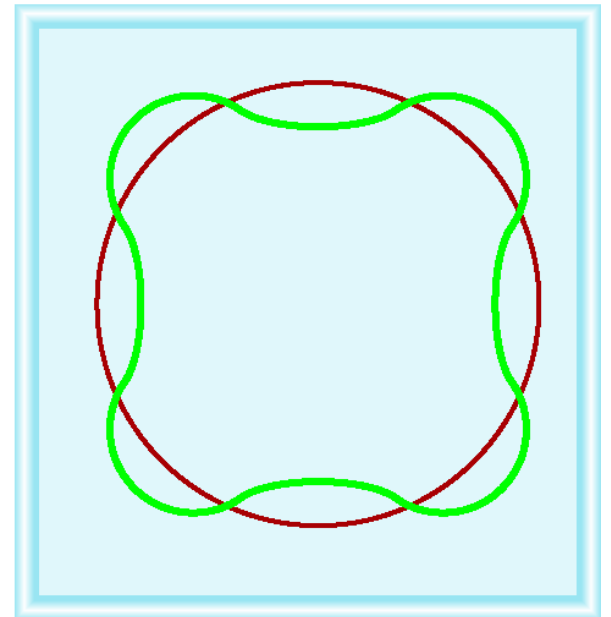
Mengapa energi elektron terkuantisasi?

de Broglie (1924)
beralasan bahwa e- adalah partikel dan gelombang.

$$2\pi r = n\lambda \quad \lambda = \frac{h}{mu}$$

u = velocity of e-

m = mass of e-



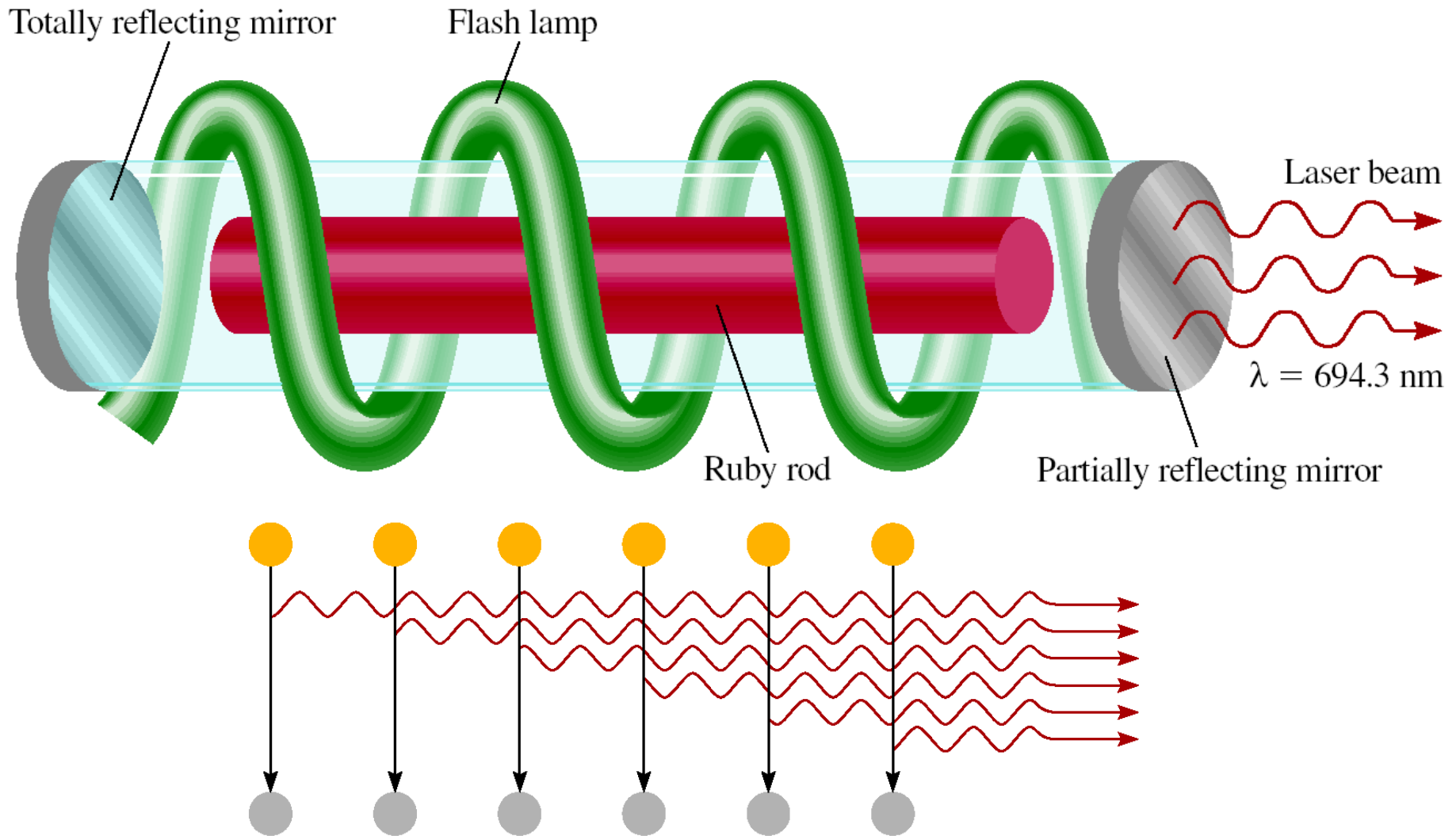
Berapa panjang gelombang de Broglie (dalam nm) yang terkait dengan bola Ping-Pong bermassa 2,5 g dan bergerak dengan kecepatan 15,6 m/s?

$$\lambda = h/mu \quad h \text{ in J}\cdot\text{s} \quad m \text{ in kg} \quad u \text{ in (m/s)}$$

$$\lambda = 6,63 \times 10^{-34} / (2,5 \times 10^{-3} \times 15,6)$$

$$\lambda = 1,7 \times 10^{-32} \text{ m} = 1,7 \times 10^{-23} \text{ nm}$$

Chemistry in Action: Laser – The Splendid Light

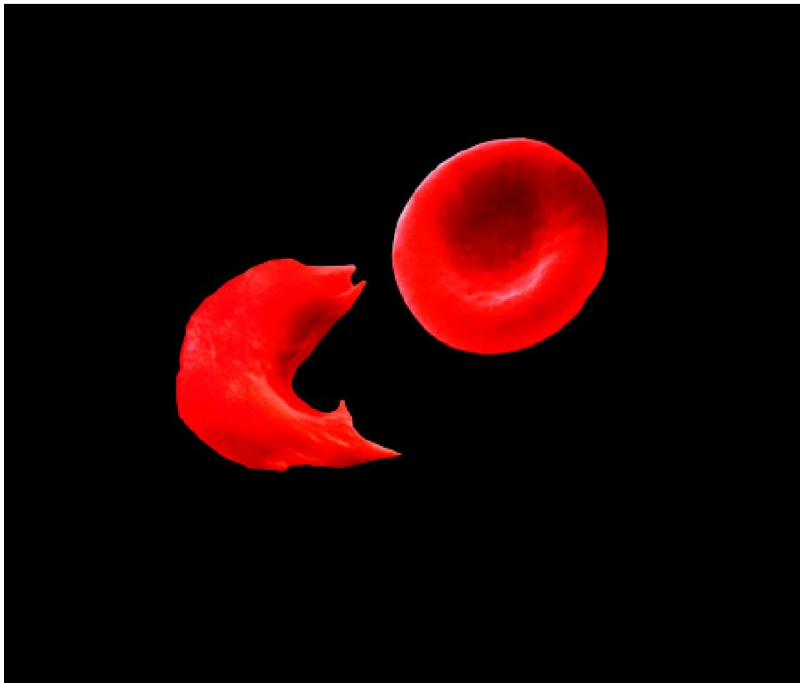


Laser light is (1) intense, (2) monoenergetic, and (3) coherent

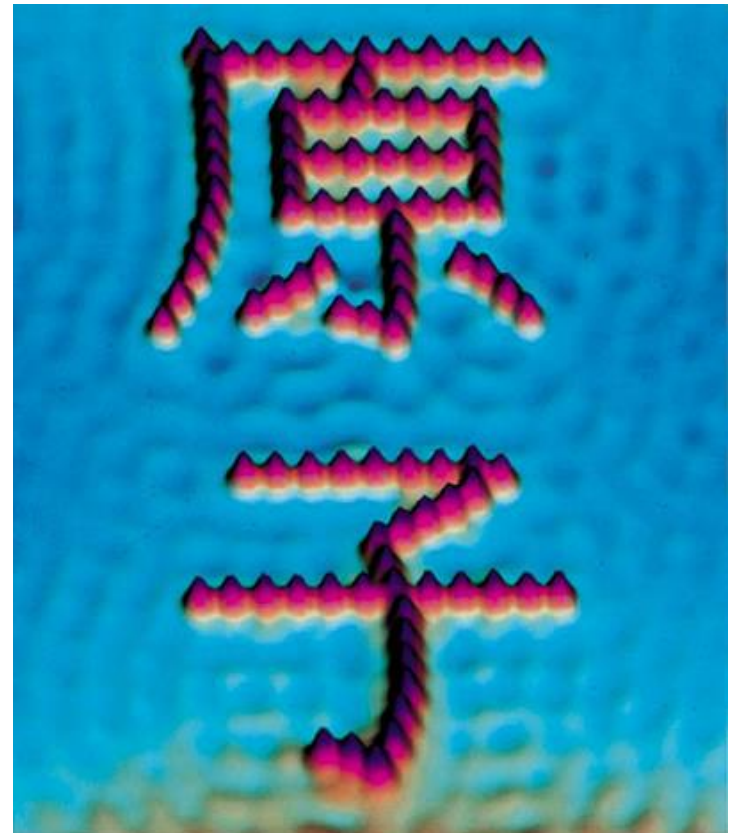
Chemistry in Action: Electron Microscopy

$$\lambda_e = 0.004 \text{ nm}$$

Mikrograf elektron sel darah merah normal dan merah sabit sel darah dari orang yang sama



STM image of iron atoms on copper surface

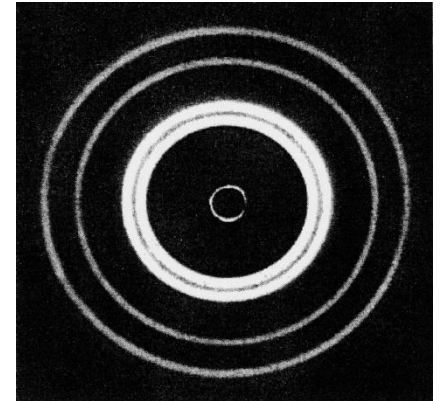


Persamaan Gelombang Schrodinger

Pada tahun 1926 Schrodinger menulis persamaan yang menggambarkan sifat partikel dan gelombang elektron

Fungsi gelombang (ψ) menjelaskan:

- . energi e-dengan ψ tertentu
- . peluang menemukan e- dalam suatu volume ruang



Persamaan Schrodinger hanya dapat diselesaikan secara eksak untuk atom hidrogen. Harus memperkirakan solusinya untuk sistem multi-elektron.

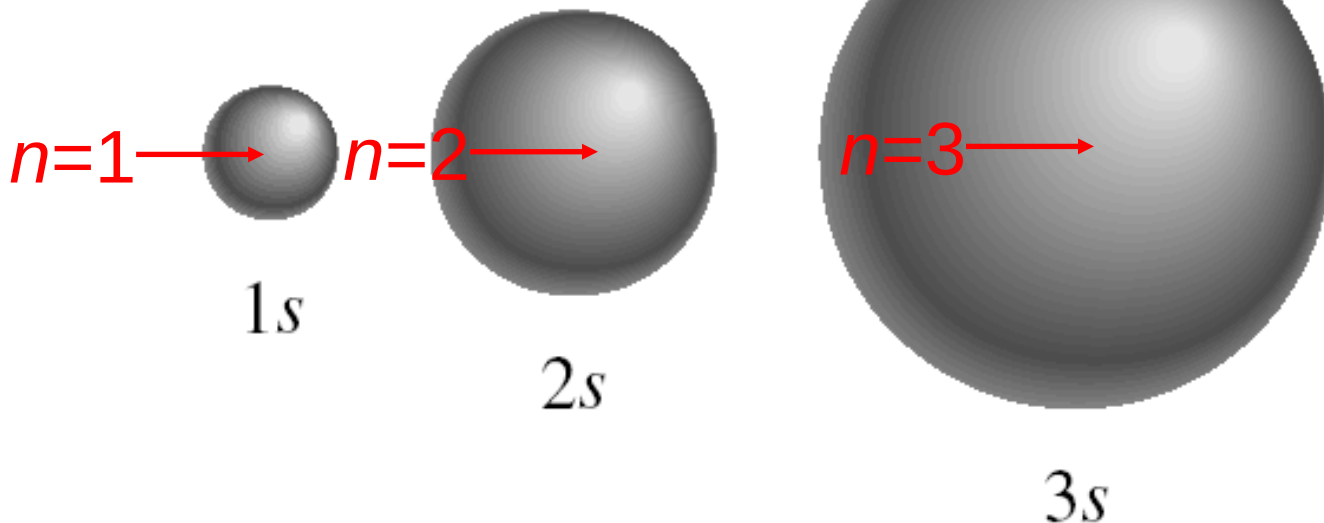
Persamaan Gelombang Schrodinger

ψ adalah fungsi untuk empat angka yang disebut ***bilangan kuantum*** (n, l, m_l, m_s)

