

# Elektronok, atomok

10-1 Elektromágneses sugárzás

10-2 Atomi Spektrum

10-3 Kvantumelmélet

10-4 A Bohr Atom

10-5 Az új Kvantummechanika

10-6 Hullámmechanika

10-7 Kvantumszámok

# Tartalom

10-8 Elektronsűrűség

10-9 A hidrogénatom pályái

10-9 Elektron spin

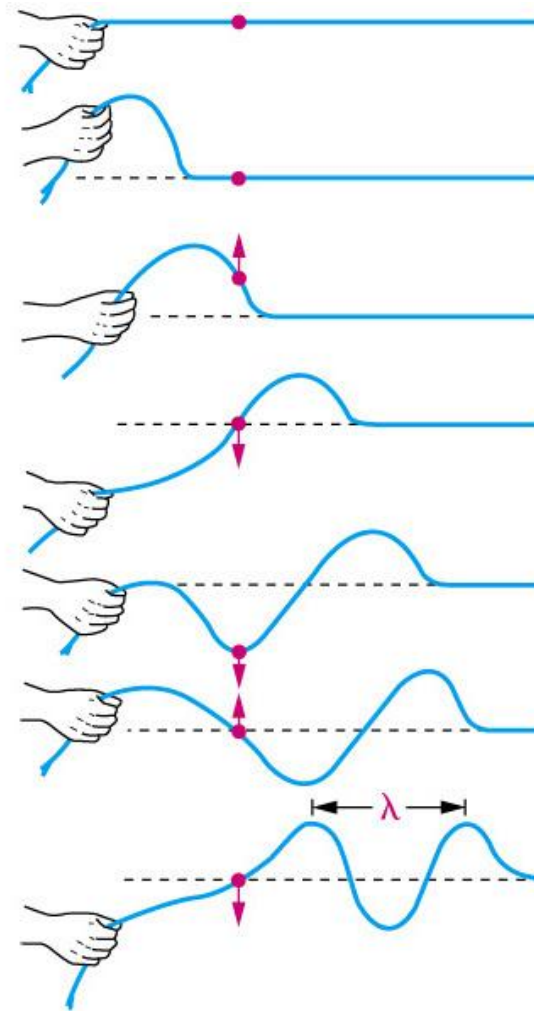
10-10 Több elektronos atomok

10-11 Elektron Konfigurációk

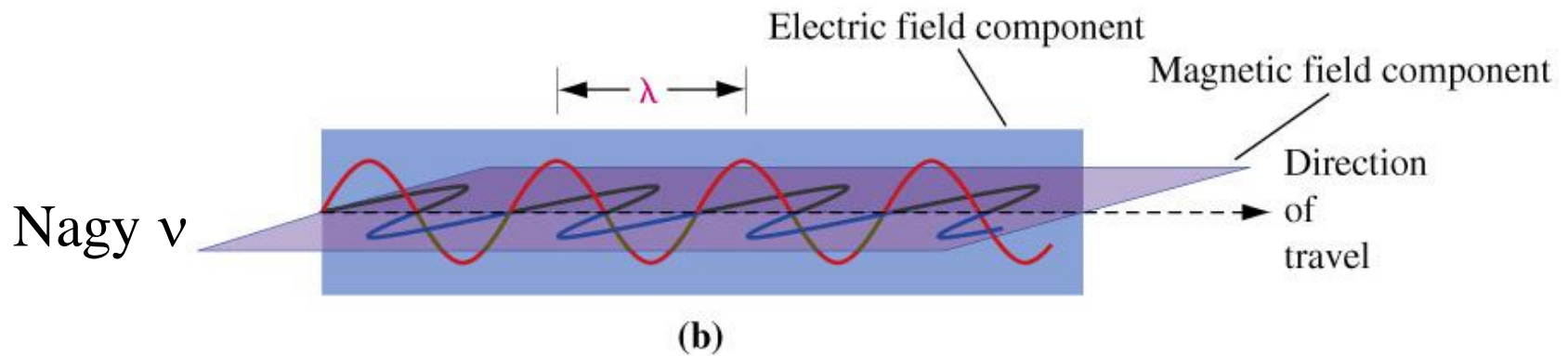
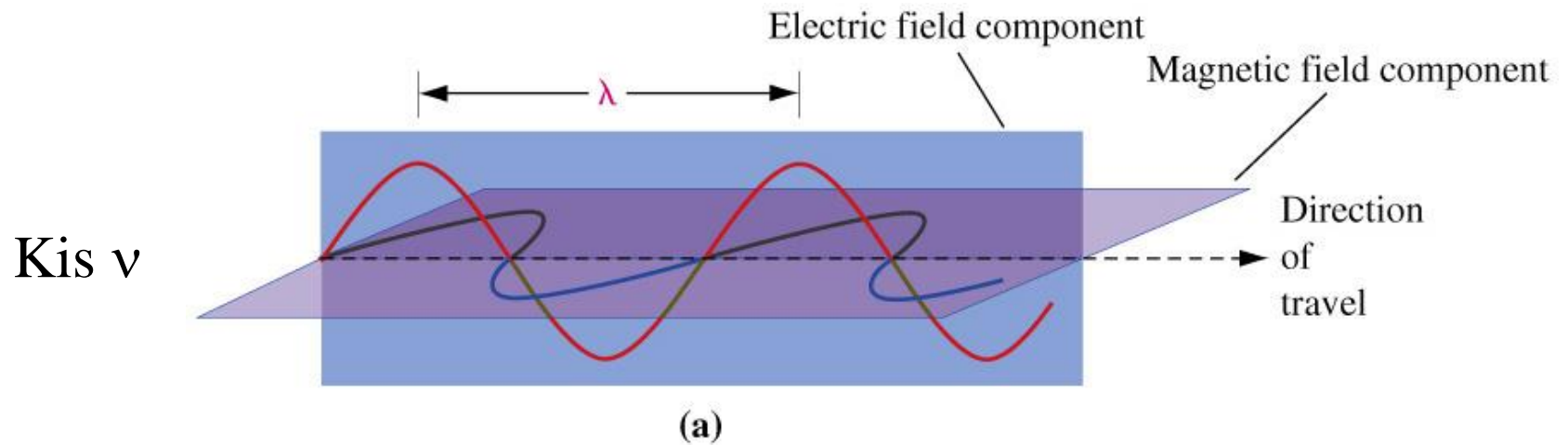
10-12 Elektron Konfigurációk és a Periódusos táblázat

# 10-1 Electromágneses sugárzás

- Elektromos és mágneses mezők hullám alakban terjednek az üres téren vagy a közegen keresztül.
- A hullám energiát visz át.



# EM sugárzás



# Frekvencia, Hullámhossz és Sebesség

- Frekvencia ( $\nu$ ) in Hertz—Hz vagy  $\text{s}^{-1}$ .

- Hullámhossz ( $\lambda$ ) méter—m.

- |                |                |                |                 |                 |
|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| cm             | $\mu\text{m}$  | nm             | $\text{\AA}$    | pm              |
| ( $10^{-2}$ m) | ( $10^{-6}$ m) | ( $10^{-9}$ m) | ( $10^{-10}$ m) | ( $10^{-12}$ m) |

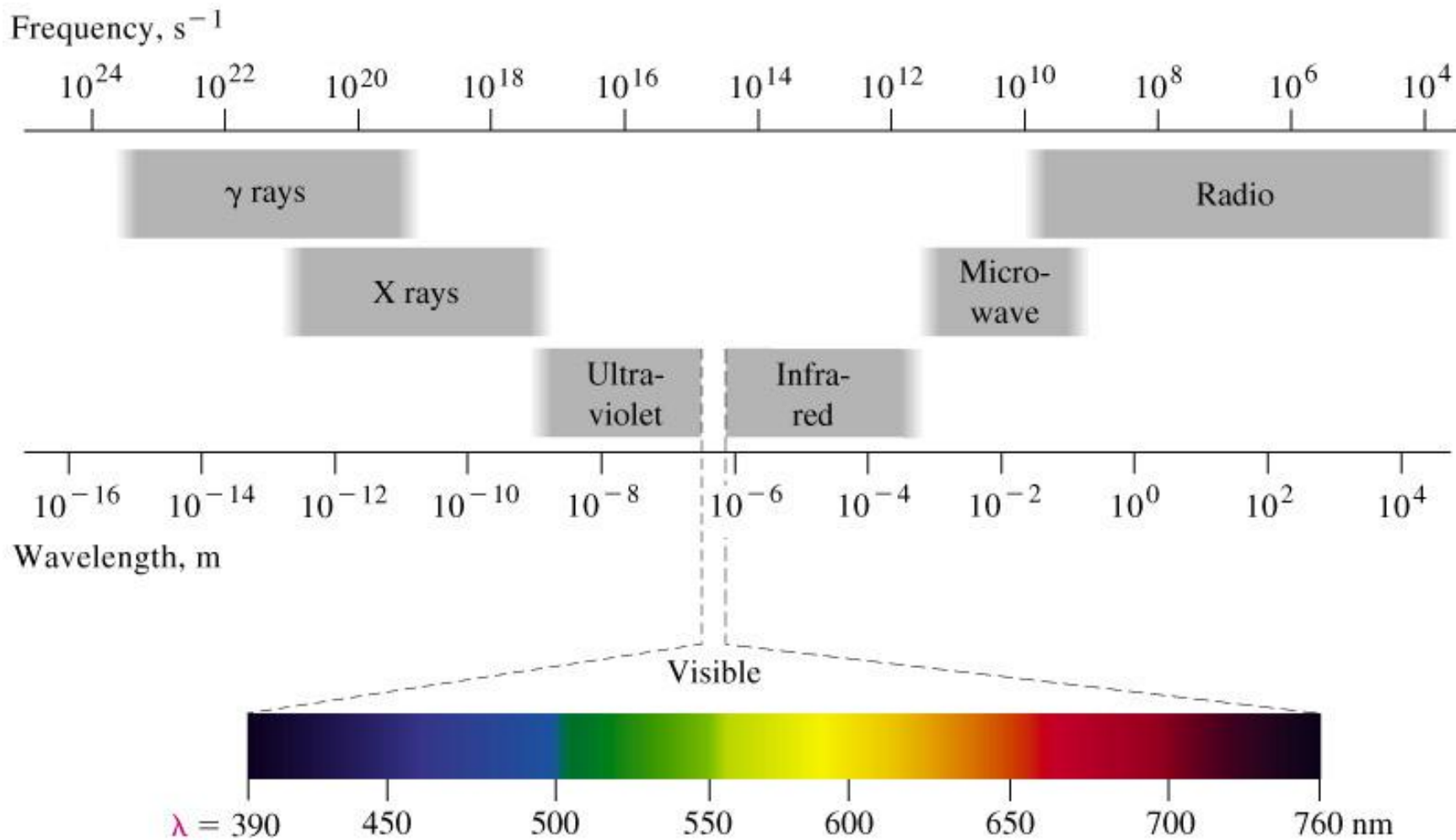
- Sebesség ( $c$ )— $2.997925 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$ .

$$c = \lambda \nu$$

$$\lambda = c/\nu$$

$$\nu = c/\lambda$$

# Electromágneses Spektrum



# ROYGBIV



Red

Orange

Yellow

700 nm

Green

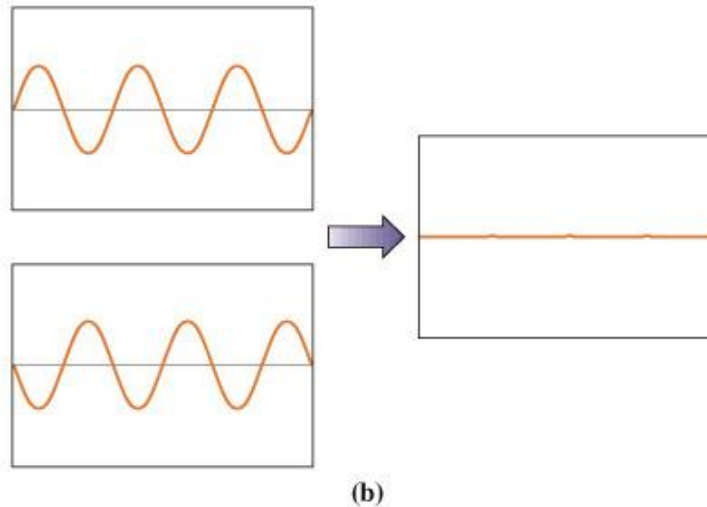
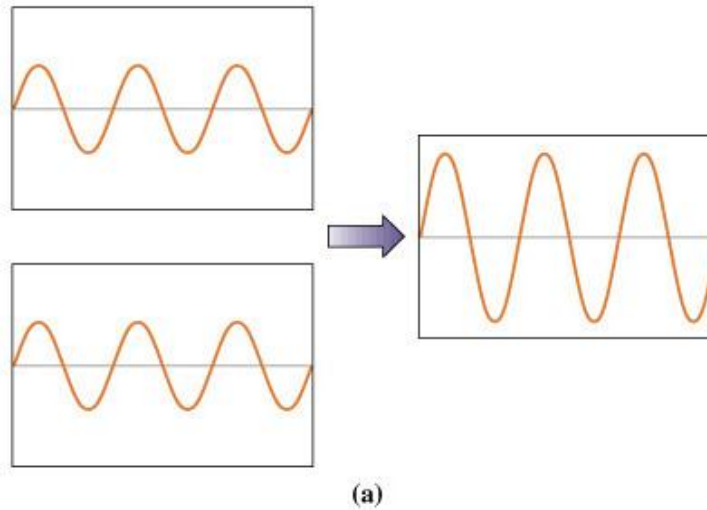
450 nm

Blue

Indigo

Violet

# Konstruktív és Destruktív Interferencia

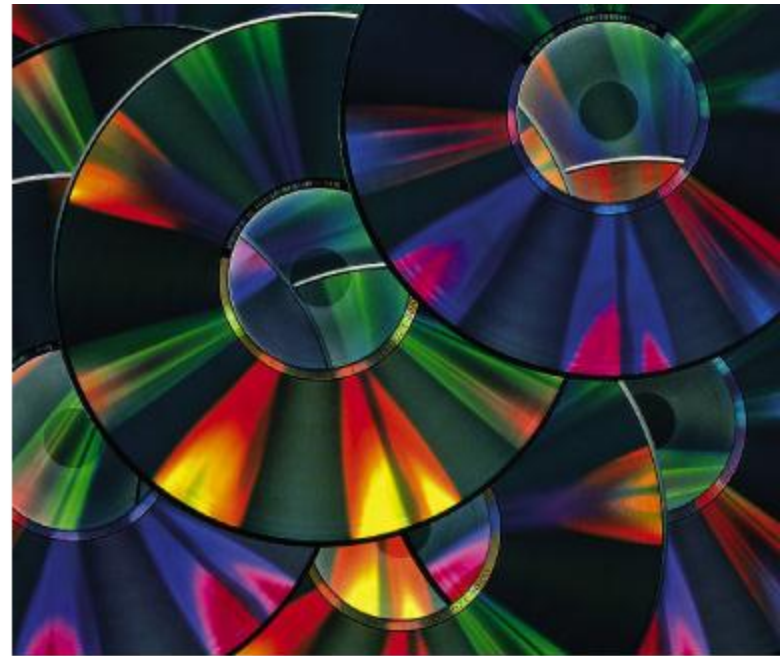




# Interferencia

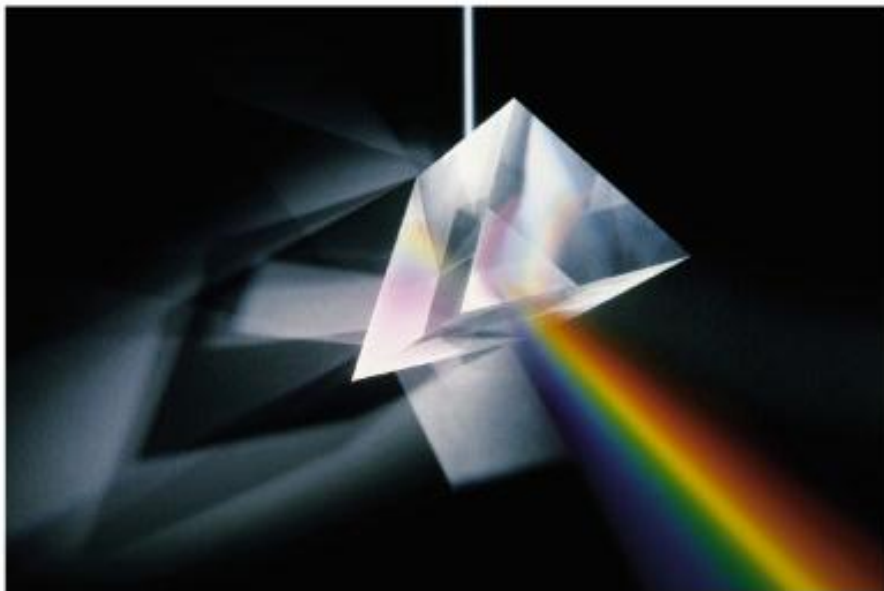


(a)