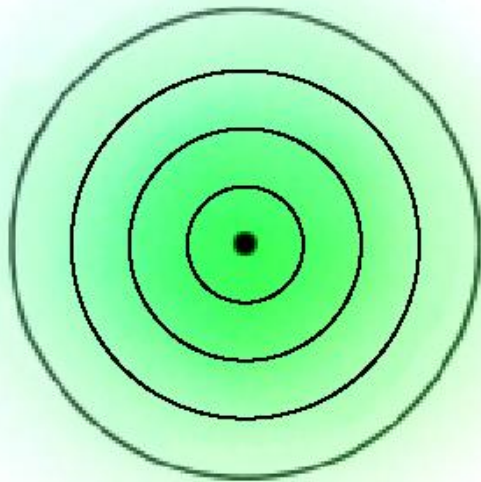
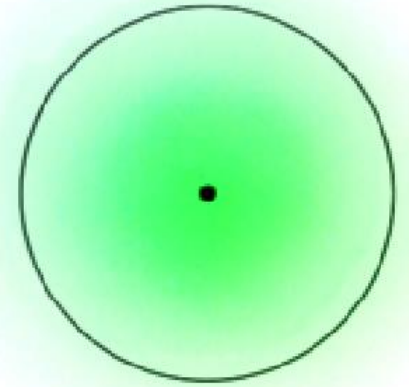
n adalah bilangan kuantum utama

$n = 1, 2, 3, 4, \dots$

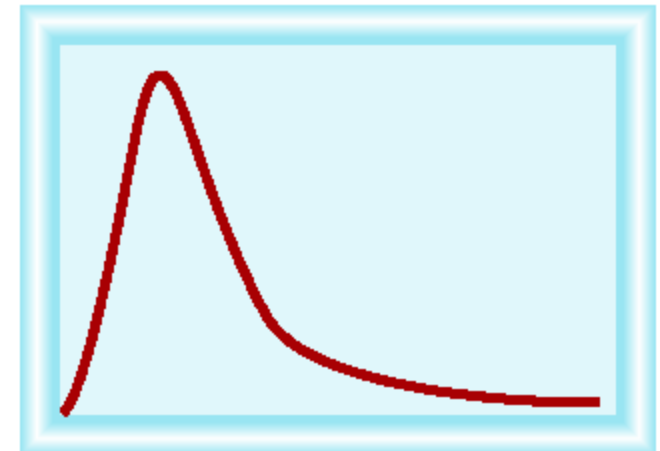
Jarak e^- ke inti atom



Dimana 90% dari
Densitas e- ditemukan →
untuk orbital 1s



Radial
probability



Distance from
nucleus

Persamaan Gelombang Schrodinger

Bilangan kuantum: (n, l, m_l, m_s)

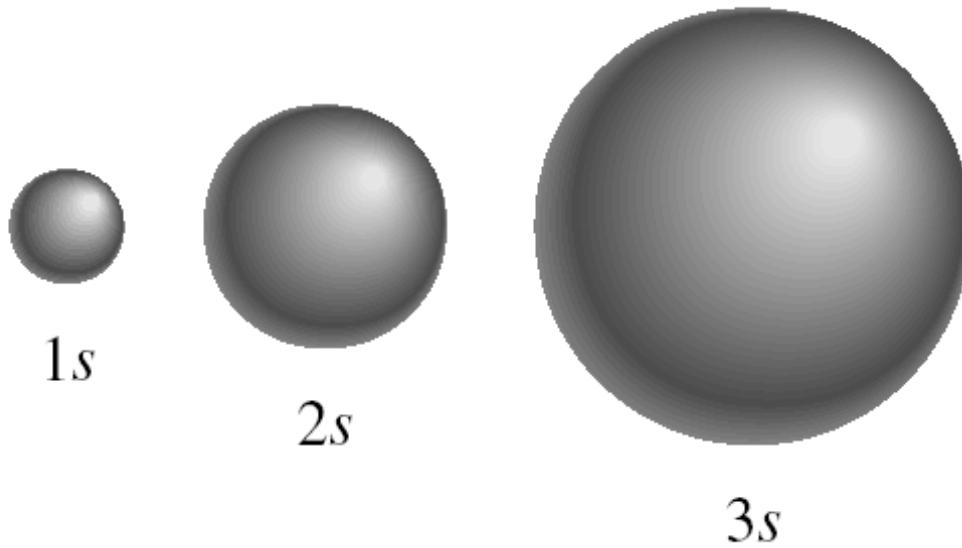
l adalah bilangan kuantum angular momentum

Untuk nilai n , $l = 0, 1, 2, 3, \dots n-1$

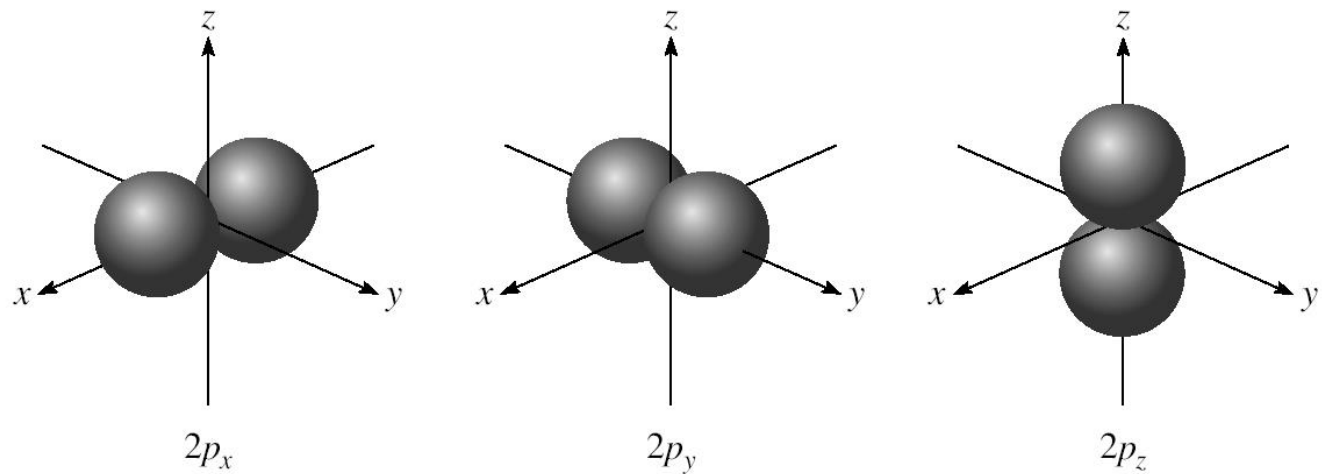
$n = 1, l = 0$	$l = 0$	orbital s
$n = 2, l = 0$ or 1	$l = 1$	orbital p
$n = 3, l = 0, 1,$ or 2	$l = 2$	orbital d
	$l = 3$	orbital f

Bentuk ruang volume yang ditempati elektron

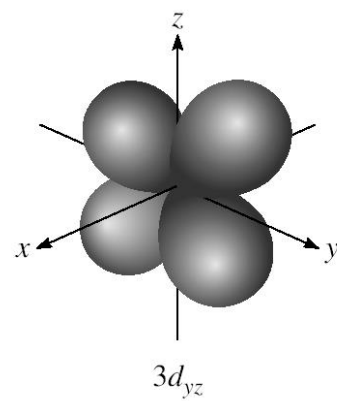
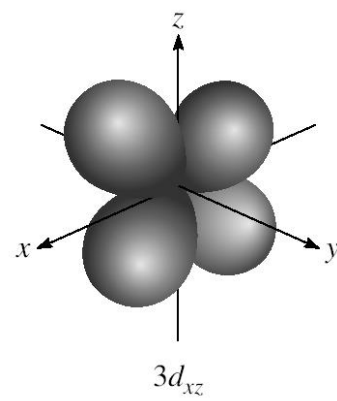
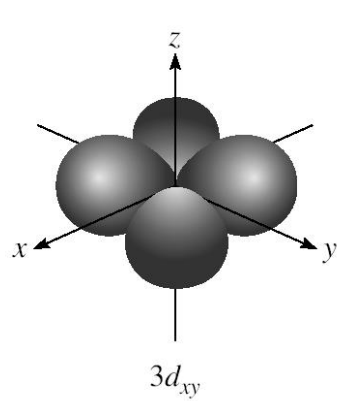
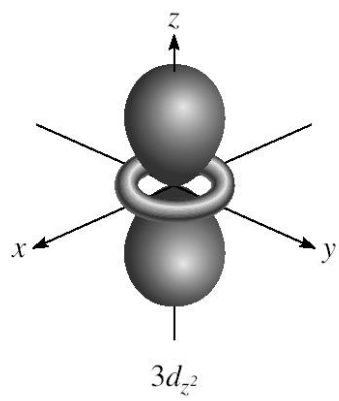
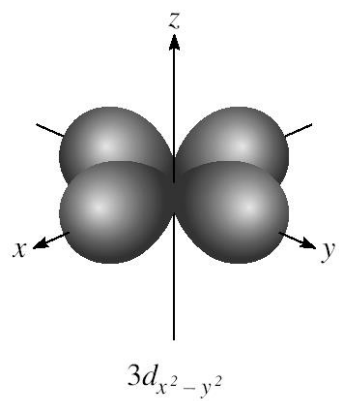
$l = 0$ (orbital s)



$l = 1$ (orbital p)



$l = 2$ (orbital d)



Persamaan Gelombang Schrodinger

Bilangan kuantum: (n, l, m_l, m_s)

m_l adalah bilangan kuantum magnetik

Untuk nilai l , maka

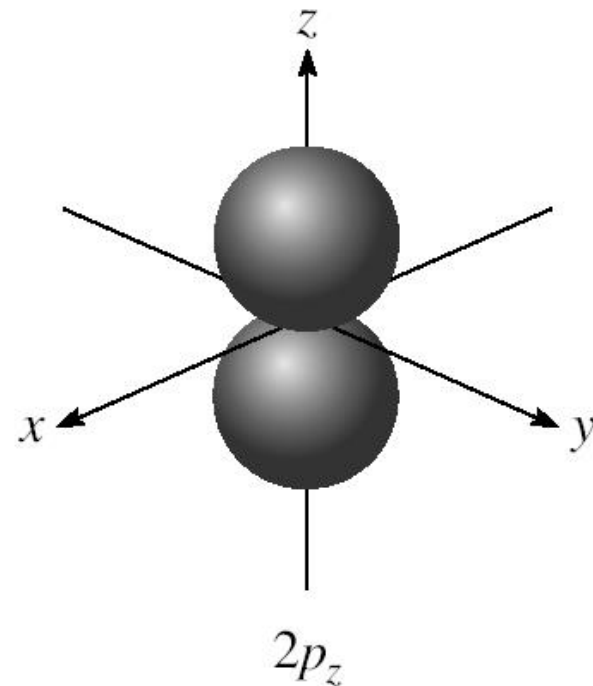
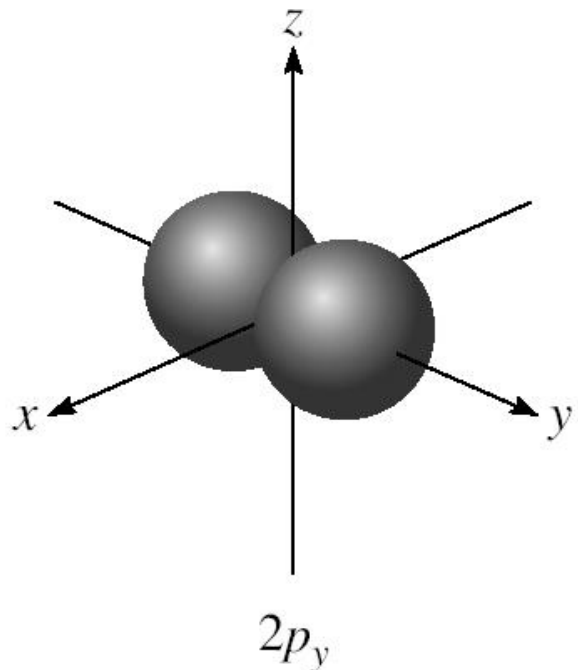
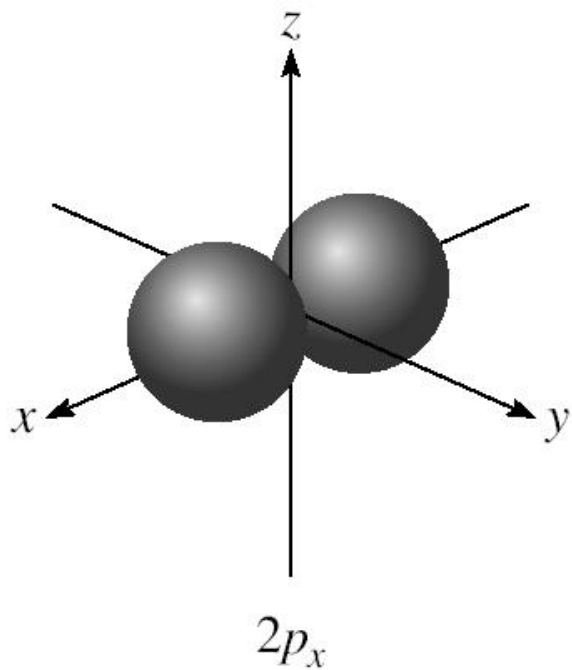
$$m_l = -l, \dots, 0, \dots, +l$$

jika $l = 1$ (p orbital), $m_l = -1, 0, \text{ or } 1$
jika $l = 2$ (d orbital), $m_l = -2, -1, 0, 1, \text{ or } 2$

orientasi orbital dalam ruang

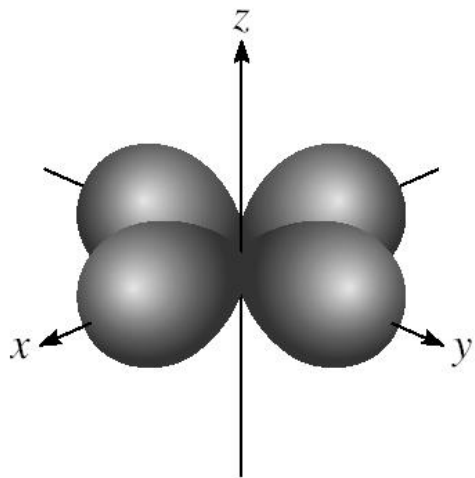
$$m_l = -1, 0, \text{ or } 1$$

3 orientations in space

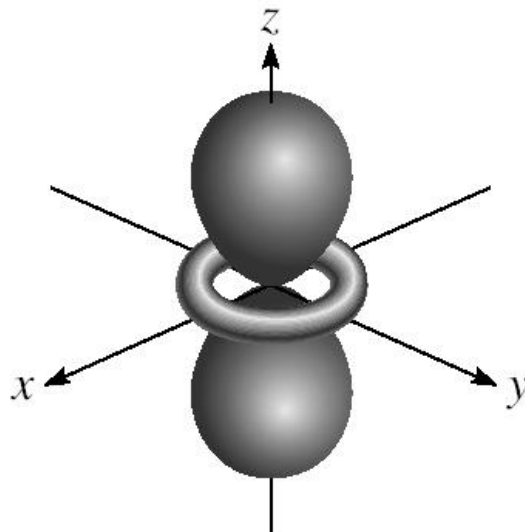


$m_l = -2, -1, 0, 1, \text{ or } 2$

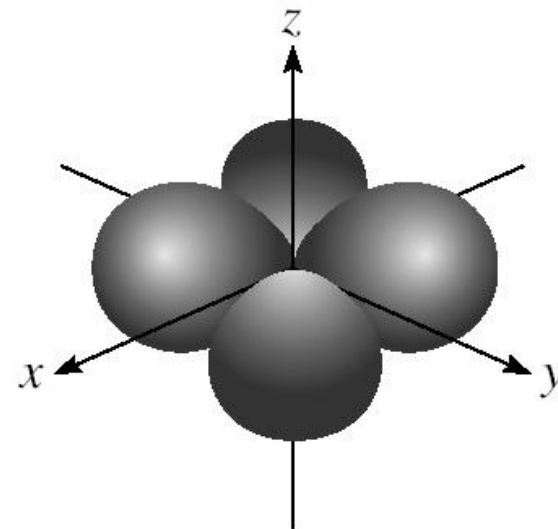
5 orientations in space



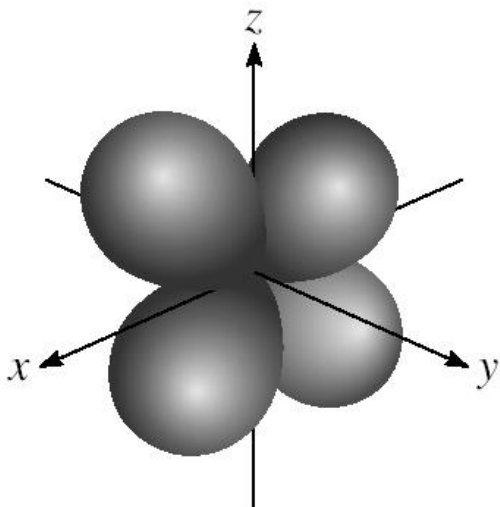
$3d_{x^2-y^2}$



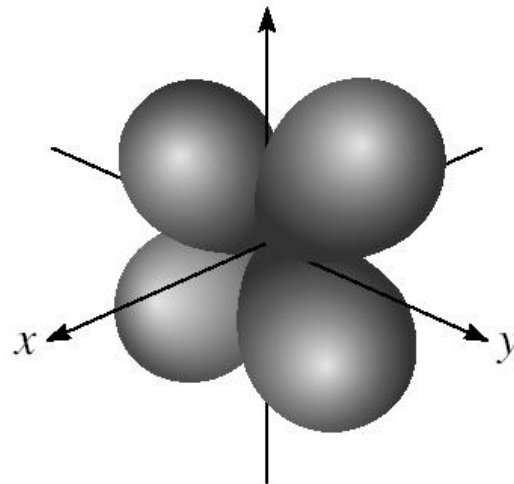
$3d_{z^2}$



$3d_{xy}$



$3d_{xz}$



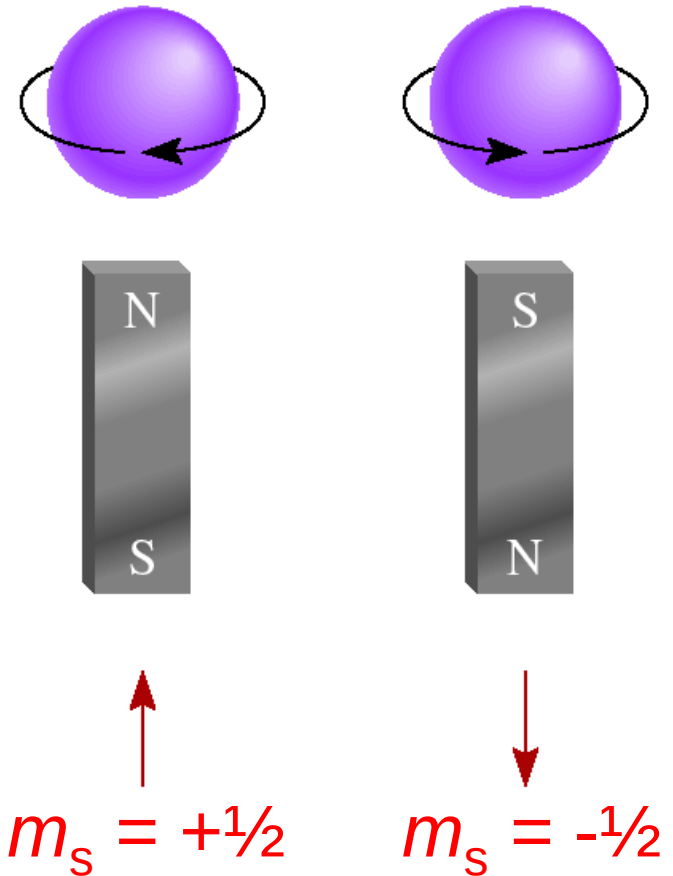
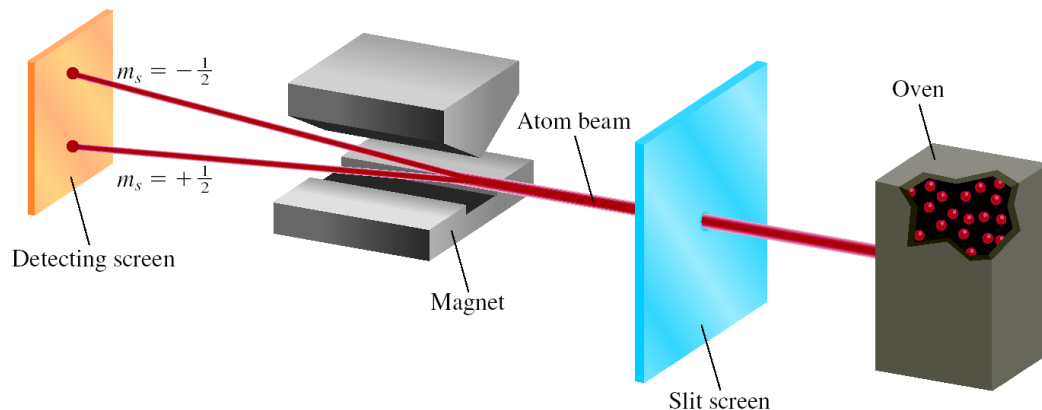
$3d_{yz}$

Persamaan Gelombang Schrodinger

(n, l, m_l, m_s)

m_s adalah bilangan kuantum spin

$m_s = +\frac{1}{2}$ **or** $-\frac{1}{2}$



Persamaan Gelombang Schrodinger

Bilangan kuantum: (n, l, m_l, m_s)

Keberadaan (dan energi) elektron dalam atom dijelaskan oleh fungsi gelombangnya yang unik ψ .

Prinsip pengecualian Pauli - tidak ada dua elektron dalam satu atom dapat memiliki empat bilangan kuantum yang sama.



Setiap kursi diidentifikasi secara unik (E, R12, S8)

Setiap kursi hanya dapat menampung satu orang dalam satu waktu

TABLE 7.2 **Relation Between Quantum Numbers and Atomic Orbitals**

n	ℓ	m_ℓ	Number of Orbitals	Atomic Orbital Designations
1	0	0	1	$1s$
2	0	0	1	$2s$
	1	$-1, 0, 1$	3	$2p_x, 2p_y, 2p_z$
3	0	0	1	$3s$
	1	$-1, 0, 1$	3	$3p_x, 3p_y, 3p_z$
	2	$-2, -1, 0, 1, 2$	5	$3d_{xy}, 3d_{yz}, 3d_{xz},$ $3d_{x^2-y^2}, 3d_{z^2}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

Persamaan Gelombang Schrodinger

Bilangan kuantum: (n, l, m_l, m_s)

Kulit – elektron dengan nilai n yang sama

Subkulit – elektron dengan nilai n dan l yang sama

Orbital – elektron dengan nilai n , l , dan m_l yang sama

Berapa banyak elektron yang dapat ditampung oleh sebuah orbital?

Jika n , l , and m_l tertentu, maka $m_s = \frac{1}{2}$ or $-\frac{1}{2}$

$\psi = (n, l, m_l, \frac{1}{2})$ **or** $\psi = (n, l, m_l, -\frac{1}{2})$

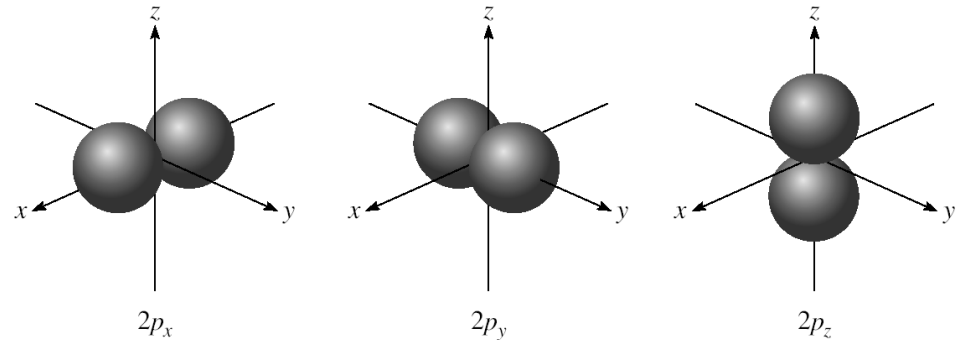
Satu orbital dapat menampung 2 elektron

Berapa banyak orbital 2p yang ada dalam sebuah atom?

$n=2$
↓
 $2p$
↑
 $l=1$

Jika $l = 1$, maka $m_l = -1, 0$, atau $+1$

3 orbitals



Berapa banyak elektron yang dapat ditempatkan pada subkulit 3d?