(b)

# Fénytörés



(a)



(b)

# 10-2 Atomi Spektrum



(a)

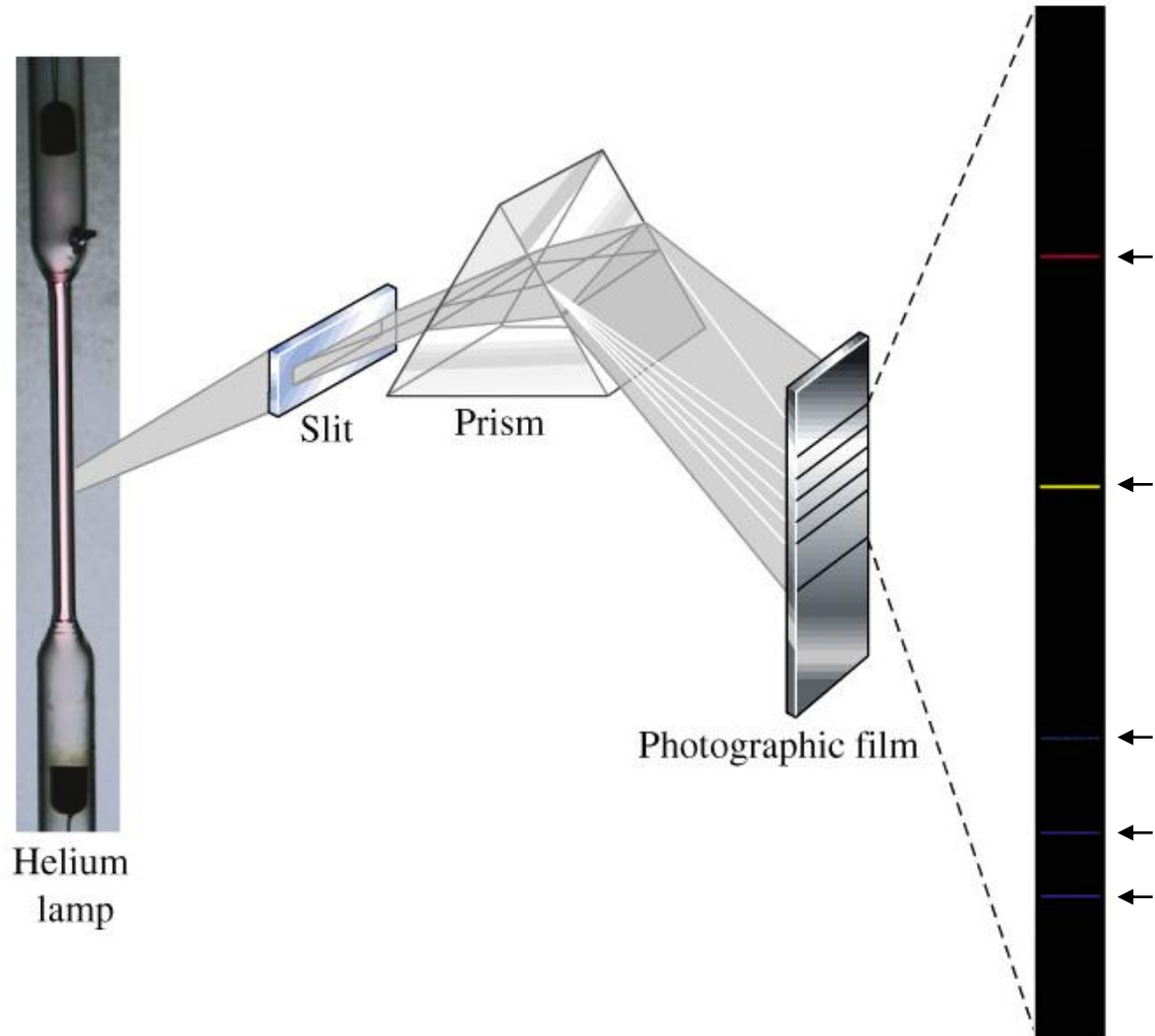
(b)

(c)

(d)

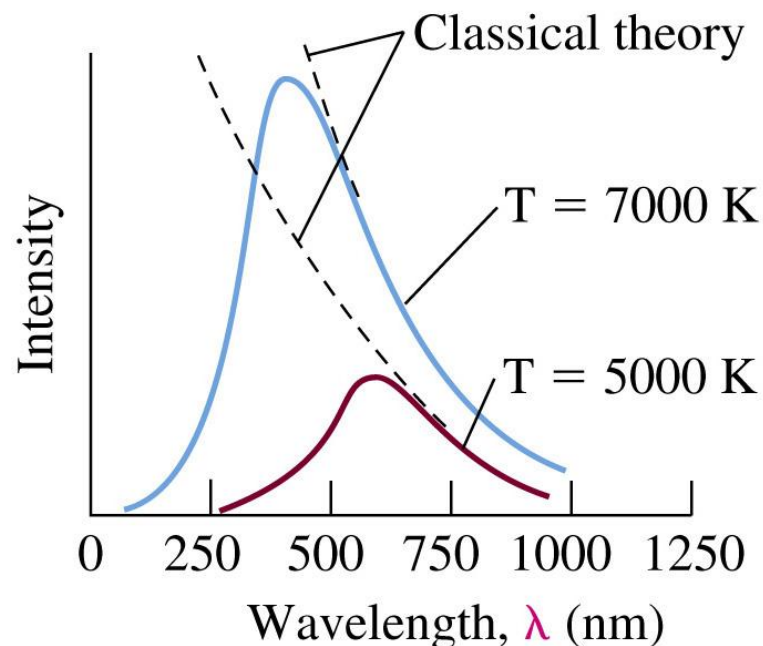
(e)

# Atomi spektrum



# 10-3 Kvantumelmélet

*Fekete test sugárzás:*



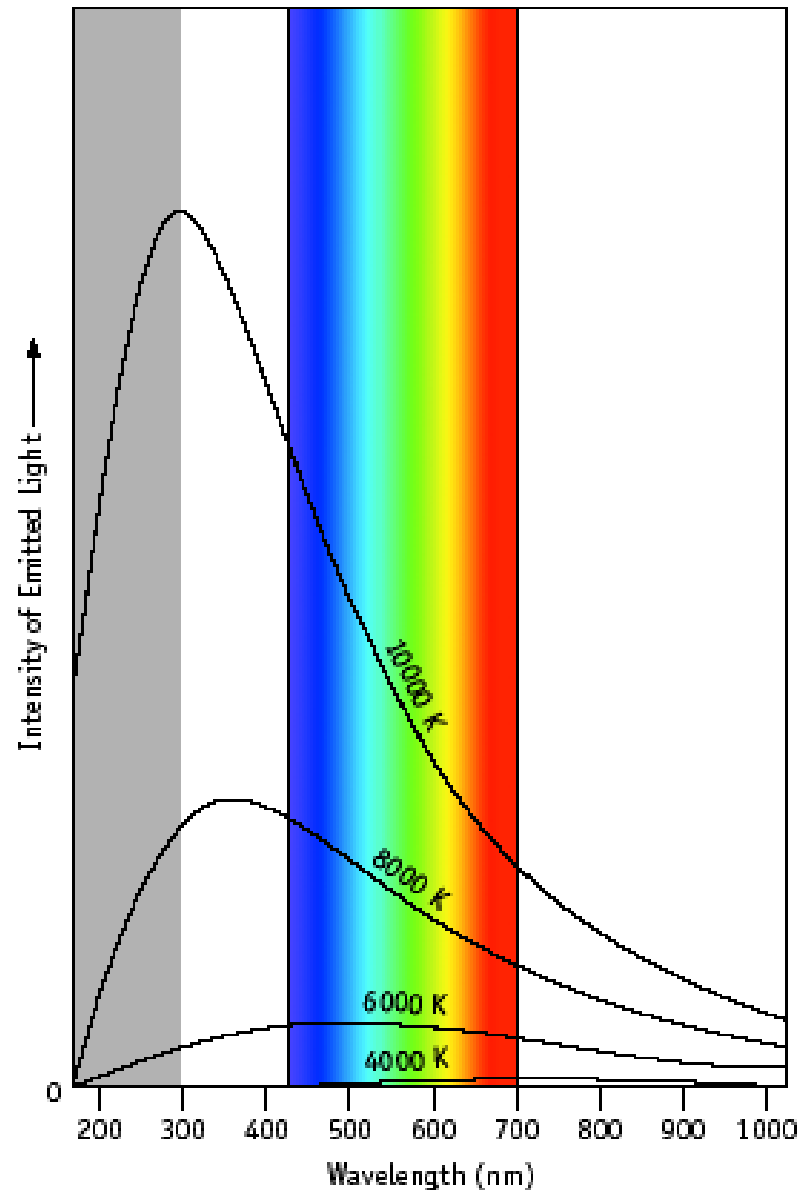
Max Planck, 1900:

Energia, az anyaghoz hasonlóan nem folytonos.

$$\epsilon = h\nu$$

# Fekete test spektruma

- A hőmérséklet emelkedésével a kibocsátott fény színe változik.
- Vörös felől a kék felé tolódik el.

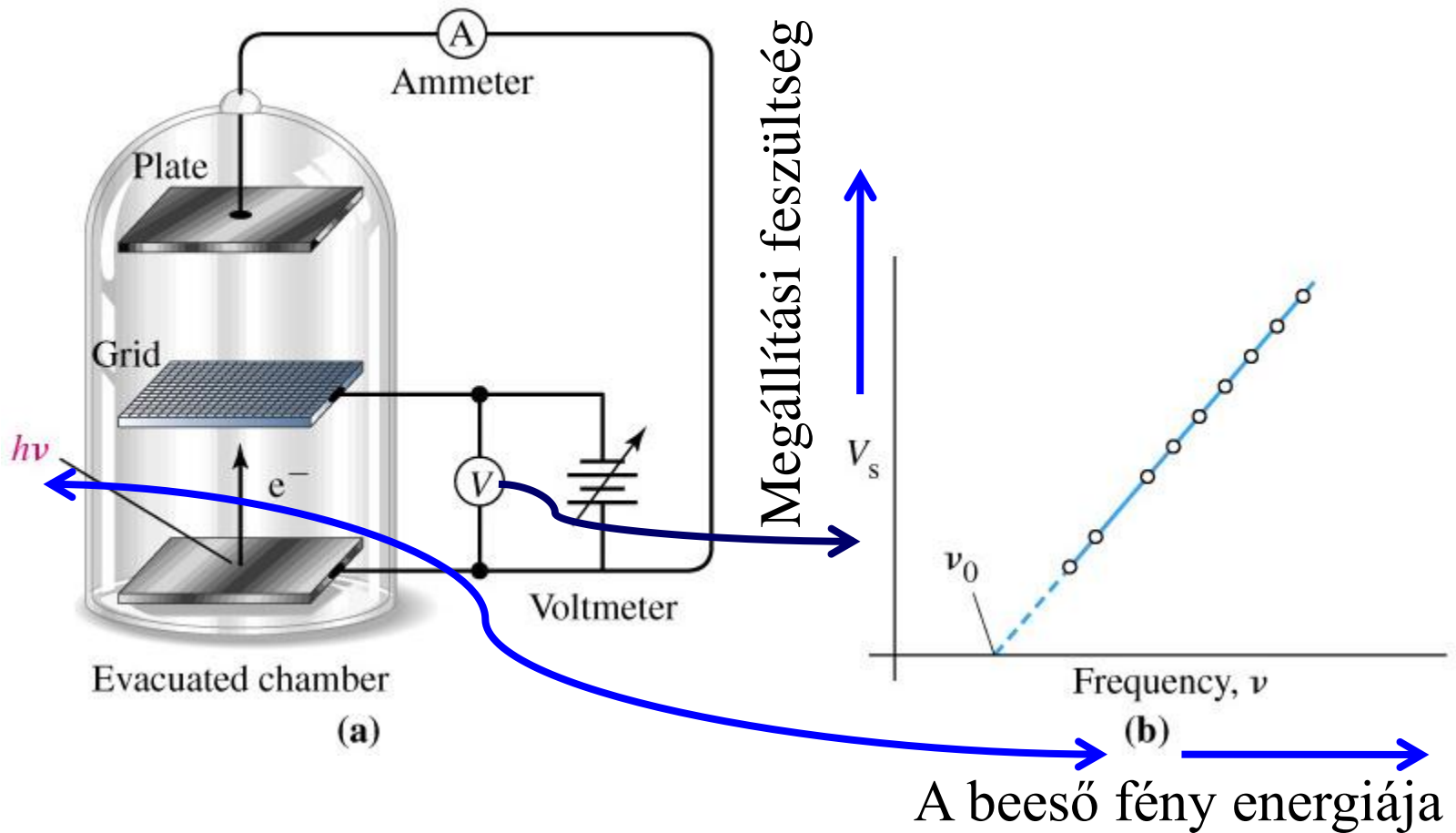


# A fotoelektromos hatás (Einstein – Nobel díj 1921)

- Bizonyos fémekre beeső elektromágneses sugárzás elektronok kibocsátását eredményezi. **Fotoelektromos hatás** (fotoeffektus, fényelektromos jelenség)

- $\nu > \nu_0$       küszöb frekvencia
- $e^- \sim I$
- $e_k \sim \nu$

# A fotoelektromos hatás

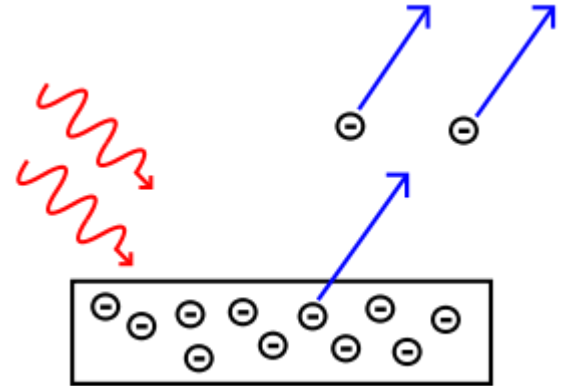




# A fotoelektromos hatás

- A megállítási feszültség: a kilöködött elektron teljes energiáját fedezi a feszültség.