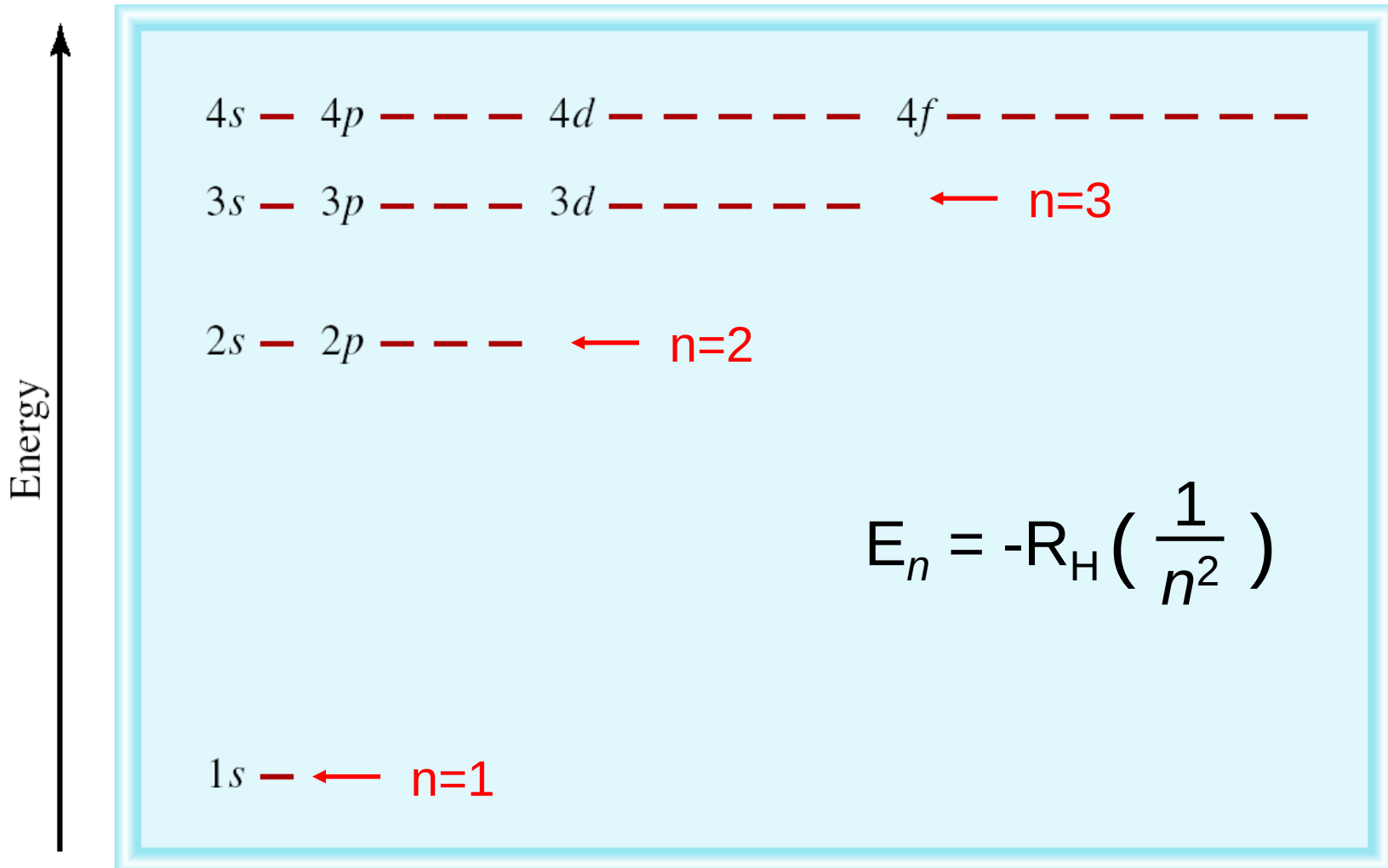
$n=3$
↓
 $3d$
↑
 $l=2$

Jika $l = 2$, maka $m_l = -2, -1, 0, +1$, atau $+2$

5 orbitals dapat menampung $10 e^-$

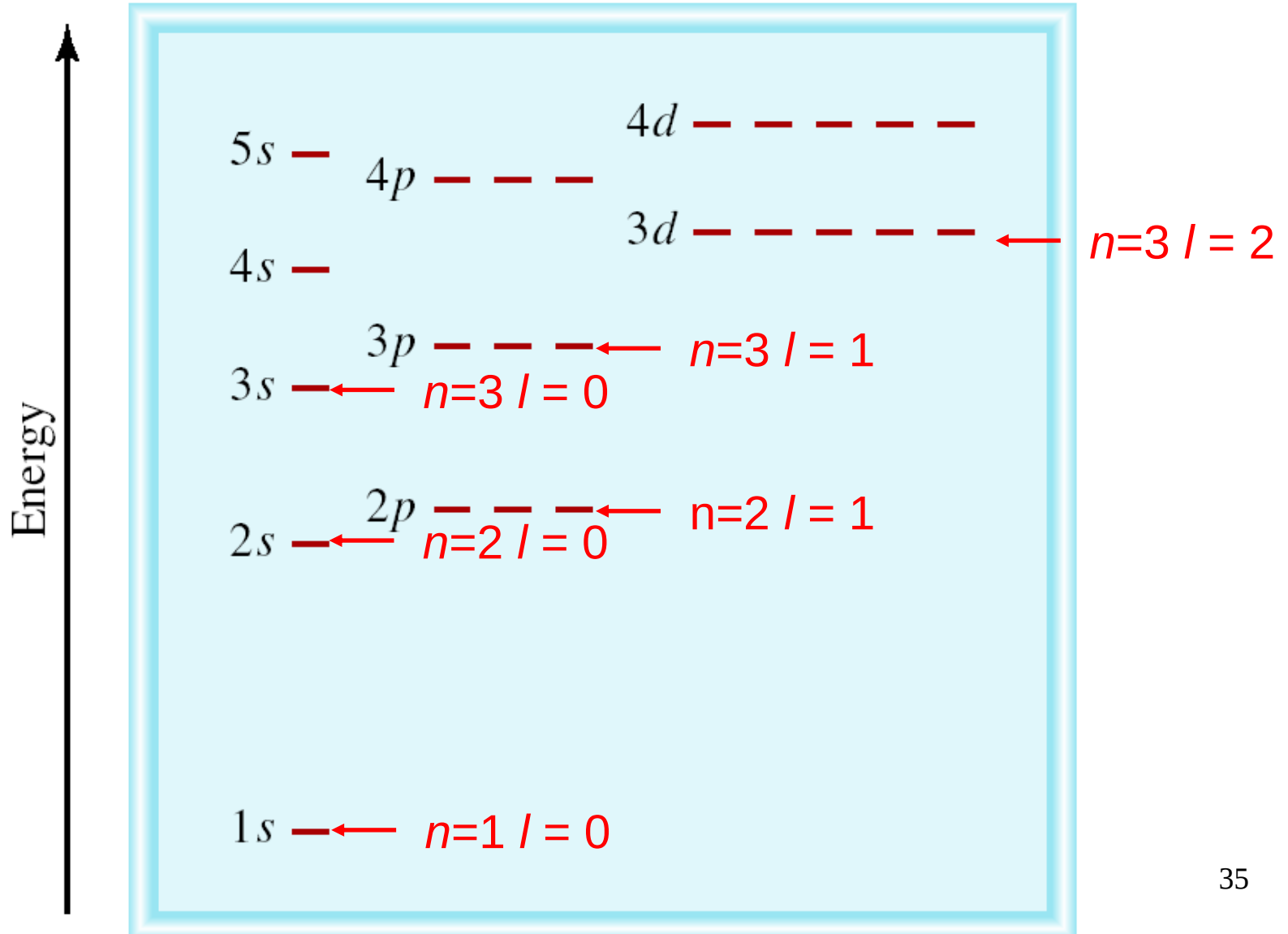
Energi orbital dalam atom elektron tunggal

Energi hanya bergantung pada bilangan kuantum utama n

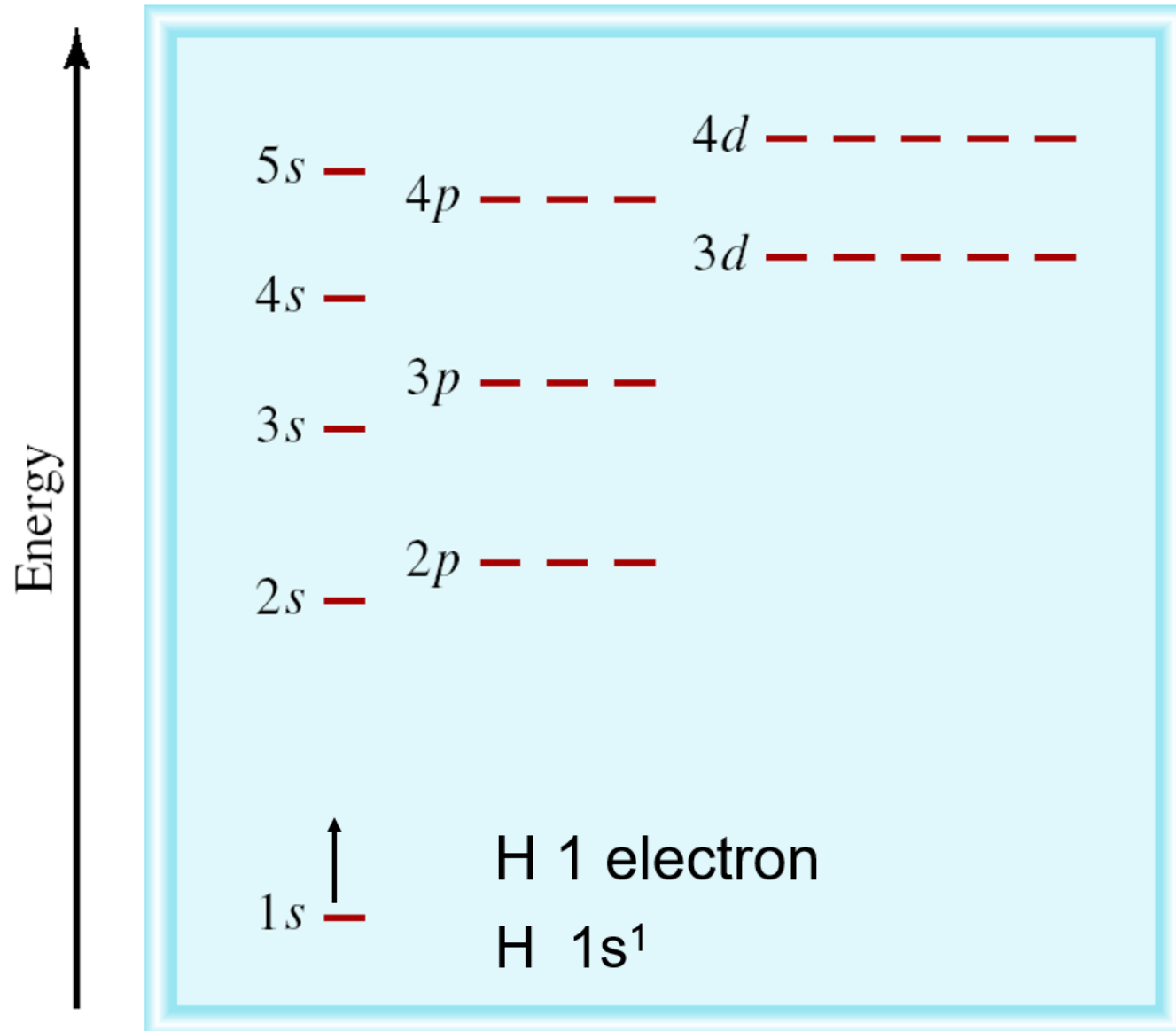


Energi orbital dalam atom multi-elektron

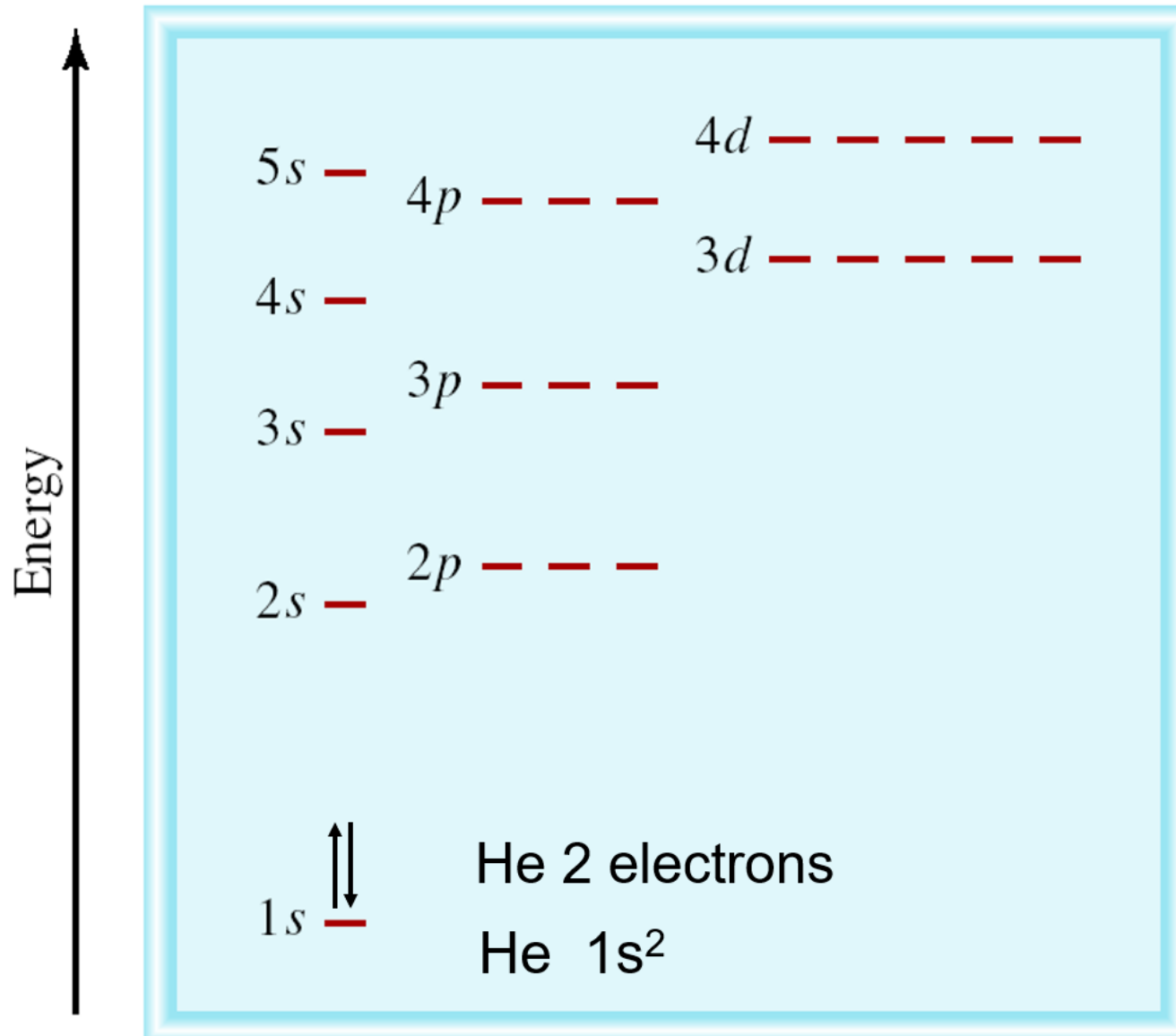
Energi tergantung pada n dan l



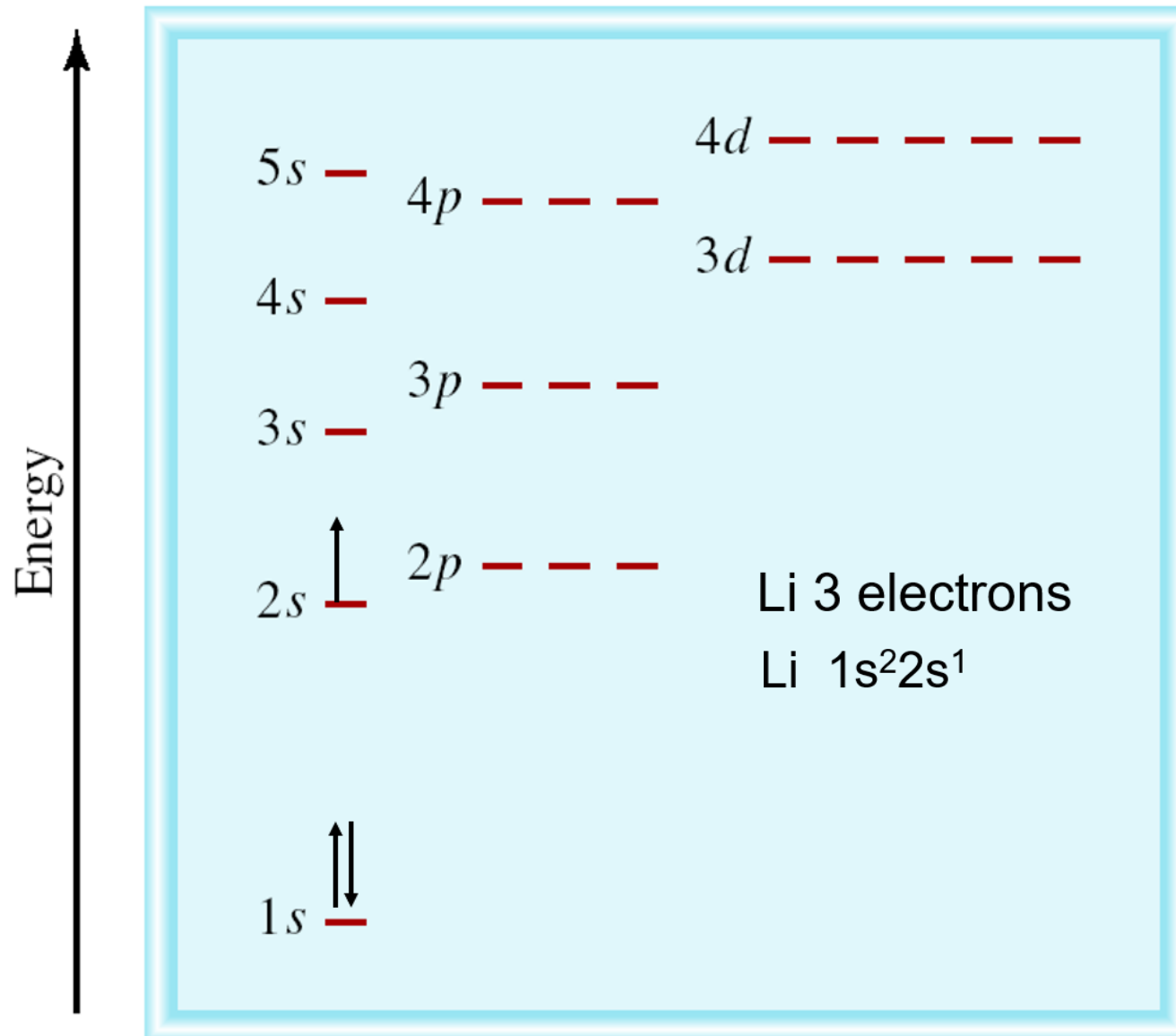
“Isi” elektron pada orbital energi terendah terlebih dahulu
(prinsip Aufbau)



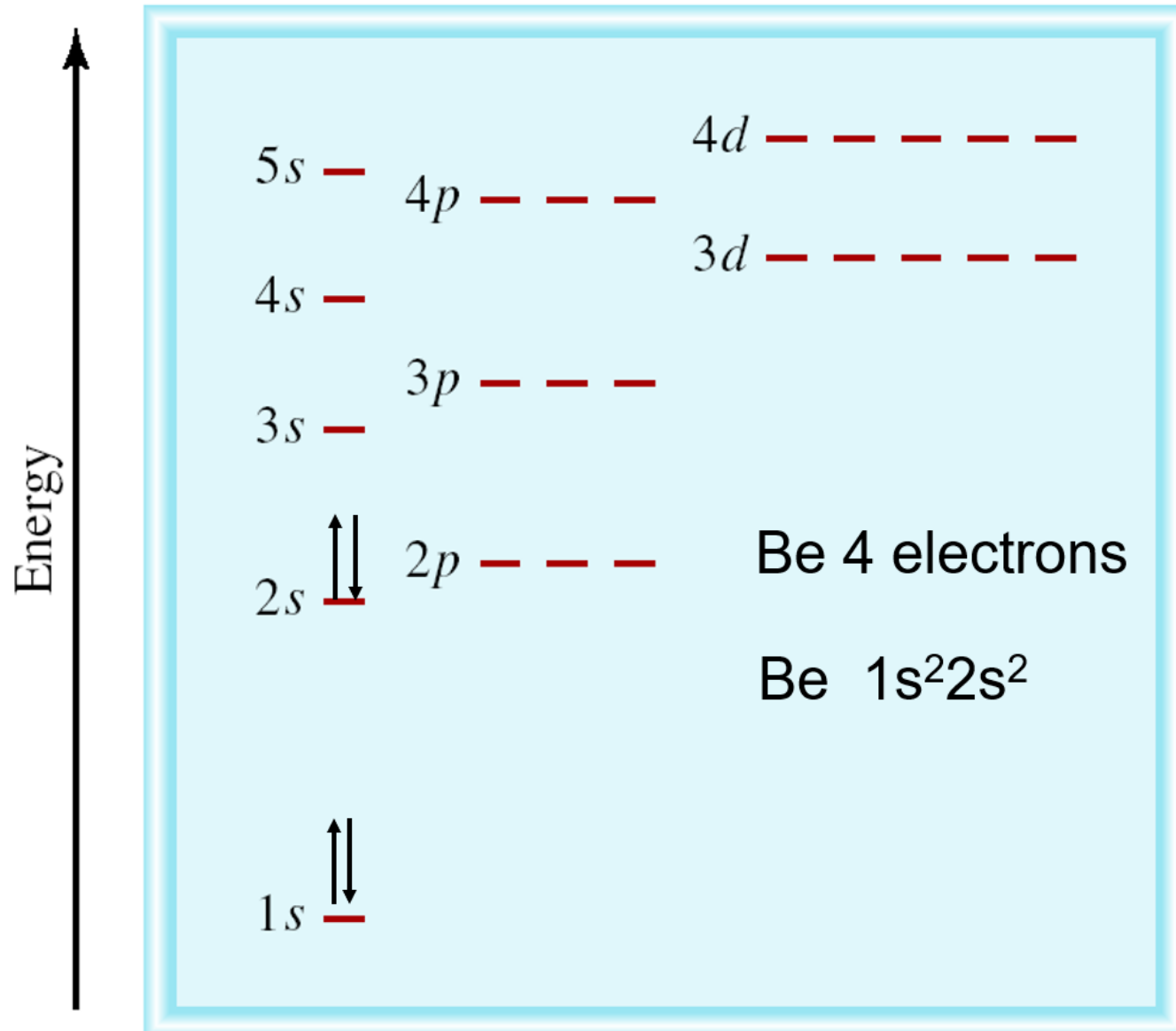
“Isi” elektron pada orbital energi terendah terlebih dahulu
(prinsip Aufbau)



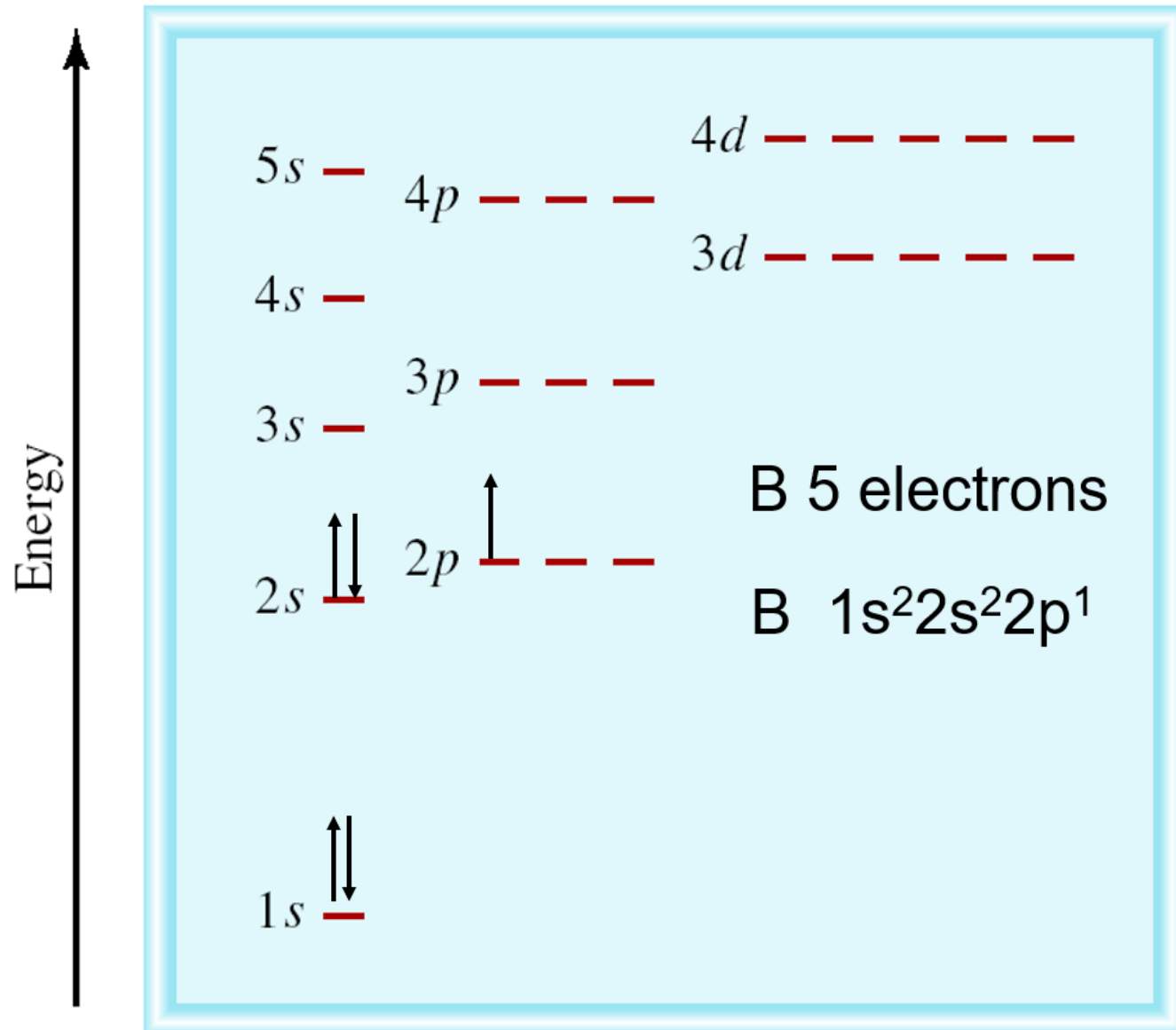
“Isi” elektron pada orbital energi terendah terlebih dahulu
(prinsip Aufbau)