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV_s$$



- Magasabb foton frekvencia (energia) mint  $\nu_0$ :

$$V_s = k (\nu - \nu_0)$$

# A fotoelektromos hatás

$$E_k = eV_s \quad E_o = hv_o \quad v_o = \frac{eV_o}{h}$$

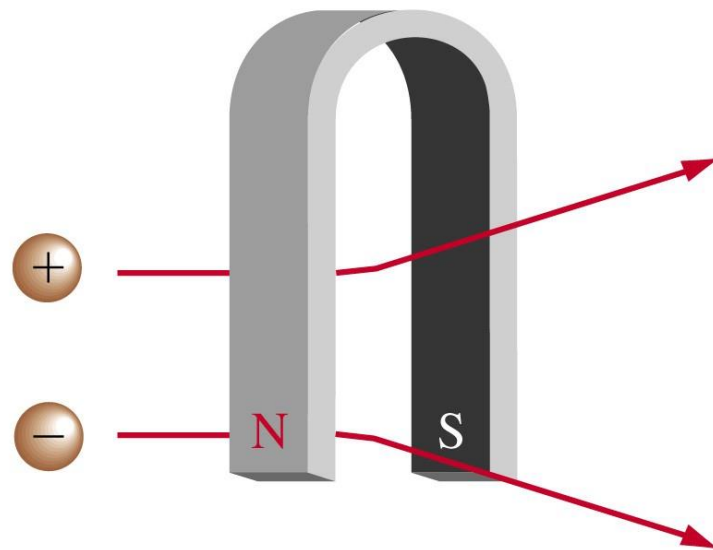
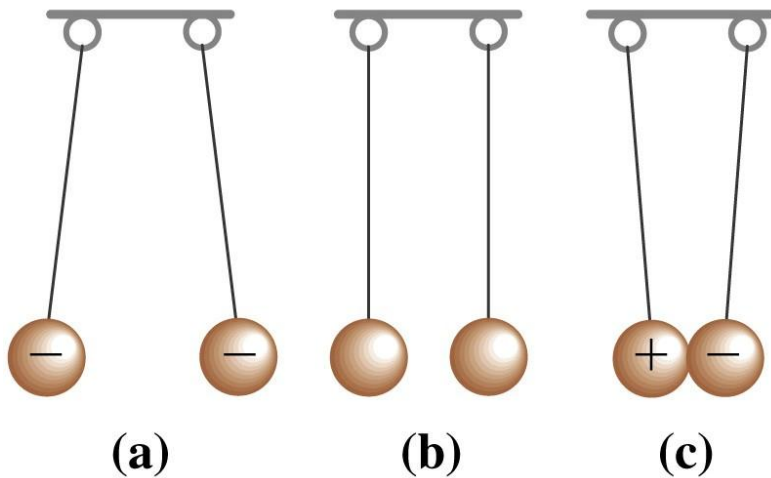
$eV_o$ , és ezért  $v_o$ , jellemző a fémre.

Az energia megmaradás elve szerint:

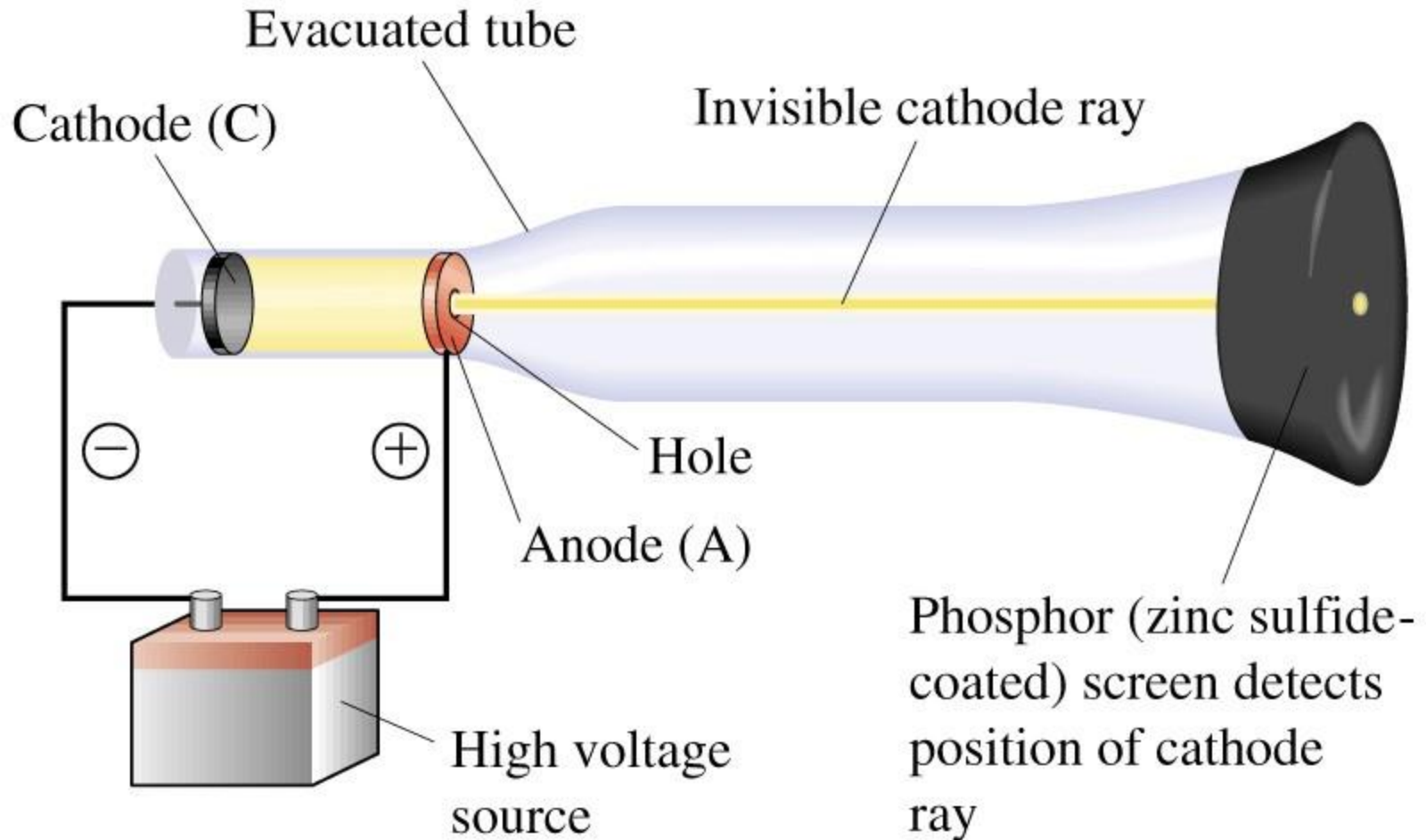
$$E_{\text{photon}} = E_k + E_{\text{binding}} \quad hv = \frac{1}{2} mv^2 + eV_o$$

$$E_k = E_{\text{photon}} - E_{\text{binding}} \quad eV_s = \frac{1}{2} mv^2 = hv - eV_o$$

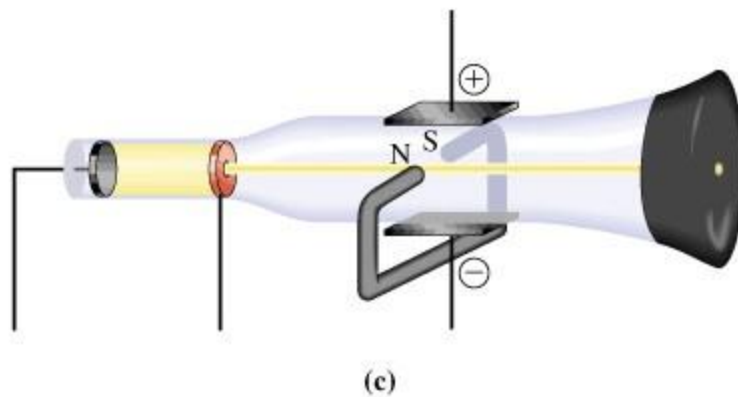
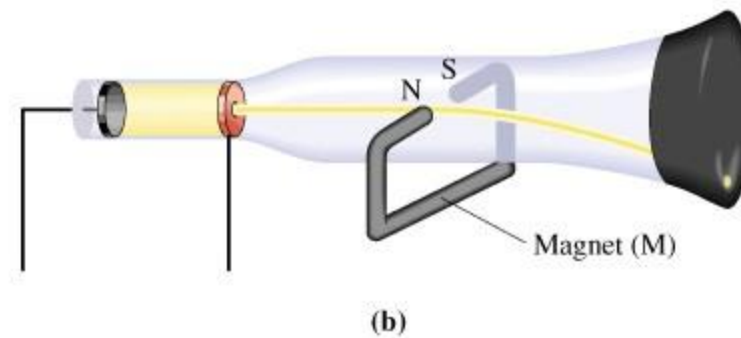
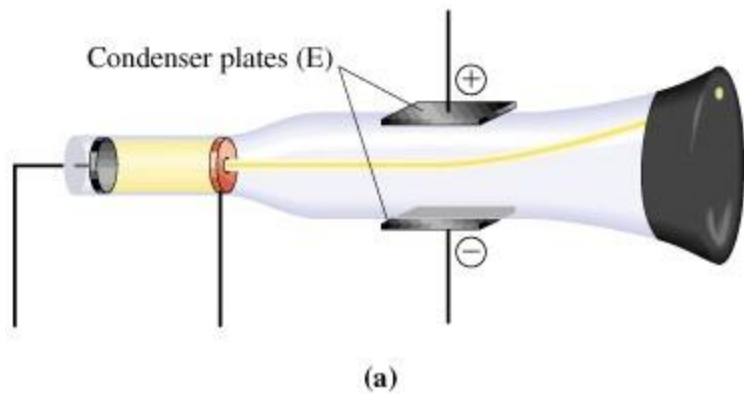
# A töltések viselkedése



# Katódsugárcső

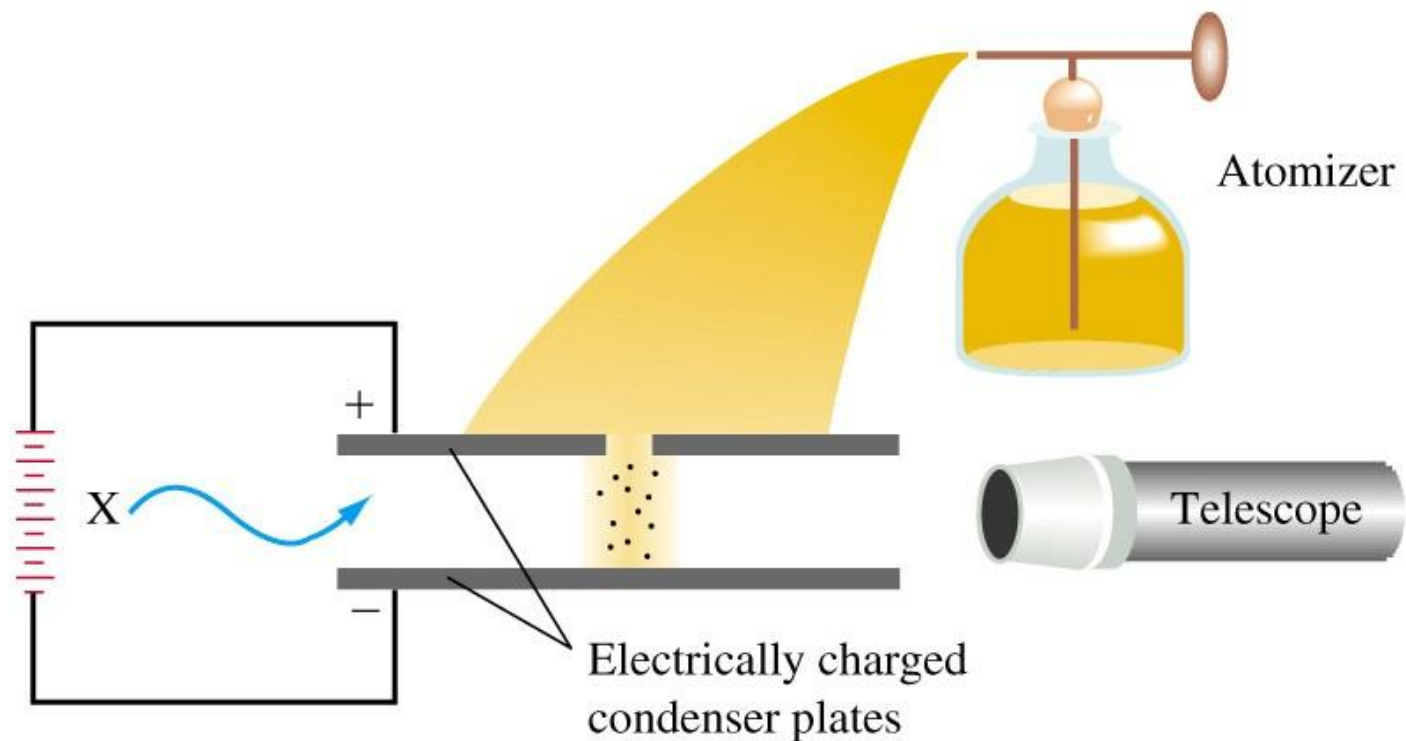


# A katódsugárcső tulajdonságai



Elektron  $m/e = -5.6857 \times 10^{-9} \text{ g coulomb}^{-1}$

# Az elektron töltése



- ☆ **1906-1914 Robert Millikan: ionizált olajcseppek esetében elektromos mezővel kiegyensúlyozta a gravitációt.**
- ☆ **A töltés az elektron töltésének ( $e$ ) egész számú többszöröse.**

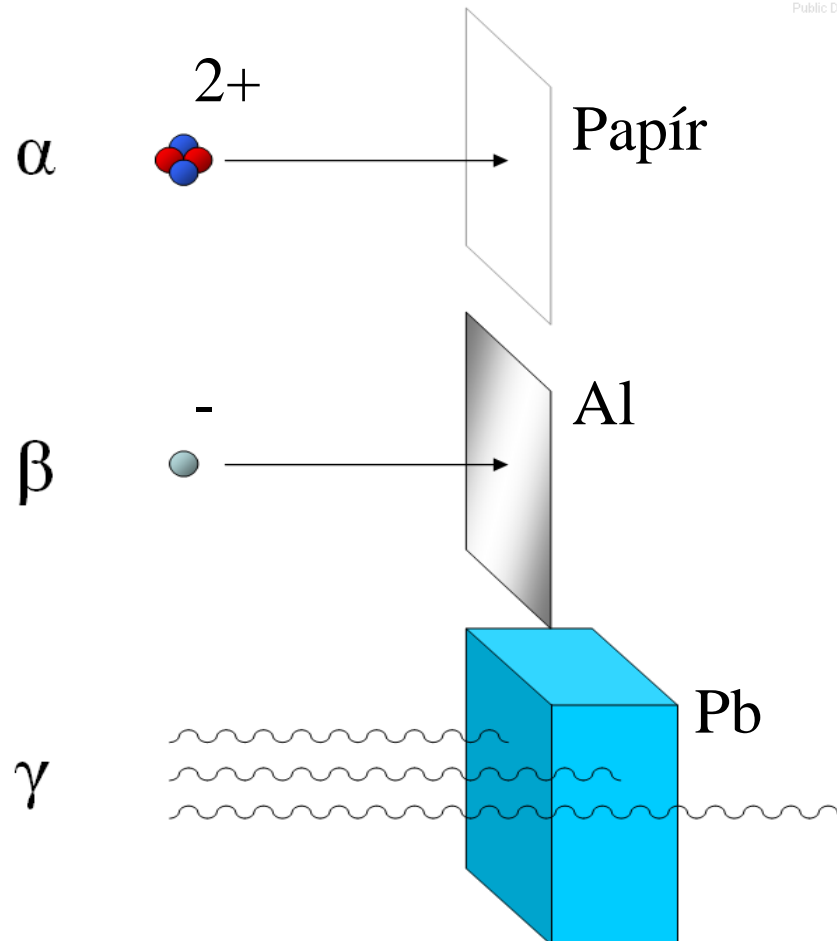
# Radioaktivitás

**A radioaktivitás a nem stabil (úgynevezett radioaktív) atommagok bomlásának következménye. Nagy energiájú ionizáló sugárzás távozik.**