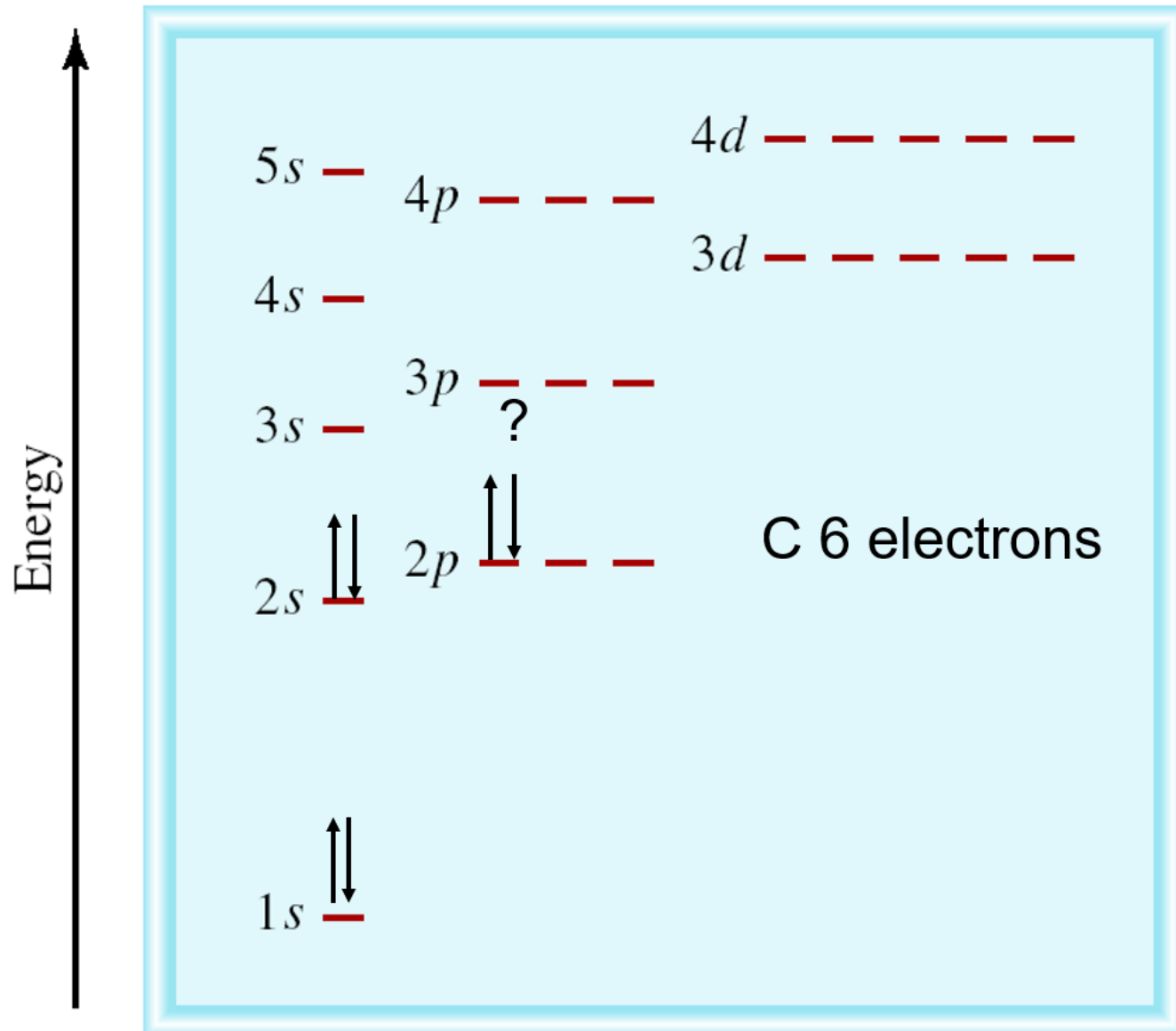
“Isi” elektron pada orbital energi terendah terlebih dahulu
(prinsip Aufbau)



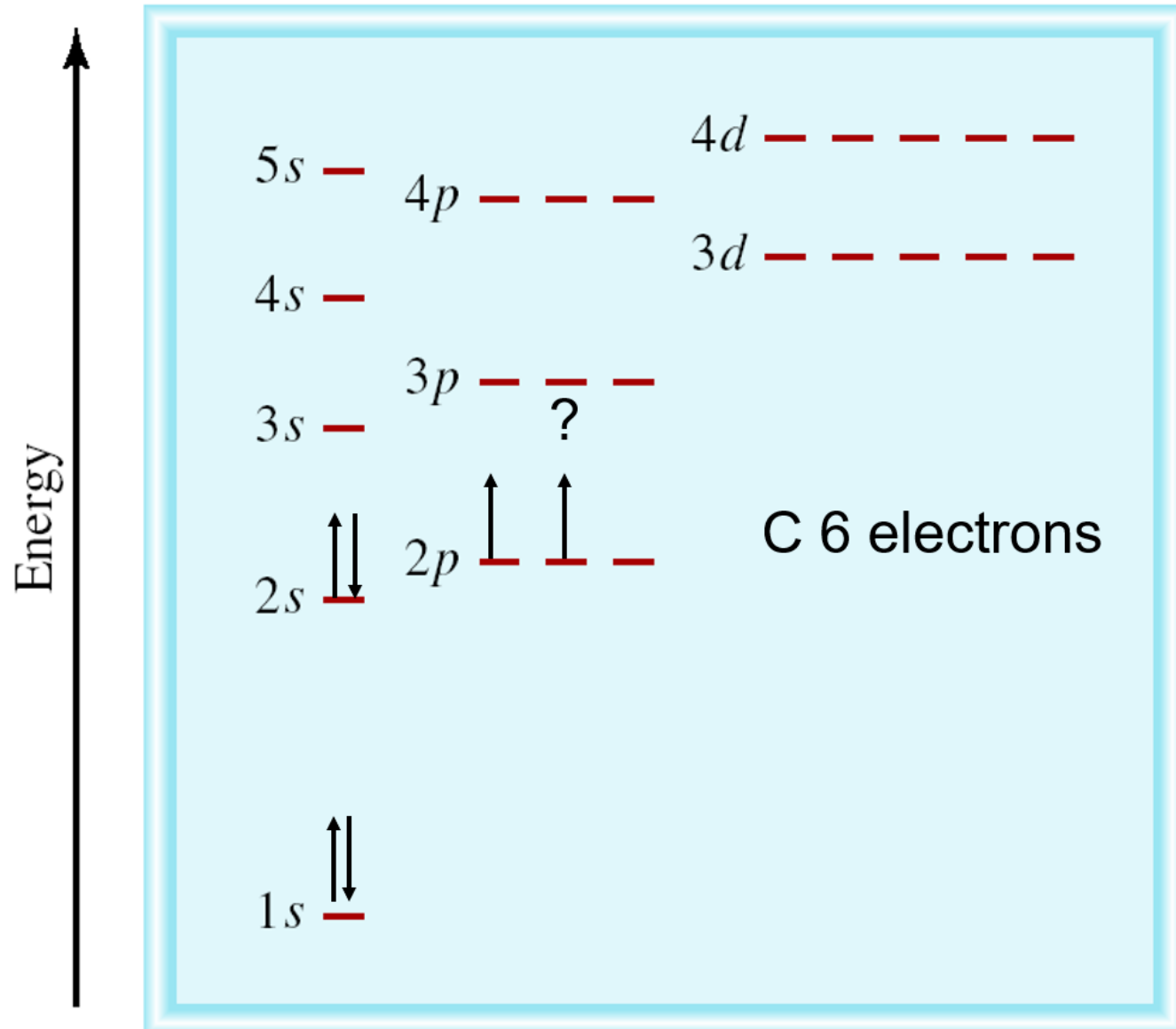
“Isi” elektron pada orbital energi terendah terlebih dahulu
(prinsip Aufbau)



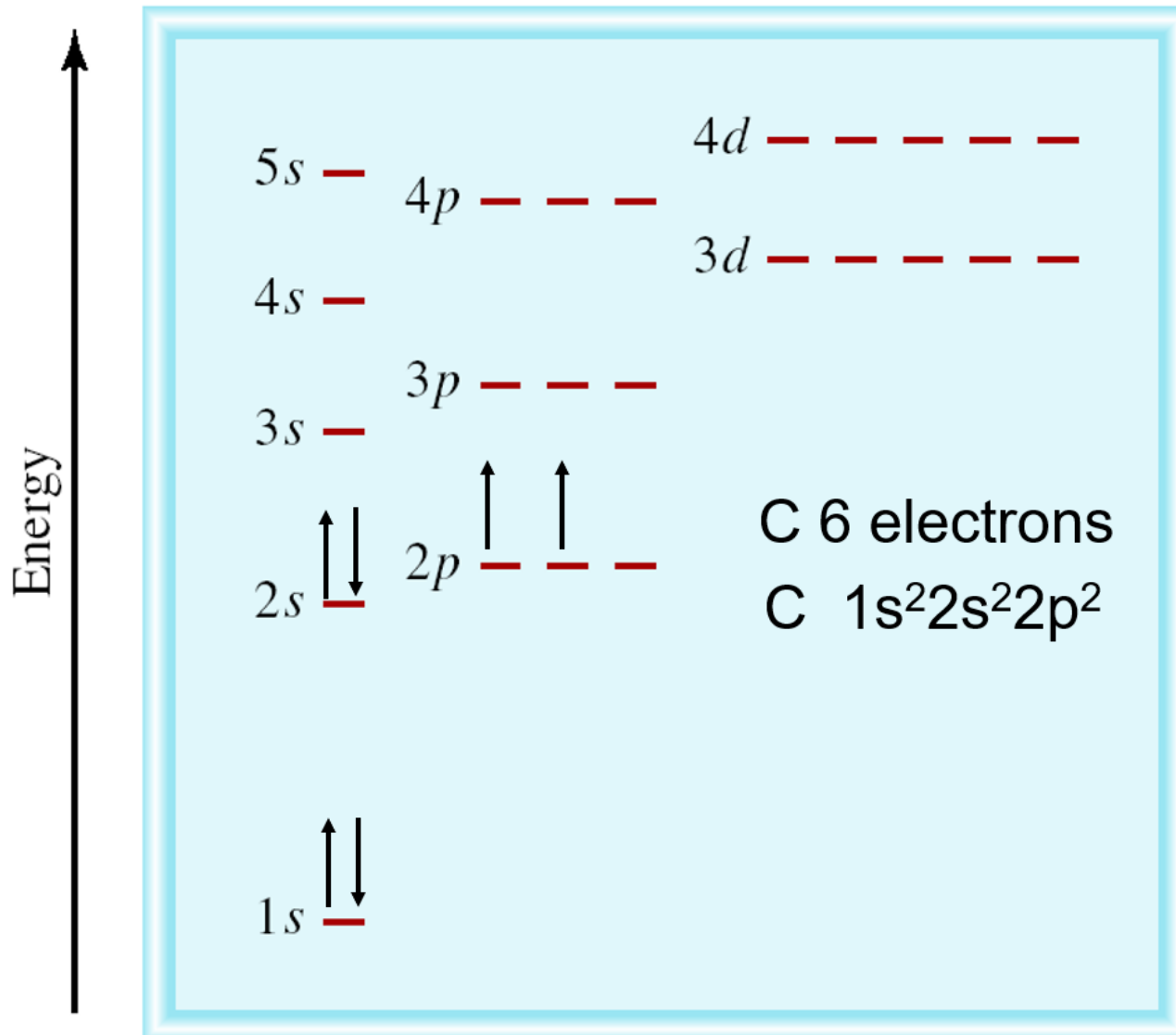
“Isi” elektron pada orbital energi terendah terlebih dahulu
(prinsip Aufbau)



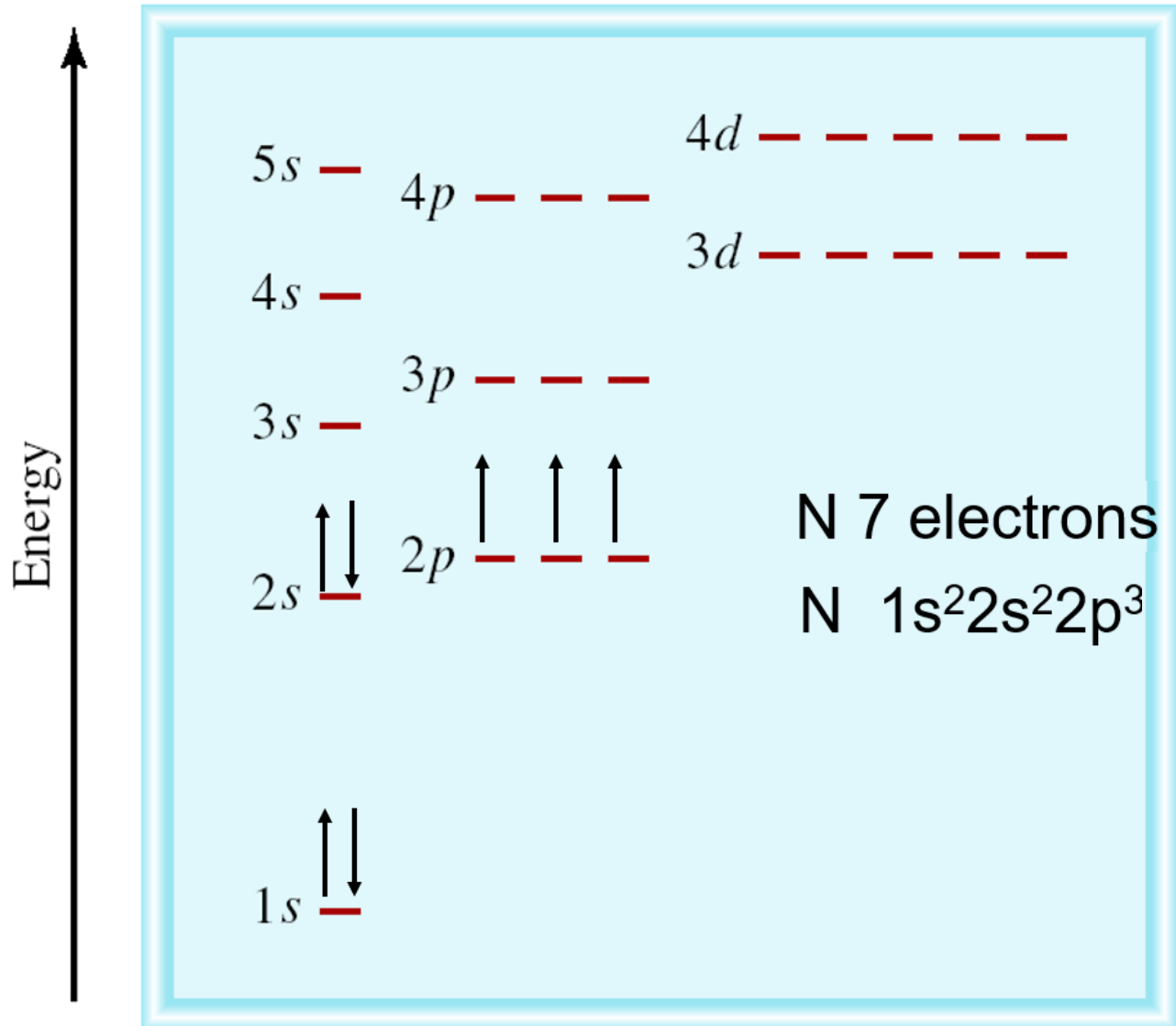
“Isi” elektron pada orbital energi terendah terlebih dahulu
(prinsip Aufbau)



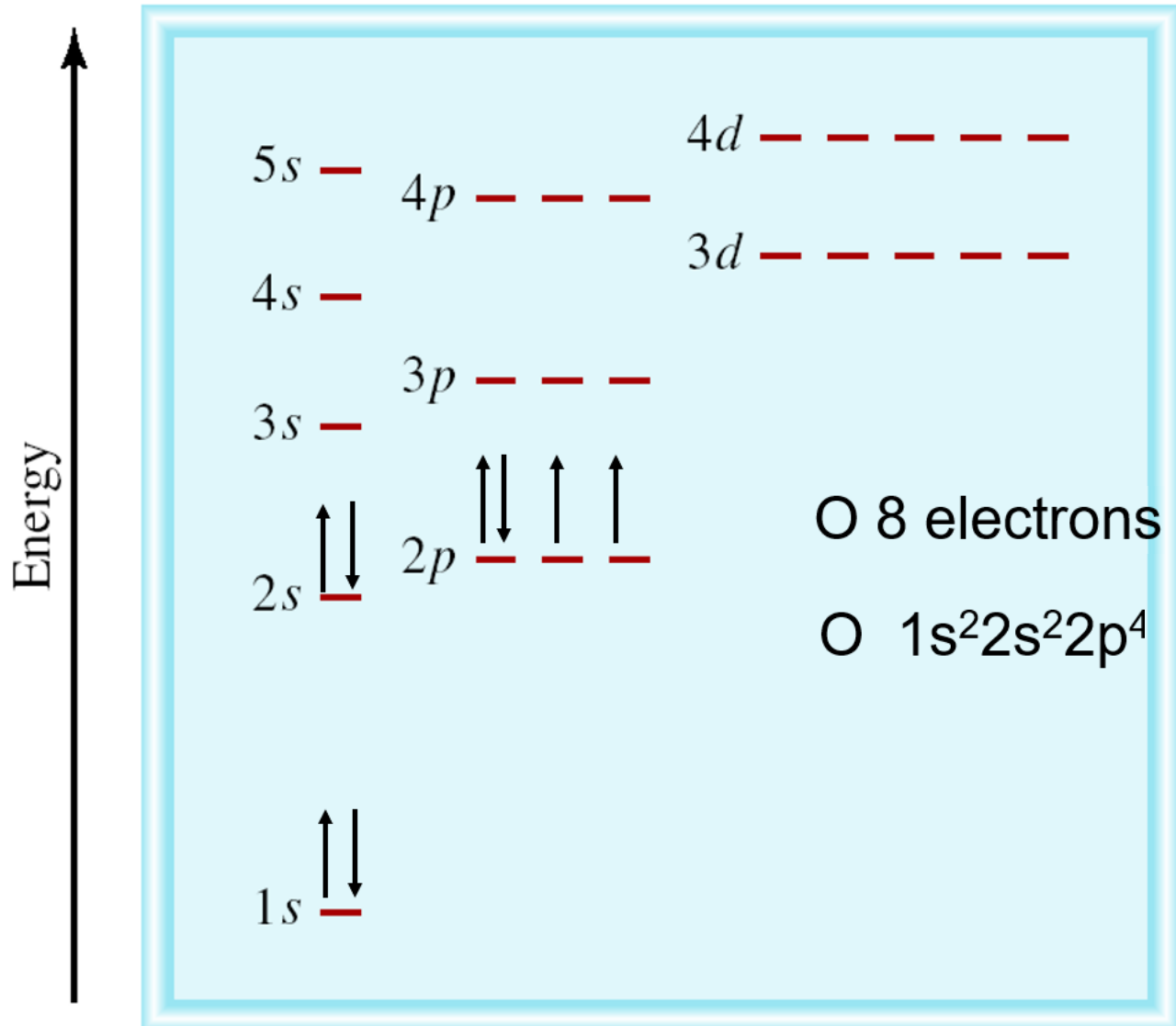
Susunan elektron yang paling stabil pada subkulit adalah yang memiliki jumlah spin paralel paling banyak (aturan Hund).



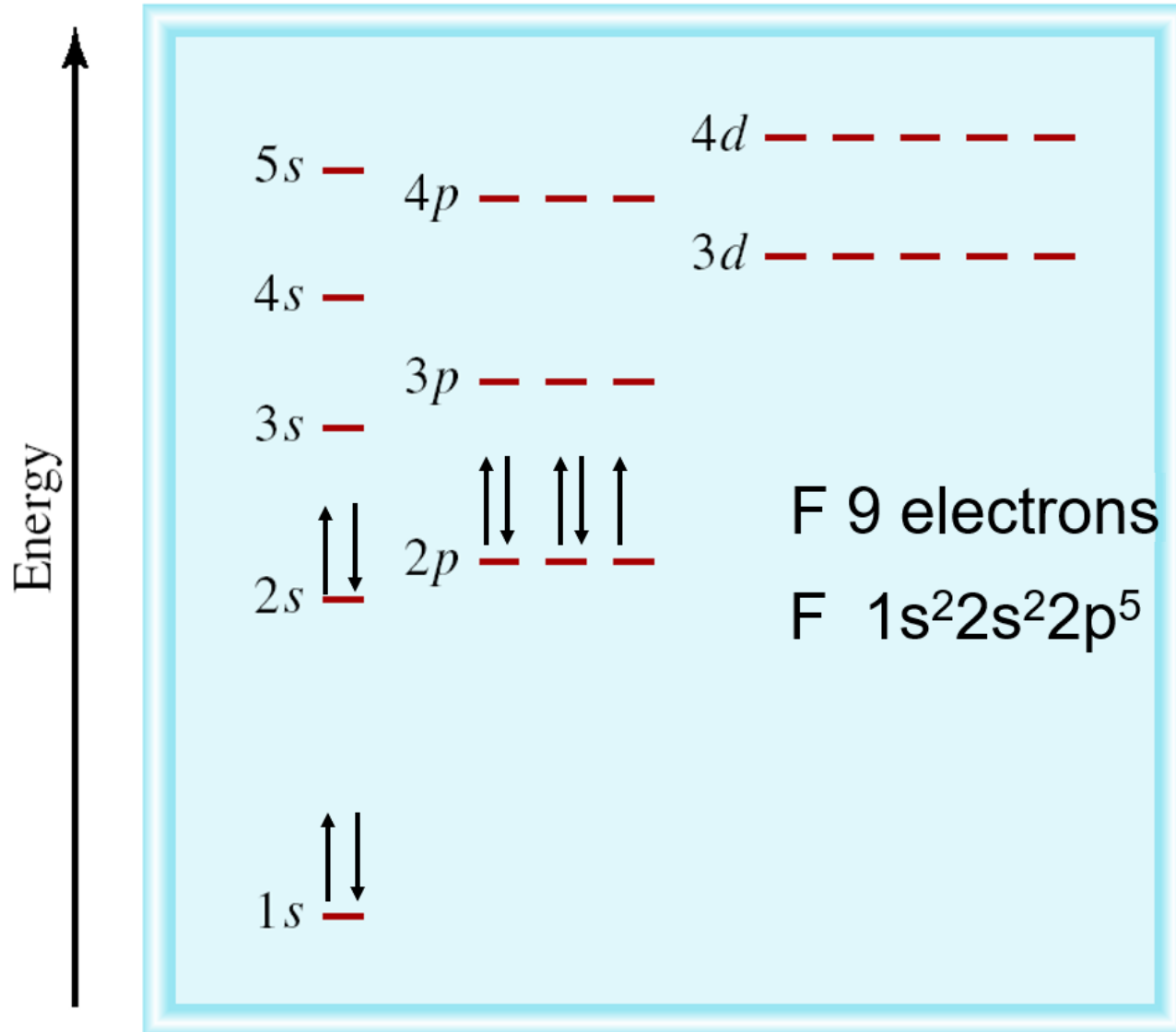
Susunan elektron yang paling stabil pada subkulit adalah yang memiliki jumlah spin paralel paling banyak (aturan Hund).



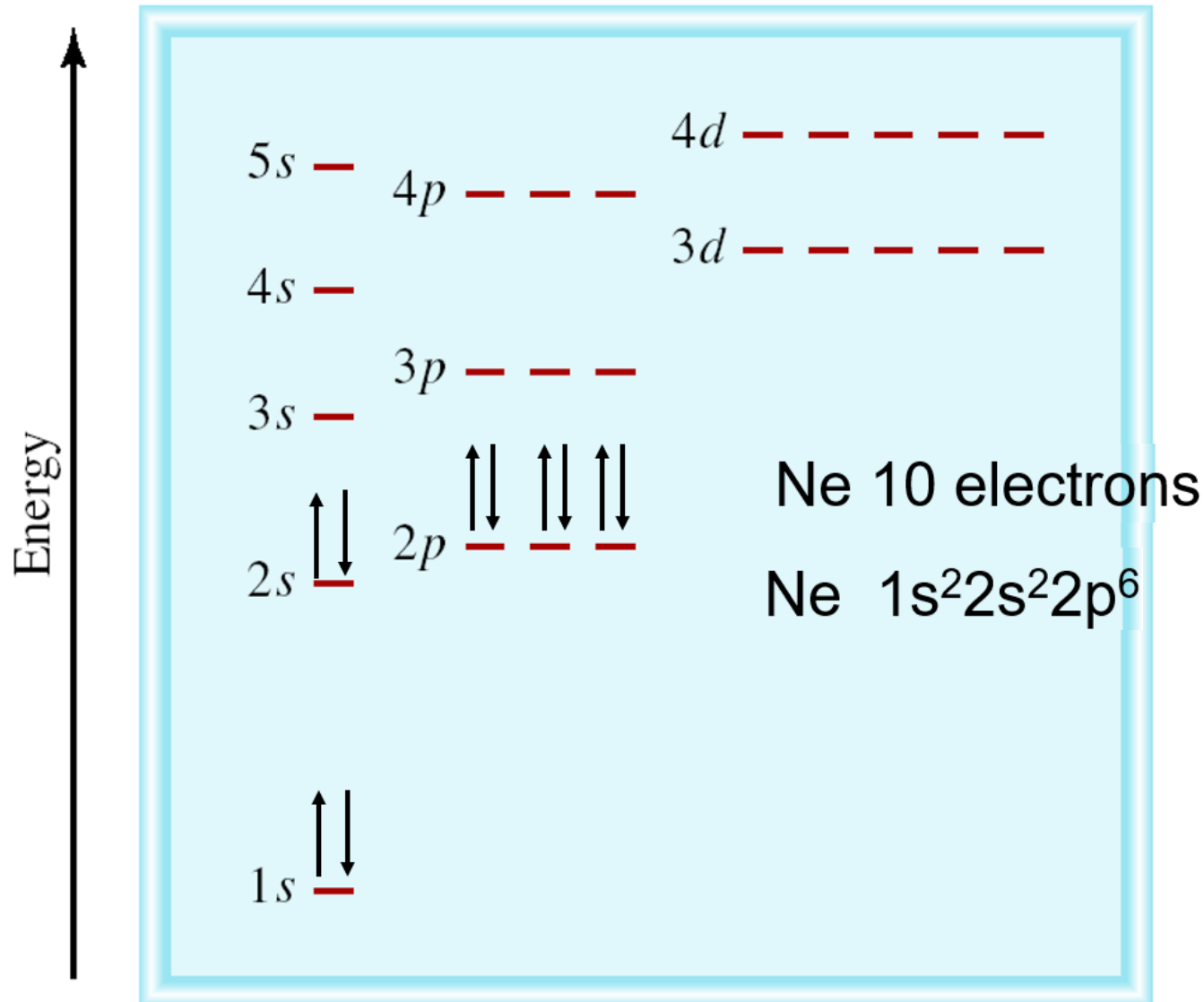
Susunan elektron yang paling stabil pada subkulit adalah yang memiliki jumlah spin paralel paling banyak (aturan Hund).