- ☆  **$\alpha$ -részecskék:  $\text{He}^{2+}$  atommag, a papír elnyeli.**
- ☆  **$\beta$ -részecskék: a magból kilépő nagy sebességű elektronok, az alumínium lemez elnyeli**
- ☆  **$\gamma$ -sugárzás, nagy energiájú, vastag ólomréteg nyeli csak el.**

# Radioaktivitás

Pekka Tuominen '05  
Public Domain

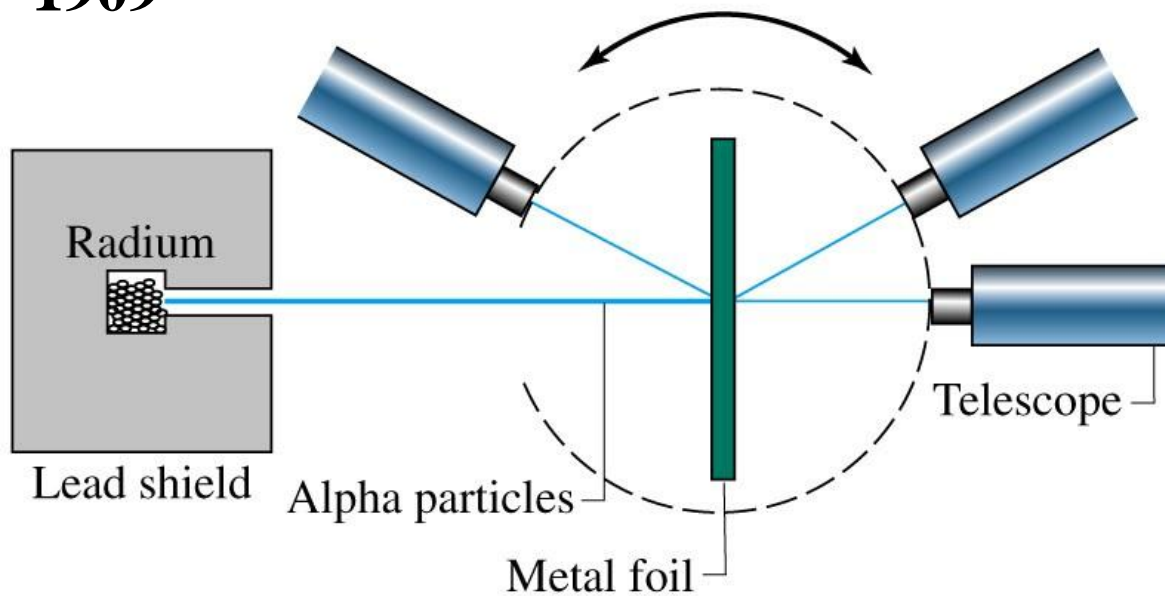


Forrás: Wikipedia.org

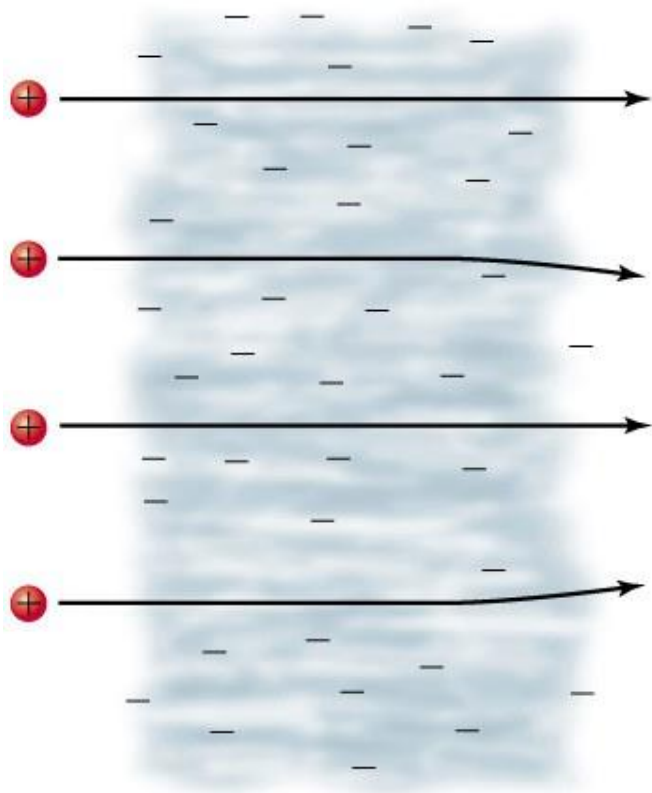


# Az atommag

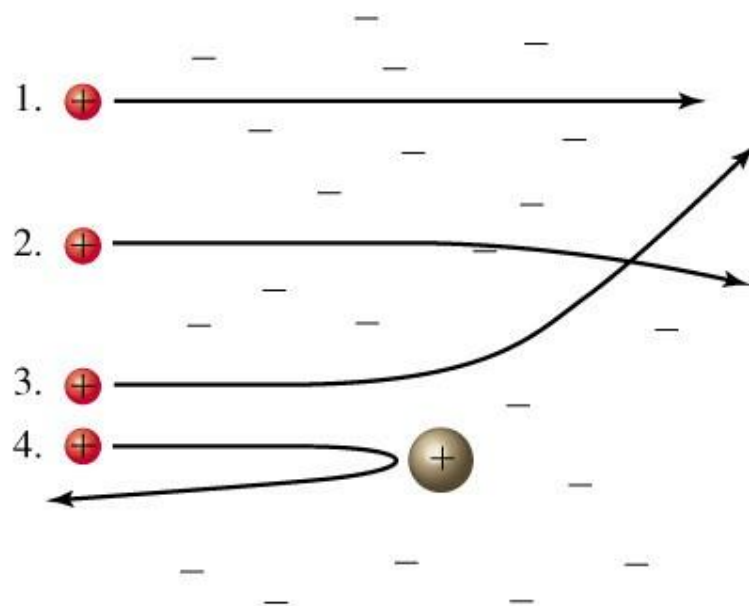
**Geiger, Mardsen és  
Rutherford  
1909**



# $\alpha$ -részecske kísérlet



☆ Az atom tömegének nagy része és a teljes pozitív töltés az atommagban koncentrálódik.



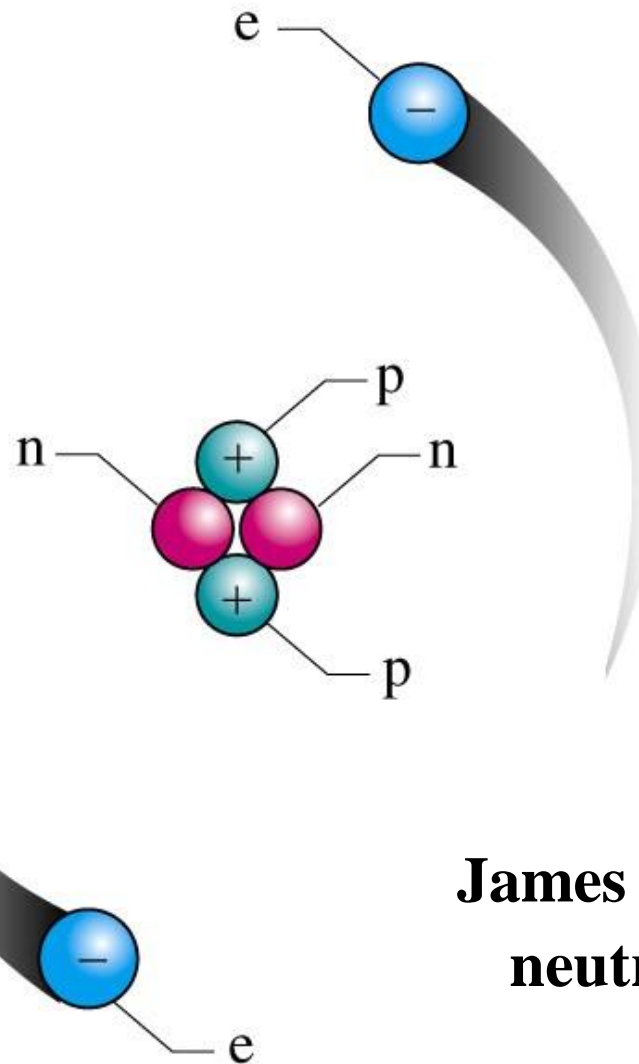
☆ Az elektronok az atommagtól távolabb helyezkednek el

# A maggal rendelkező atom

**Rutherford**  
**proton 1918**

Segré, Chamberlain  
antiproton 1955

Cork  
antineutron 1956



**James Chadwick**  
**neutron 1932**

# Az atommag

Az atom átmérője  $10^{-10}$  m  
1 Å

Az atommag átmérője  $10^{-15}$  m

<b>Részecske</b>	<b>Nyugalmi tömeg</b>		<b>Töltés</b>	
	<b>kg</b>	<b>amu</b>	<b>Coulomb</b>	<b>(e)</b>
Elektron	$9.109 \times 10^{-31}$	0.000548	$-1.602 \times 10^{-19}$	-1
Proton	$1.673 \times 10^{-27}$	1.0073	$+1.602 \times 10^{-19}$	+1
Neutron	$1.675 \times 10^{-27}$	1.0087	0	0

# Atomi dimenziók

**\* A legnehezebb atom  $4.8 \times 10^{-22}$  g  
Átmérője  $5 \times 10^{-10}$  m.**

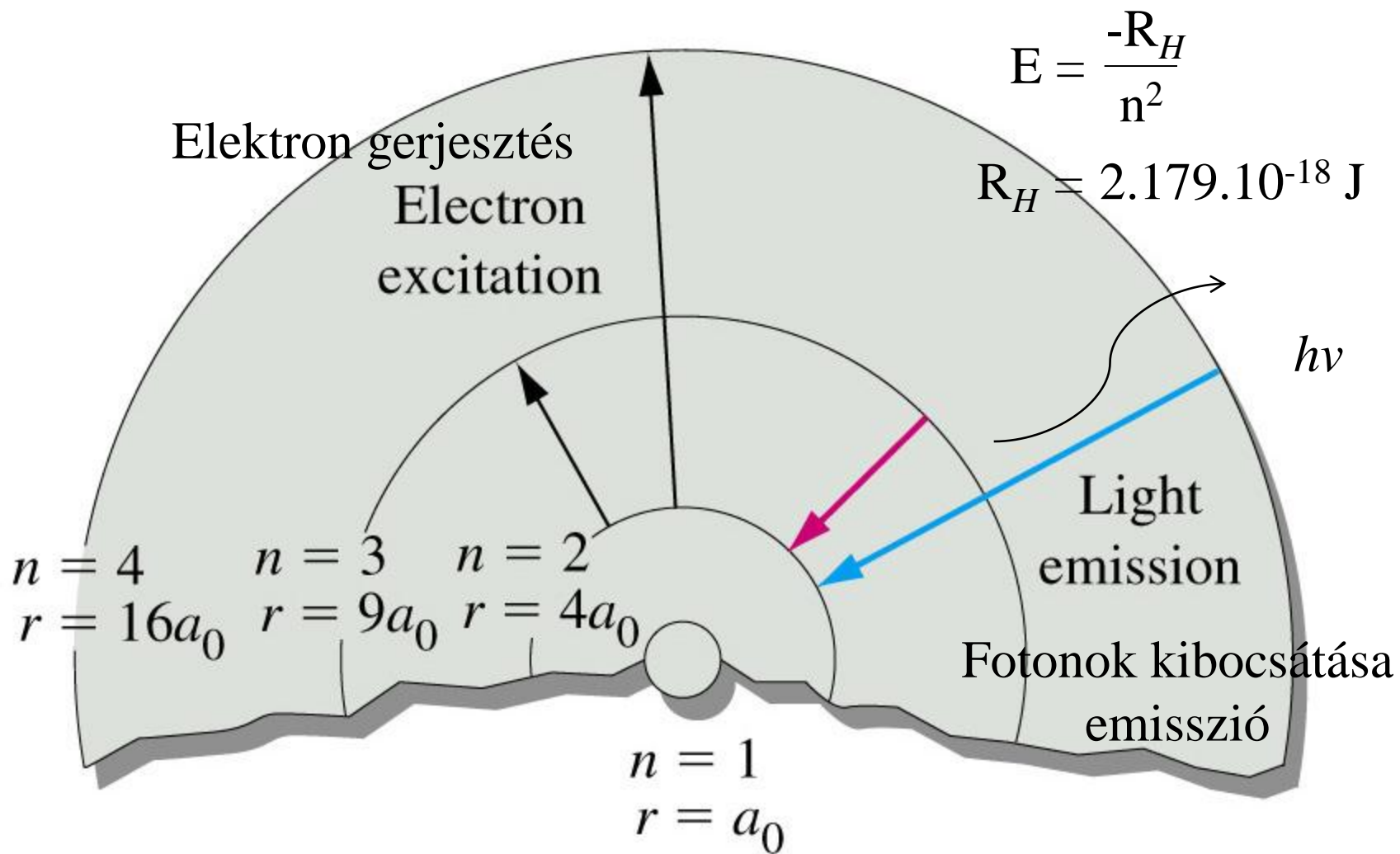
## Hasznos egységek:

- ☆ **1 amu (atomic mass unit) =  $1.66054 \times 10^{-27}$  kg**
- ☆ **1 pm (picometer) =  $1 \times 10^{-12}$  m**
- ☆ **1 Å (Angstrom) =  $1 \times 10^{-10}$  m = 100 pm =  $1 \times 10^{-8}$  cm**

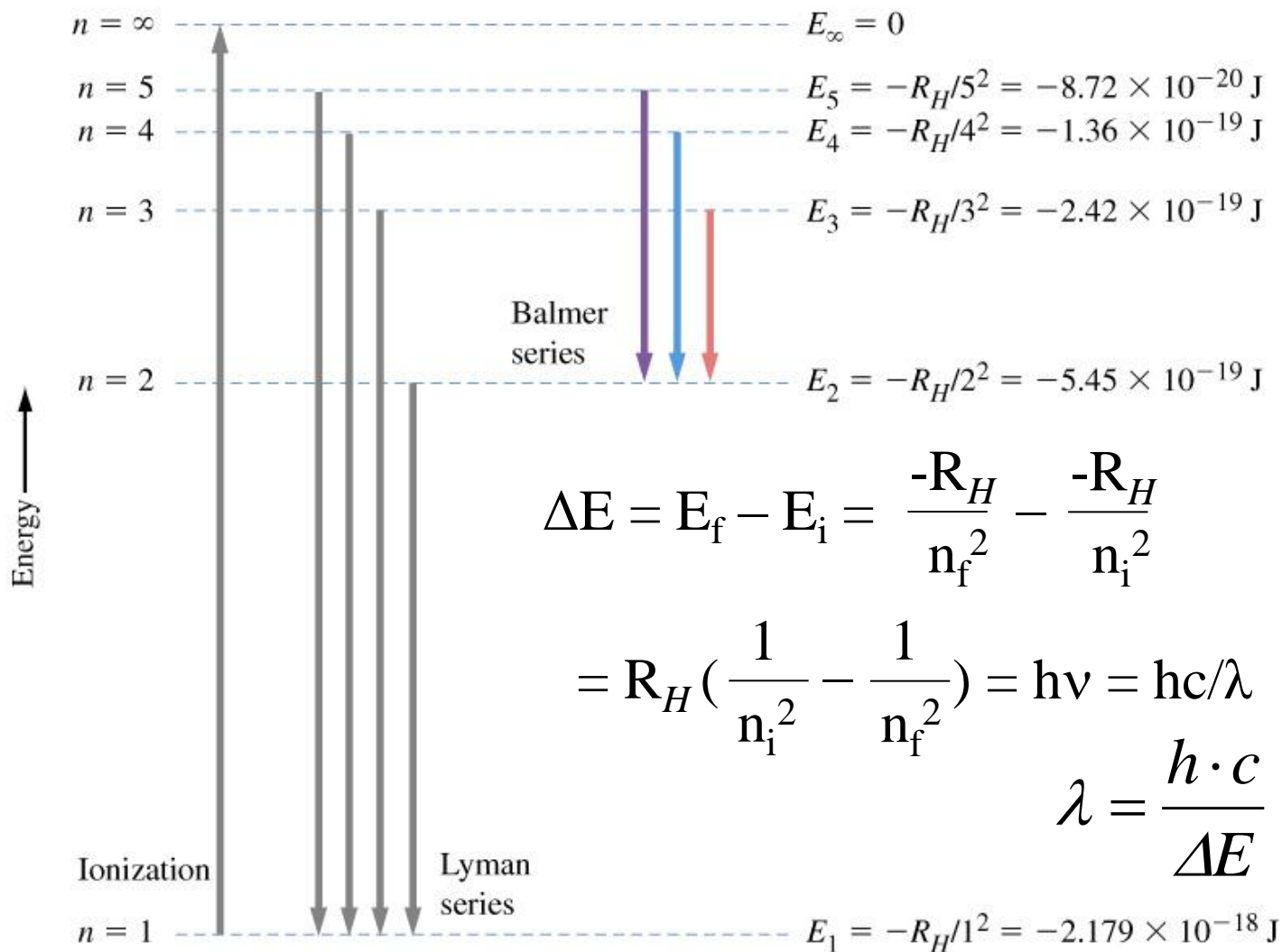
A legnagyobb atom 240 amu és 5 Å .