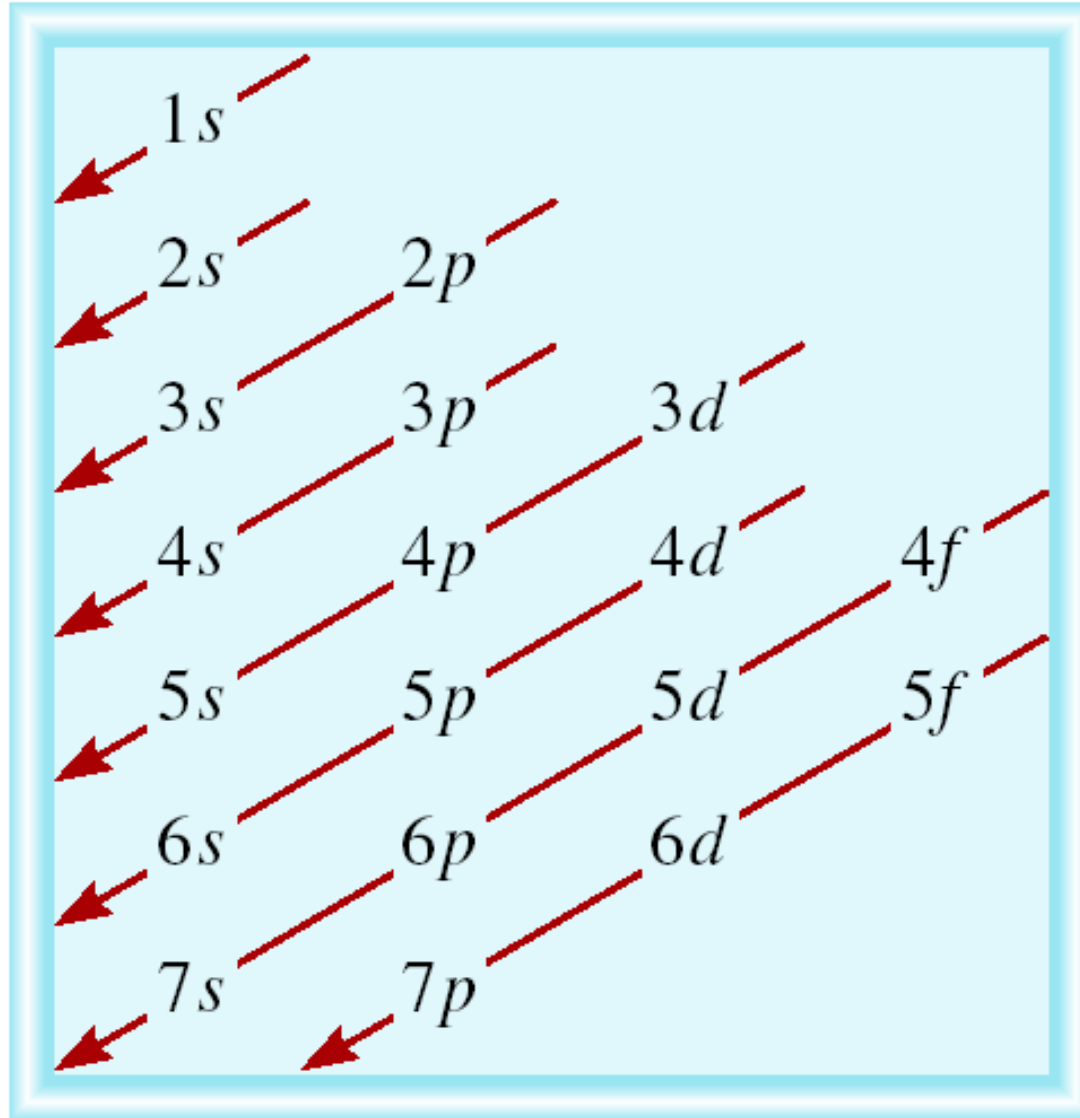
Susunan elektron yang paling stabil pada subkulit adalah yang memiliki jumlah spin paralel paling banyak (aturan Hund).



Susunan elektron yang paling stabil pada subkulit adalah yang memiliki jumlah spin paralel paling banyak (aturan Hund).

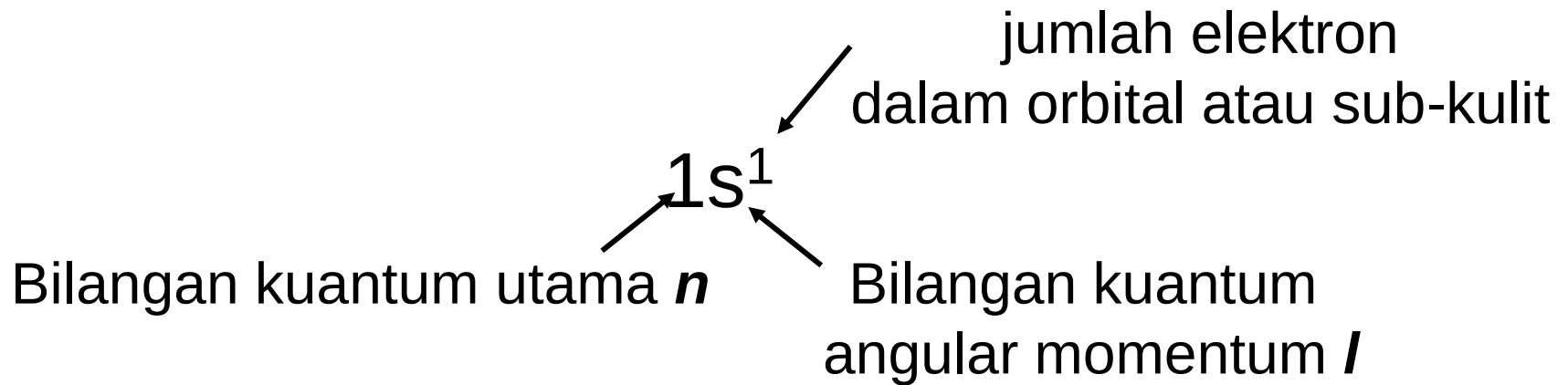


Urutan orbital (pengisian) pada atom multi-elektron



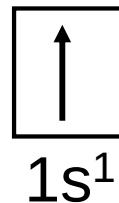
$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d < 5p < 6s$

Konfigurasi elektron adalah bagaimana elektron didistribusikan dalam berbagai orbital atom pada suatu atom.



Orbital diagram

H



Bagaimana konfigurasi elektron Mg?

Mg 12 electrons

$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s$

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$ $2 + 2 + 6 + 2 = 12$ electrons

Abbreviated as $[\text{Ne}]3s^2$ $[\text{Ne}] 1s^2 2s^2 2p^6$

Berapakah bilangan kuantum yang mungkin untuk elektron (terluar) terakhir dalam Cl?

Cl 17 electrons $1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s$

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$ $2 + 2 + 6 + 2 + 5 = 17$ electrons

Last electron added to 3p orbital

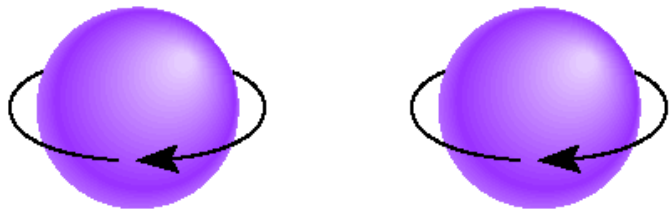
$n = 3$ $l = 1$ $m_l = -1, 0, \text{ or } +1$ $m_s = \frac{1}{2} \text{ or } -\frac{1}{2}$

Subkulit terluar terisi elektron

1s		1s
2s		2p
3s		3p
4s	3d	4p
5s	4d	5p
6s	5d	6p
7s	6d	7p
4f		
5f		

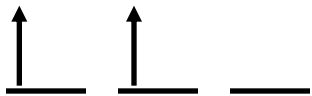
TABLE 7.3 **The Ground-State Electron Configurations of the Elements***

Atomic Number	Symbol	Electron Configuration	Atomic Number	Symbol	Electron Configuration	Atomic Number	Symbol	Electron Configuration
1	H	$1s^1$	38	Sr	$[\text{Kr}]5s^2$	75	Re	$[\text{Xe}]6s^24f^{14}5d^5$
2	He	$1s^2$	39	Y	$[\text{Kr}]5s^24d^1$	76	Os	$[\text{Xe}]6s^24f^{14}5d^6$
3	Li	$[\text{He}]2s^1$	40	Zr	$[\text{Kr}]5s^24d^2$	77	Ir	$[\text{Xe}]6s^24f^{14}5d^7$
4	Be	$[\text{He}]2s^2$	41	Nb	$[\text{Kr}]5s^14d^4$	78	Pt	$[\text{Xe}]6s^14f^{14}5d^9$
5	B	$[\text{He}]2s^22p^1$	42	Mo	$[\text{Kr}]5s^14d^5$	79	Au	$[\text{Xe}]6s^14f^{14}5d^{10}$
6	C	$[\text{He}]2s^22p^2$	43	Tc	$[\text{Kr}]5s^24d^5$	80	Hg	$[\text{Xe}]6s^24f^{14}5d^{10}$
7	N	$[\text{He}]2s^22p^3$	44	Ru	$[\text{Kr}]5s^14d^7$	81	Tl	$[\text{Xe}]6s^24f^{14}5d^{10}6p^1$
8	O	$[\text{He}]2s^22p^4$	45	Rh	$[\text{Kr}]5s^14d^8$	82	Pb	$[\text{Xe}]6s^24f^{14}5d^{10}6p^2$
9	F	$[\text{He}]2s^22p^5$	46	Pd	$[\text{Kr}]4d^{10}$	83	Bi	$[\text{Xe}]6s^24f^{14}5d^{10}6p^3$
10	Ne	$[\text{He}]2s^22p^6$	47	Ag	$[\text{Kr}]5s^14d^{10}$	84	Po	$[\text{Xe}]6s^24f^{14}5d^{10}6p^4$
11	Na	$[\text{Ne}]3s^1$	48	Cd	$[\text{Kr}]5s^24d^{10}$	85	At	$[\text{Xe}]6s^24f^{14}5d^{10}6p^5$
12	Mg	$[\text{Ne}]3s^2$	49	In	$[\text{Kr}]5s^24d^{10}5p^1$	86	Rn	$[\text{Xe}]6s^24f^{14}5d^{10}6p^6$
13	Al	$[\text{Ne}]3s^23p^1$	50	Sn	$[\text{Kr}]5s^24d^{10}5p^2$	87	Fr	$[\text{Rn}]7s^1$
14	Si	$[\text{Ne}]3s^23p^2$	51	Sb	$[\text{Kr}]5s^24d^{10}5p^3$	88	Ra	$[\text{Rn}]7s^2$
15	P	$[\text{Ne}]3s^23p^3$	52	Te	$[\text{Kr}]5s^24d^{10}5p^4$	89	Ac	$[\text{Rn}]7s^26d^1$
16	S	$[\text{Ne}]3s^23p^4$	53	I	$[\text{Kr}]5s^24d^{10}5p^5$	90	Th	$[\text{Rn}]7s^26d^2$
17	Cl	$[\text{Ne}]3s^23p^5$	54	Xe	$[\text{Kr}]5s^24d^{10}5p^6$	91	Pa	$[\text{Rn}]7s^25f^26d^1$
18	Ar	$[\text{Ne}]3s^23p^6$	55	Cs	$[\text{Xe}]6s^1$	92	U	$[\text{Rn}]7s^25f^36d^1$
19	K	$[\text{Ar}]4s^1$	56	Ba	$[\text{Xe}]6s^2$	93	Np	$[\text{Rn}]7s^25f^46d^1$

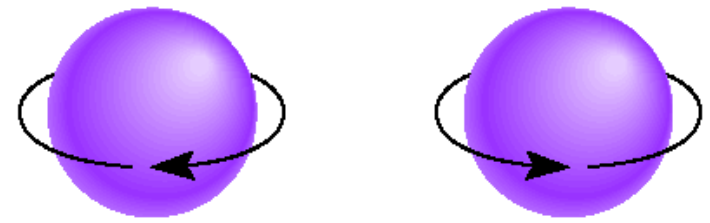


Paramagnetik

ada elektron tidak berpasangan

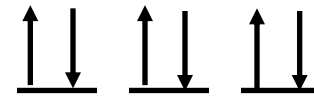


2p



Diamagnetik

semua elektron berpasangan



2p