C-C kötés távolsága 154 pm (1.54 Å)

# 10-4 Bohr Atom



# Energia szintek

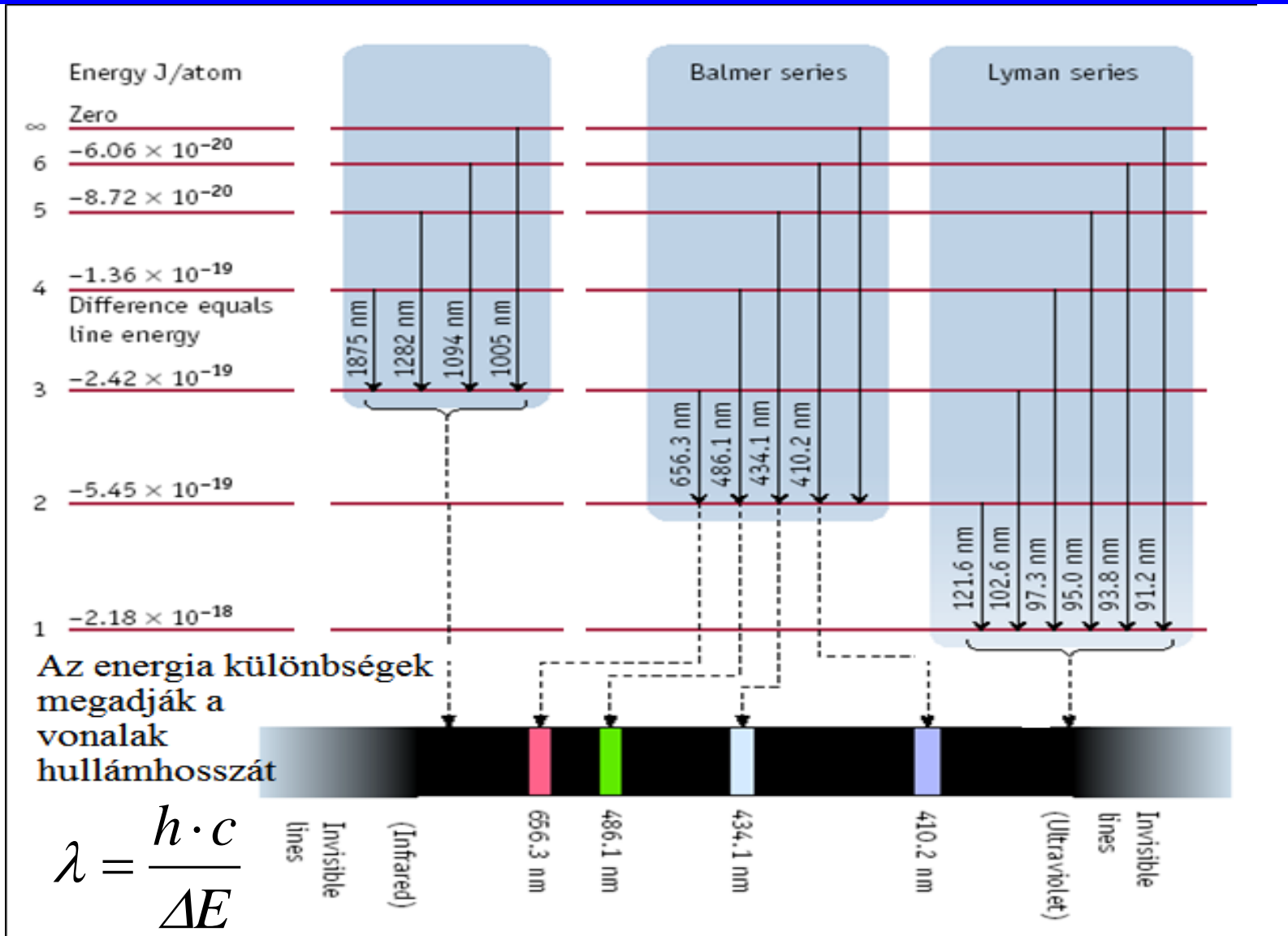


$$\Delta E = E_f - E_i = \frac{-R_H}{n_f^2} - \frac{-R_H}{n_i^2}$$

$$= R_H \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) = h\nu = hc/\lambda$$

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta E}$$

# A hidrogén emisszós spektruma (nm)





# A hidrogén ionizációs energiája

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

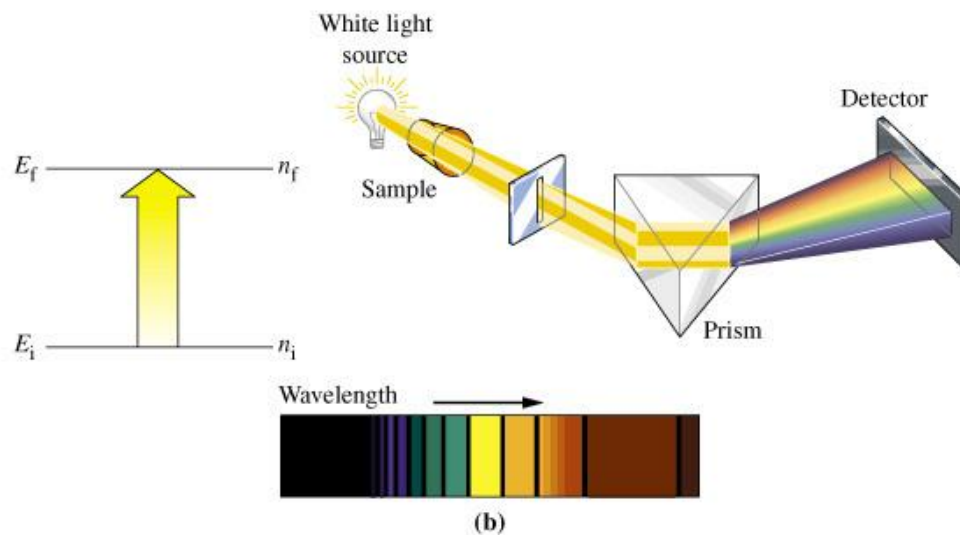
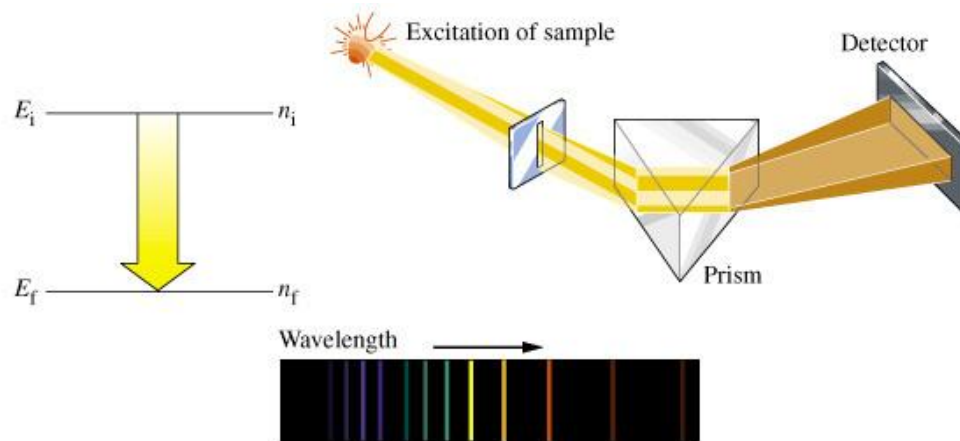
Ha  $n_f$  végtelenhez tart :

$$h\nu = R_H \left( \frac{1}{n_i^2} \right) = R_H$$

A hidrogénszerű ionokra is érvényes, pl.  $\text{He}^+$ ,  $\text{Li}^{2+}$ ...

$$h\nu = Z^2 R_H$$

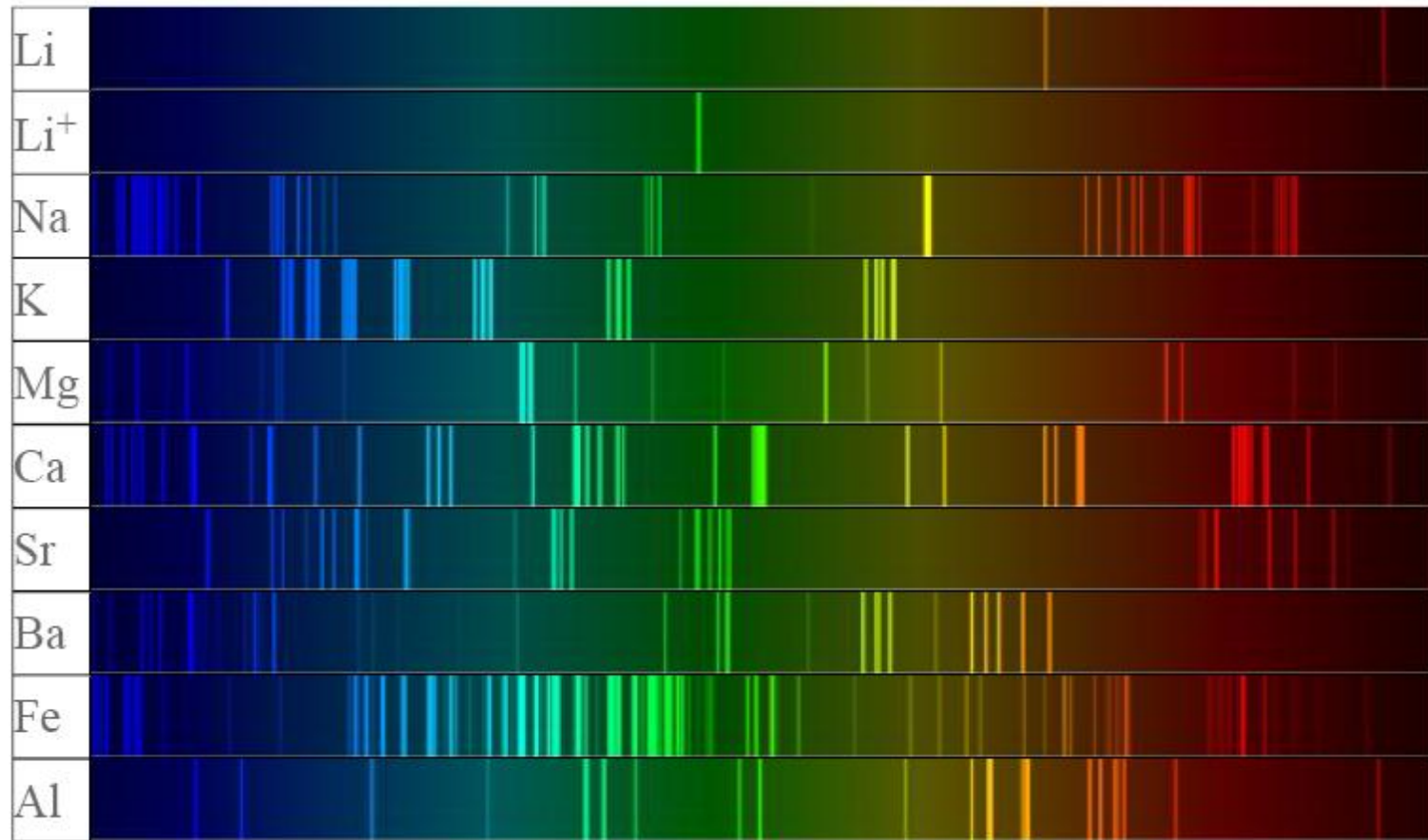
# Emissziós és abszorpciós spektroszkópia



# Látható atomi emissziós spektrum

Color coded visible atomic emission spectra lines

wave length: 440-680 nm.



# 10-5 Az új kvantummechanika

- Hullám-részecske természet.
  - Einstein fotonok: ezzel magyarázható a fotoelektromos jelenség.
  - A diffrakció szerint viszont a fény hullám.
- deBroglie, 1924
  - Az anyag kis részecskéi kettős természetűek.

# deBroglie anyaghullámok

$$E = mc^2$$

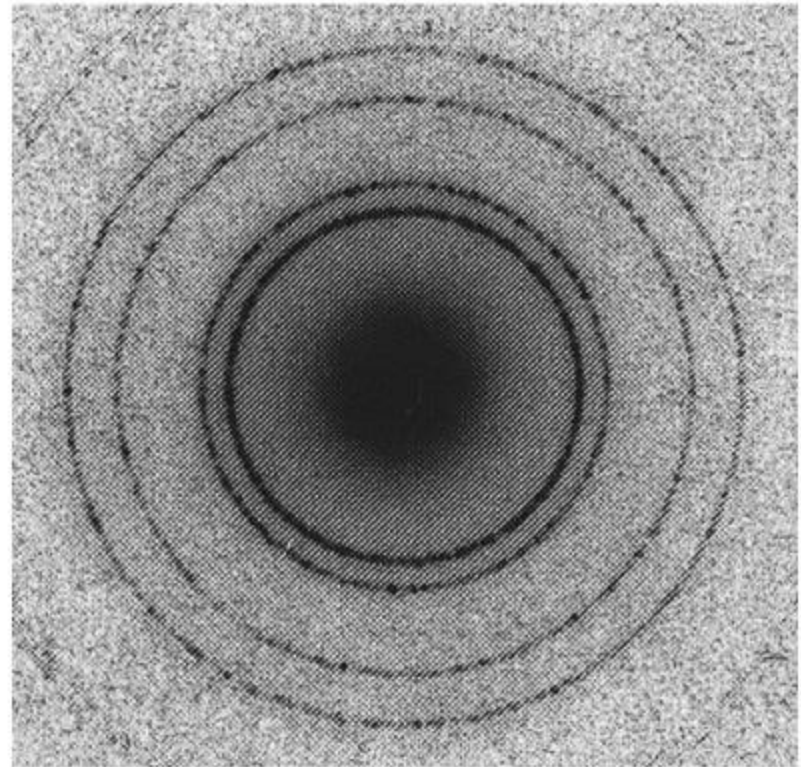
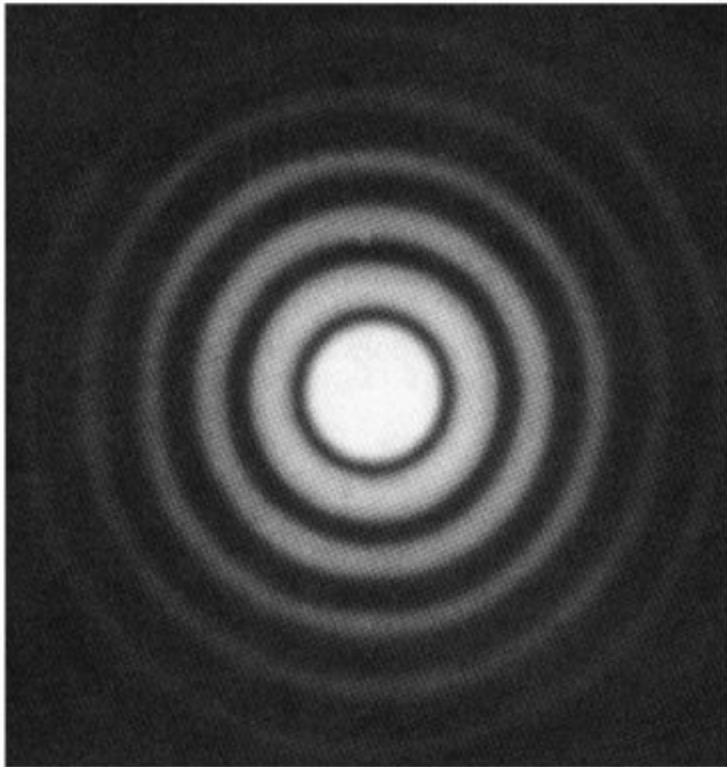
$$h\nu = mc^2$$

$$h\nu/c = mc = p$$

$$p = h/\lambda$$

$$\lambda = h/p = h/mv$$

# X-Ray (Röntgen) Diffrakció



# A bizonytalansági elv

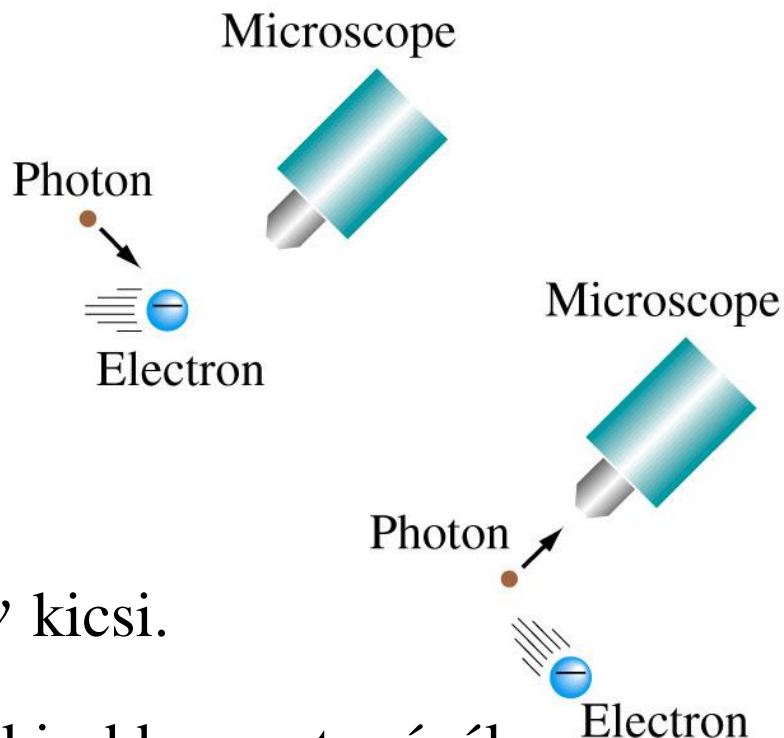
- Werner Heisenberg 1927

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

$$\Delta x \cdot m \cdot \Delta v \geq \frac{\hbar}{2}$$

Ha nagy tömeg ( $m$ ) a  $\Delta x \cdot \Delta v$  kicsi.

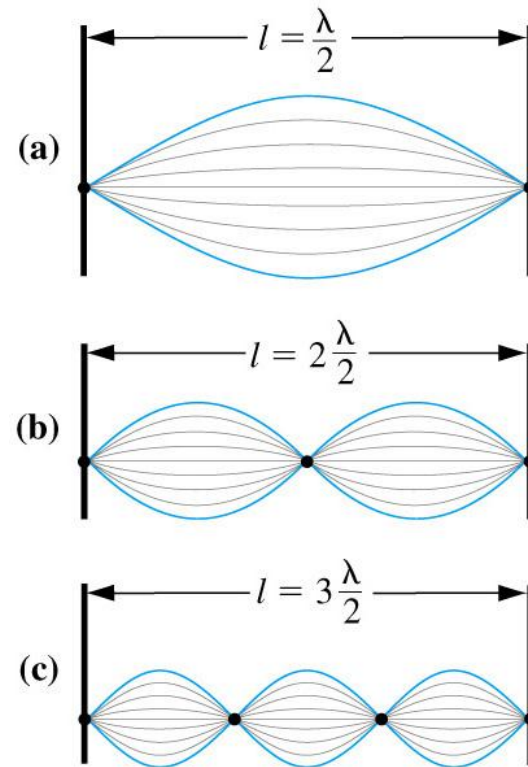
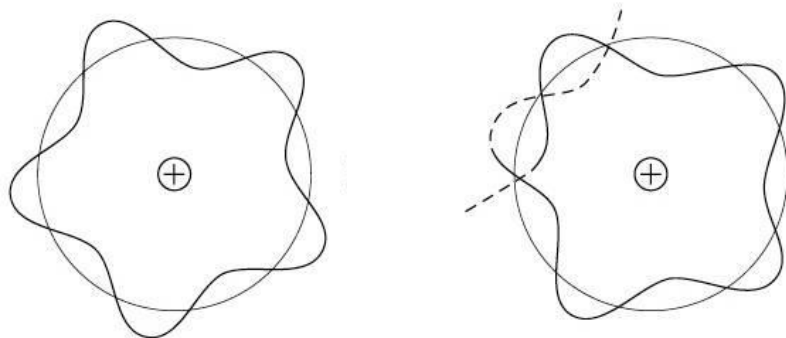
Az elektron tömege 2000-szer kisebb a protonénál, ezért az elektron esetében ez a bizonytalanság jobban érzékelhető



# 10-6 Hullámmechanika

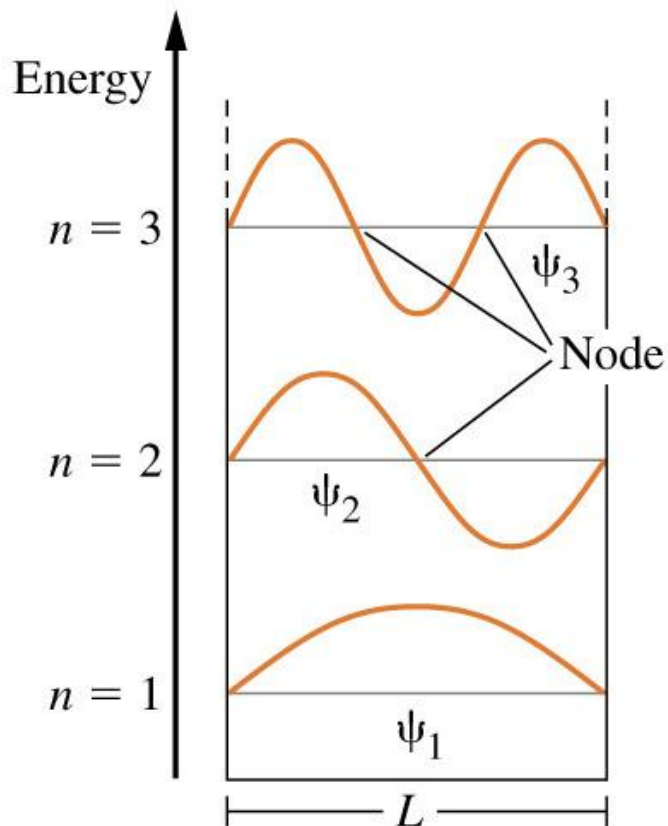
- Álló hullámok.
  - A zérushelyek (csomópontok ,  
angolul: nodes)  
nem változtatják a helyzetüket.

$$\lambda = \frac{2L}{n}, n = 1, 2, 3 \dots$$





# Hullámfüggvények



$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin \frac{n\pi}{L} x$$

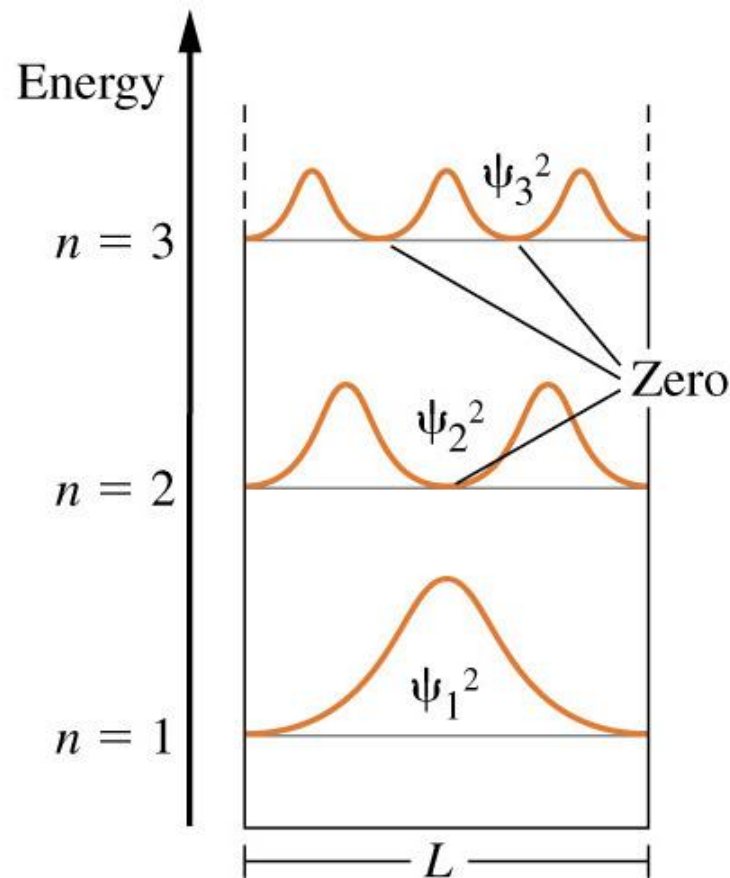
The wave functions

- $\psi$ , pszi, hullámfüggvény.
  - Egy álló hullámfüggvény a rendszer határain belül.
- Részecske 1 dimenziós potenciáldobozban:

$$\psi_n = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

$$E_n = (n\pi/L)^2 / 2$$

# Az elektron megtalálási valószínűsége



Probability  
valószínűség

(az energiaskála nem  
méretarányos,)

$$\psi_n^2(x) = \frac{2}{L} \sin^2\left(\frac{n\pi}{L}x\right)$$

The probabilities

# Hamilton operátor

- A teljes energia = kinetikus + potenciális

$$H = T + V \xrightarrow{\text{operátor}} \hat{H} = \hat{T} + \hat{V}$$

$$T = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} \xrightarrow{\text{operátor}} \hat{T} = \frac{\hat{p}^2}{2m}$$

$$\hat{p} = -i\hbar\nabla = -i\hbar\left(\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}\right) \quad \hat{p}(x) = -i\hbar \frac{d}{dx}$$

$$\hat{T} = \frac{\hat{p}^2}{2m} = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 = -\frac{\hbar^2}{2m}\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)$$

# Hamilton operator 2.

- A potenciális energia operátora, atomi egység

$$\hat{V} = \frac{q_Z \cdot q_e}{\hat{r}} = \frac{q_Z \cdot q_e}{|\hat{r}_Z - \hat{r}_e|}$$

- Ahol a mag töltése:  $q_Z = +1$
- Ahol az elektron töltése:  $q_e = -1$
- Ahol  $r_Z$  a mag helyzete,  $r_Z = 0,0,0$  (origó)

$$\hat{H} = \hat{T} + \hat{V} = -\frac{\nabla^2}{2} - \frac{1}{|\hat{r}_e|}$$

# Kvantumfizika és kémia



E. Schrödinger

The fundamental idea  
of wave mechanics



$$\hat{H}|\Psi\rangle = E|\Psi\rangle$$



P. A. M. Dirac

Theory of electrons and  
positrons

# Hidrogénatom hullámfüggvényei

- Schrödinger, 1927:  $\hat{H}\Psi = E\Psi$

Gömbszimmetrikus potenciáltér

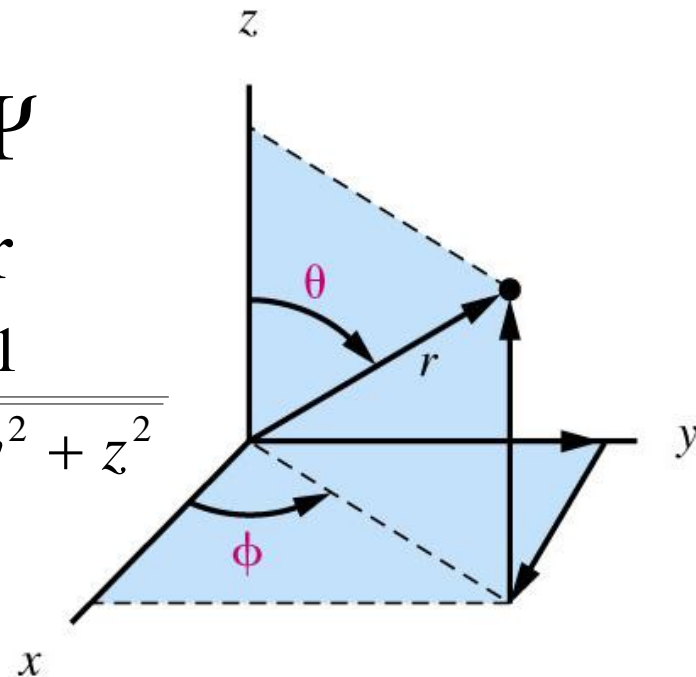
$$V(x,y,z) = -1/r \quad -\frac{1}{r} = \frac{-1}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$$

–  $\mathcal{H}(x,y,z) \Rightarrow \mathcal{H}(r,\theta,\phi)$   
(derékszögű  $\Rightarrow$  polár)

$$\psi(r,\theta,\phi) = R(r) Y(\theta,\phi)$$

$R(r)$  radiális hullámfüggvény.

$Y(\theta,\phi)$  szögfüggő hullámfüggvény.



Spherical polar coordinates

$$x^2 + y^2 + z^2 = r^2$$

$$x = r \sin \theta \cos \phi$$

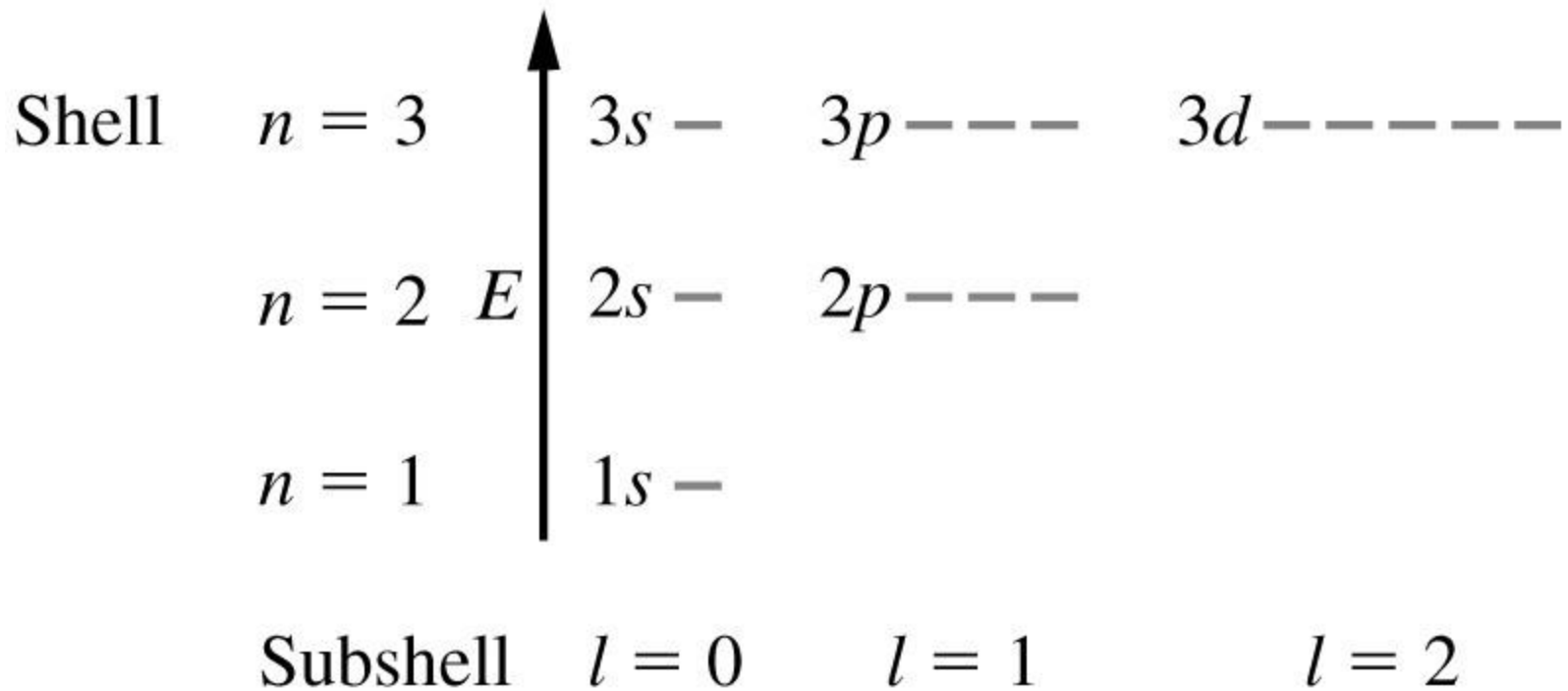
$$y = r \sin \theta \sin \phi$$

$$z = r \cos \theta$$

# 10-7 Kvantumszámok

- Fő-kvantumszám (héjak, an. Shell),  
 $n = 1, 2, 3 \dots$
- Szögfüggő mellék-kvsz. (alhéjak, an. subshell),  
 $\ell = 0, 1, 2 \dots (n-1)$ 
  - $\ell = 0, s$
  - $\ell = 1, p$
  - $\ell = 2, d$
  - $\ell = 3, f$
- mágneses kvantumszám,  
 $m_l = -\ell \dots -2, -1, 0, 1, 2 \dots +\ell$

# Pálya energiák



Each subshell is made up of  $(2l + 1)$  orbitals.



# Az atompályák alakja, egyenletek:

Angular Part  $Y(\theta, \phi)$

$$Y(s) = \left(\frac{1}{4\pi}\right)^{1/2}$$

$$Y(p_x) = \left(\frac{3}{4\pi}\right)^{1/2} \sin \theta \cos \phi$$

$$Y(p_y) = \left(\frac{3}{4\pi}\right)^{1/2} \sin \theta \sin \phi$$

$$Y(p_z) = \left(\frac{3}{4\pi}\right)^{1/2} \cos \theta$$

$$Y(d_{z^2}) = \left(\frac{5}{16\pi}\right)^{1/2} (3 \cos^2 \theta - 1)$$

$$Y(d_{x^2-y^2}) = \left(\frac{15}{4\pi}\right)^{1/2} \sin^2 \theta \cos 2\phi$$

$$Y(d_{xy}) = \left(\frac{15}{4\pi}\right)^{1/2} \sin^2 \theta \sin 2\phi$$

$$Y(d_{xz}) = \left(\frac{15}{4\pi}\right)^{1/2} \sin \theta \cos \theta \cos \phi$$

$$Y(d_{yz}) = \left(\frac{15}{4\pi}\right)^{1/2} \sin \theta \cos \theta \sin \phi$$

and

Radial Part  $R_{n,\ell}(r)$

$$R(1s) = 2 \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} e^{-\sigma/2}$$

$$R(2s) = \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} (2 - \sigma) e^{-\sigma/2}$$

$$R(3s) = \frac{1}{9\sqrt{3}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} (6 - 6\sigma + \sigma^2) e^{-\sigma/2}$$

$$R(2p) = \frac{1}{2\sqrt{6}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \sigma e^{-\sigma/2}$$

$$R(3p) = \frac{1}{9\sqrt{6}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} (4 - \sigma) \sigma e^{-\sigma/2}$$

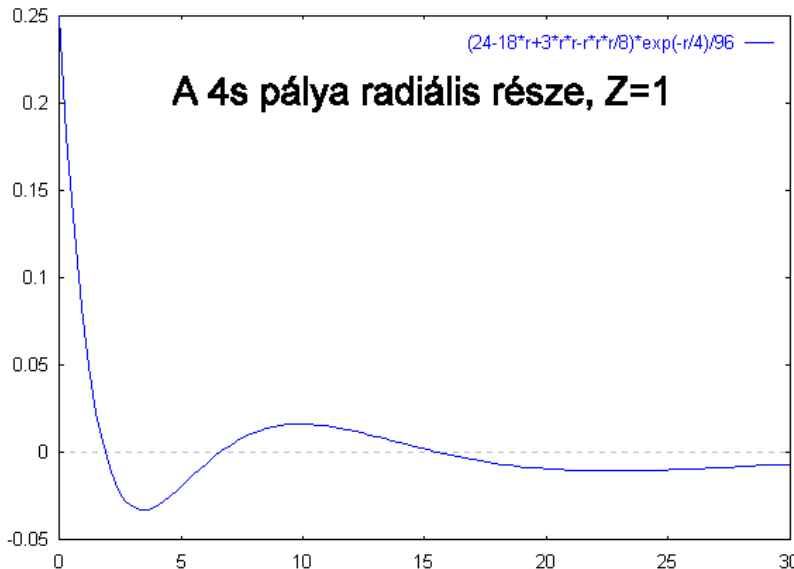
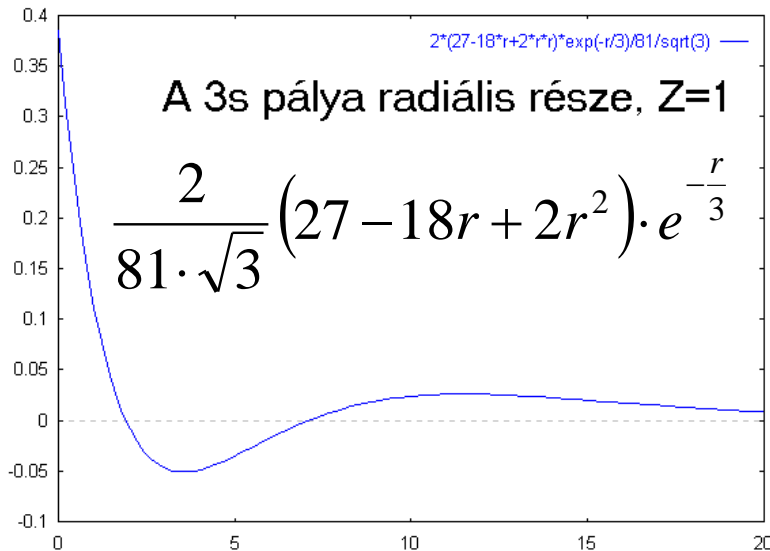
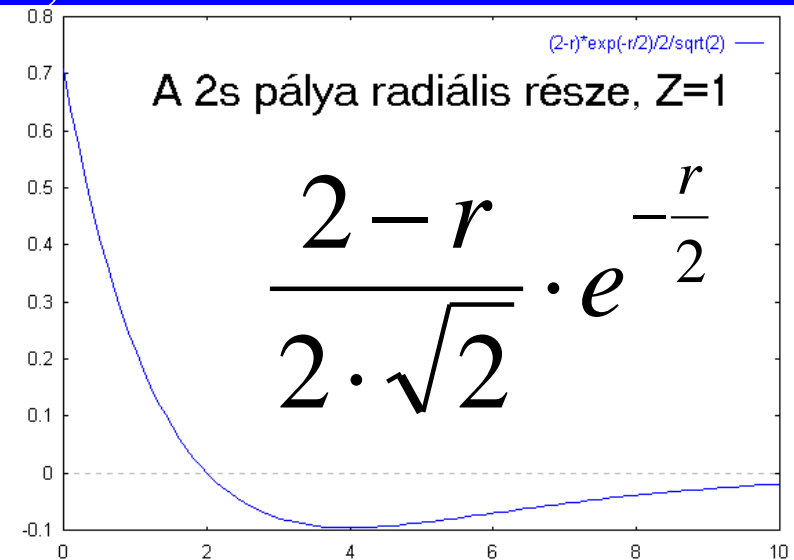
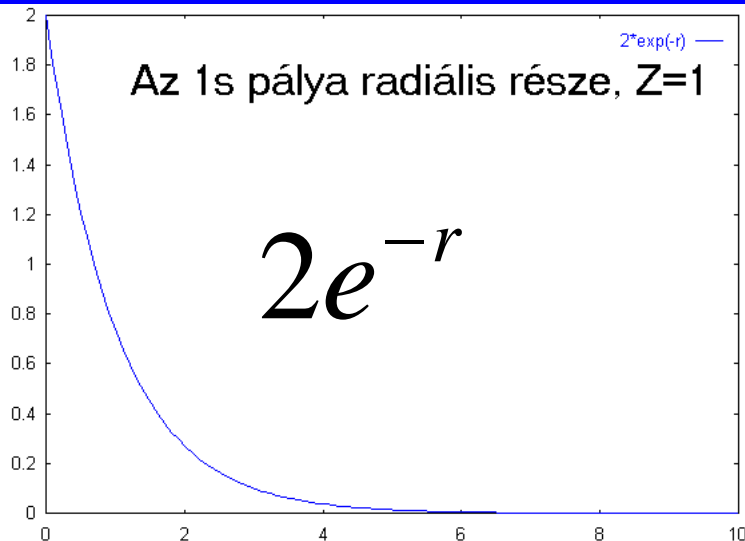
$$R(3d) = \frac{1}{9\sqrt{30}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \sigma^2 e^{-\sigma/2}$$

$$\sigma = \frac{2Zr}{na_0}$$

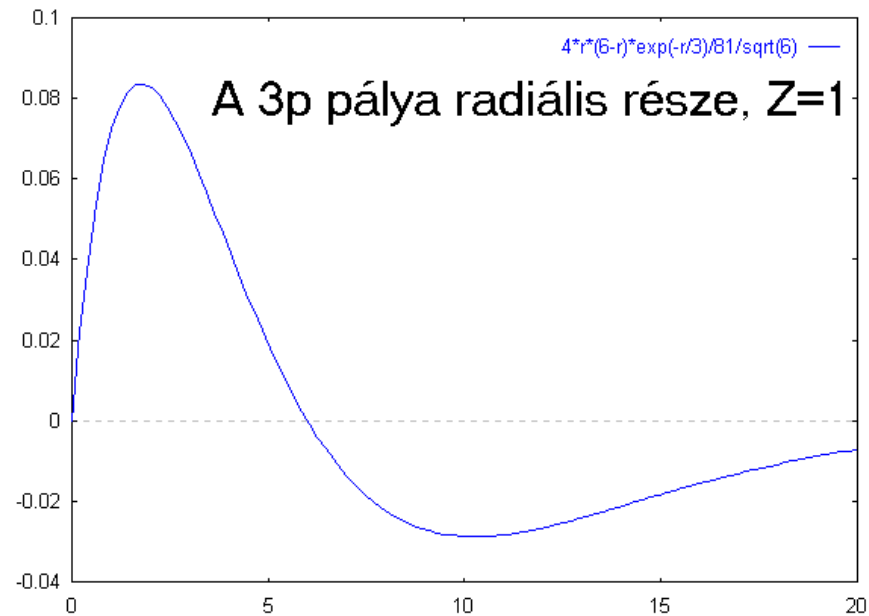
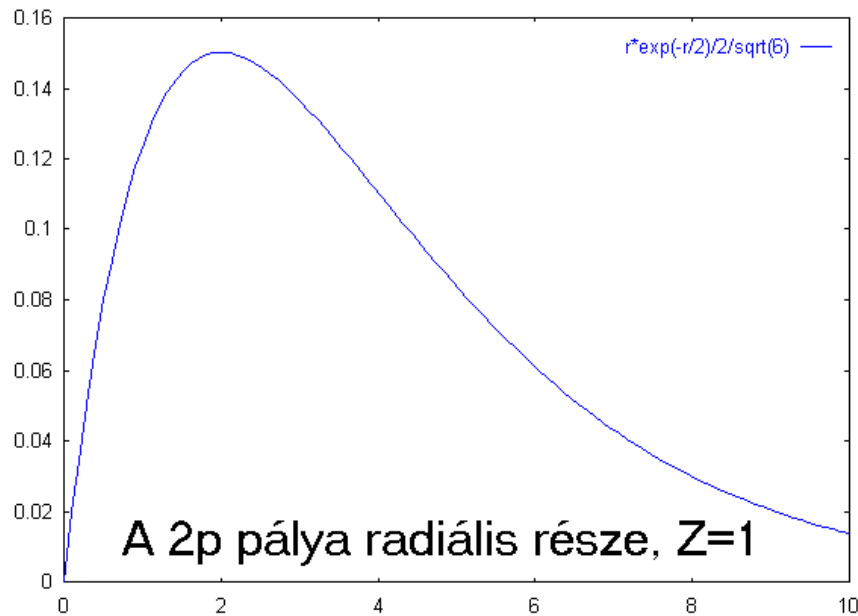
# Egyszerűsített egyenletek

Kvantumszámok			Jelölés	Radiális $R_{n,l}(r)$	Szögfüggő valós $Y_{l,m}(\theta,\phi)$	Komplex tag
n	l	m				
1	0	0	<u>1s</u>	$2e^{-r}$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}}$	
2	0	0	<u>2s</u>	$\frac{1}{2\sqrt{2}}(2-r)e^{-\frac{r}{2}}$	$\frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{\pi}} \frac{z}{r}$	
2	1	0	<u>2p<sub>z</sub></u>	$\frac{1}{2\sqrt{6}} r e^{-\frac{r}{2}}$	$\frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{\pi}} \frac{x}{r}$	
2	1	(±1)	<u>2p<sub>x,y</sub></u>		$\frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{\pi}} \frac{y}{r}$	$e^{\pm i\phi}$

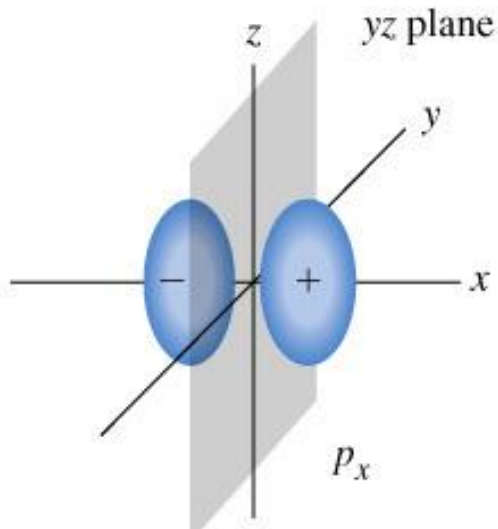
# Az s pályák $R_{n,0}(r)$ függvényei



# A p pályák $R_{n,1}(r)$ függvényei

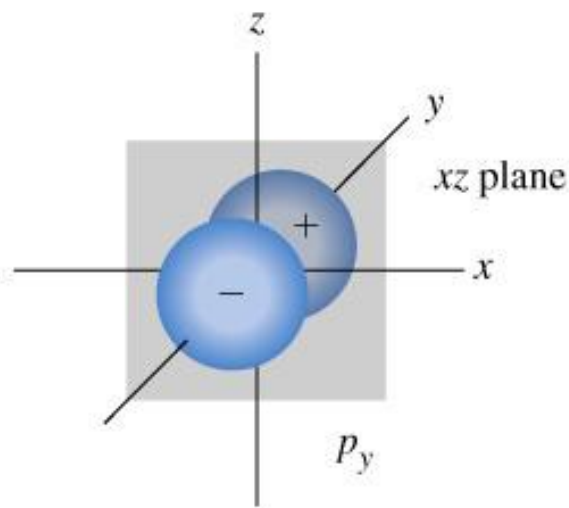


# p pályák



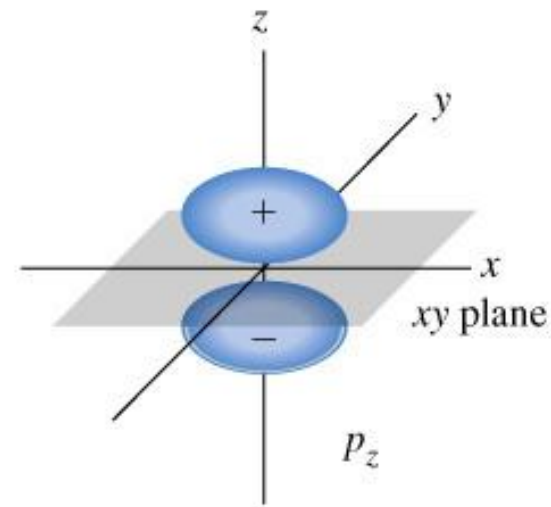
$$\frac{\sqrt{3}}{2 \cdot \sqrt{\pi}} \frac{x}{r} \cdot R_{2p}(r)$$

yz síkban nulla  
mert itt  $x=0$



$$\frac{\sqrt{3}}{2 \cdot \sqrt{\pi}} \frac{y}{r} \cdot R_{2p}(r)$$

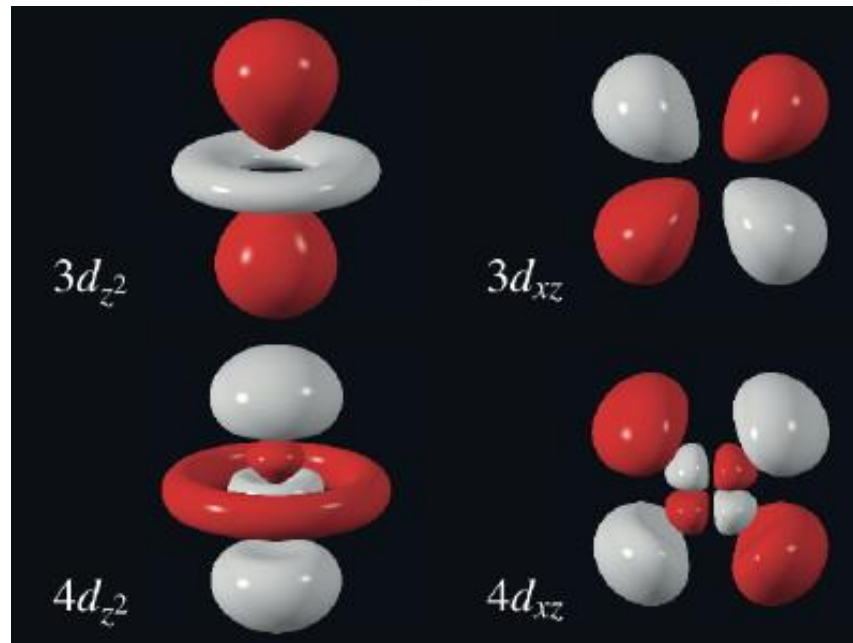
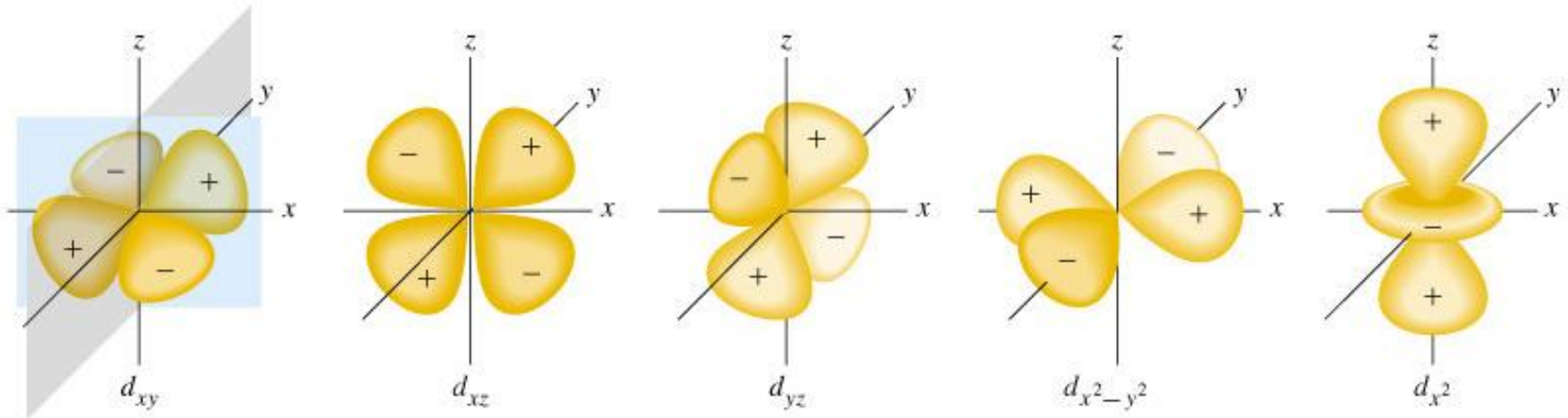
xz síkban nulla  
 $y=0$



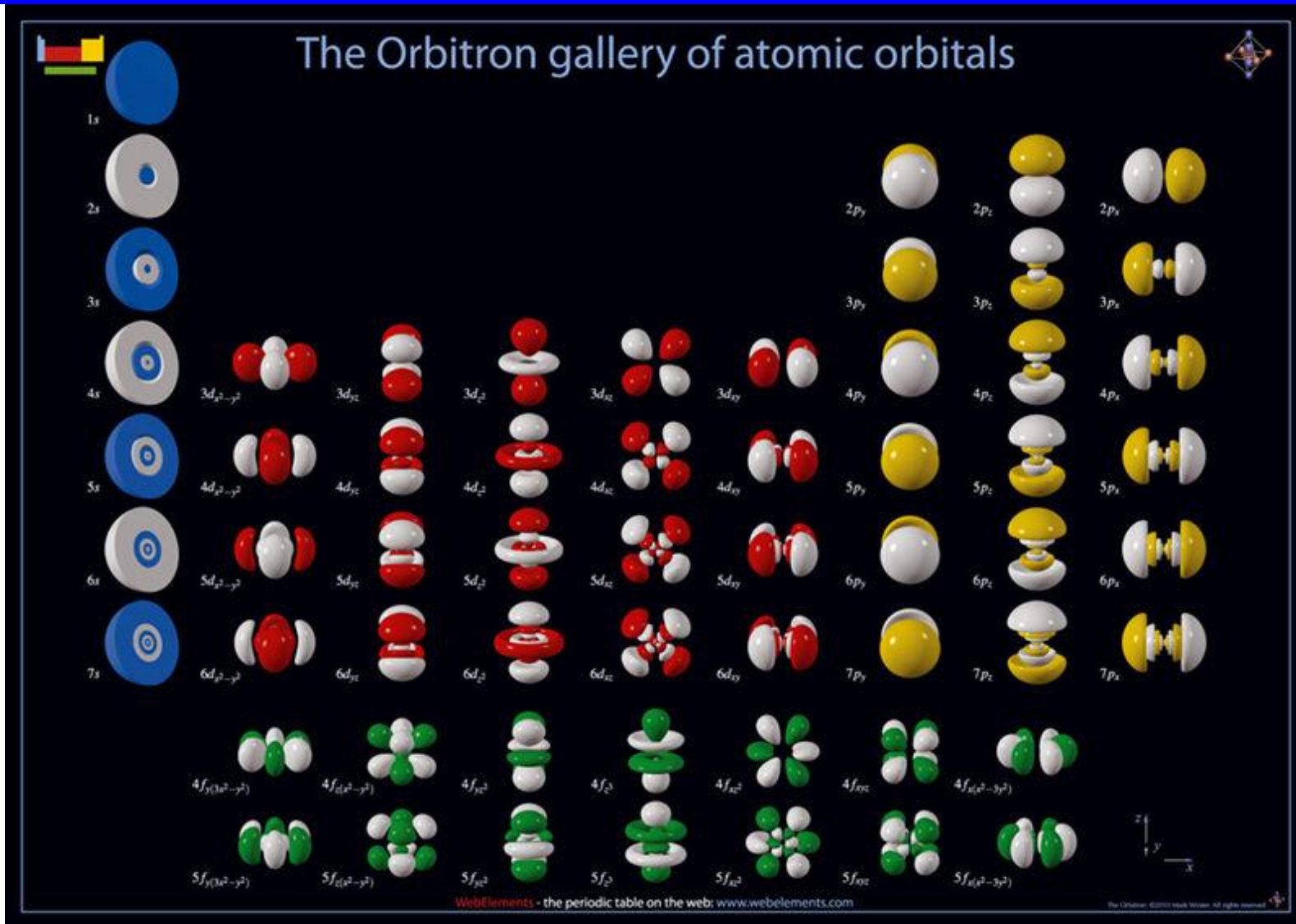
$$\frac{\sqrt{3}}{2 \cdot \sqrt{\pi}} \frac{z}{r} \cdot R_{2p}(r)$$

xy síkban nulla  
 $z=0, \cos(\theta) = z/r$

# d pályák

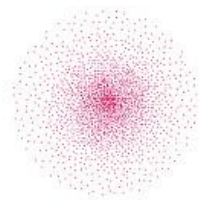
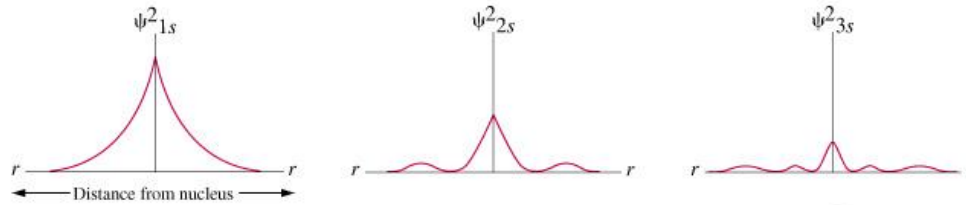


# Az atompályák alakja, 3D összefoglalás



# 10-8 Elektronsűrűség

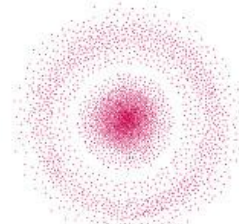
s pályák



$$\psi^2_{1s}$$



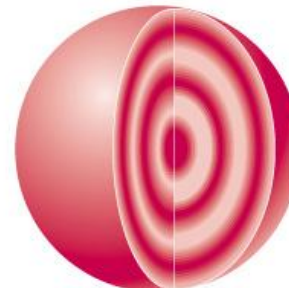
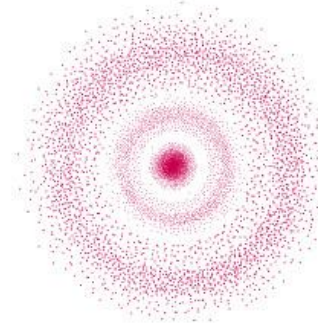
(a) 1s



$$\psi^2_{2s}$$



(b) 2s

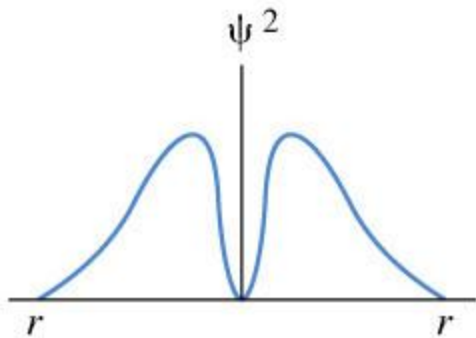


(c) 3s

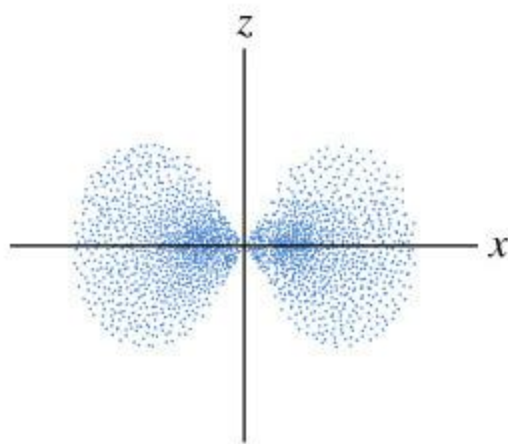


# p pályák elektronsűrűsége

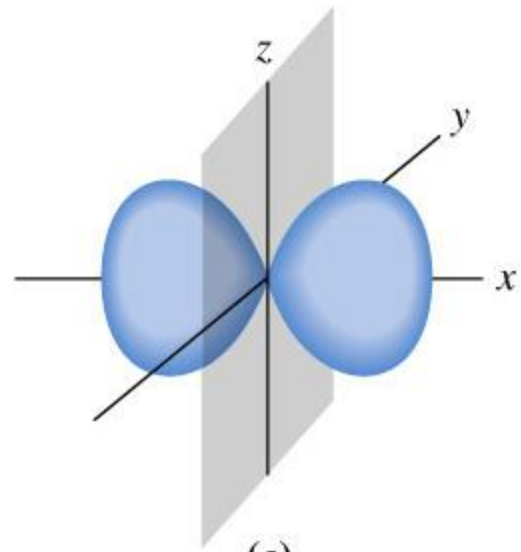
$$\psi^2_{2p_x}$$



(a)



(b)

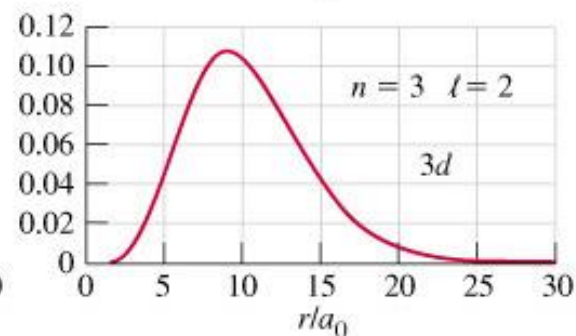
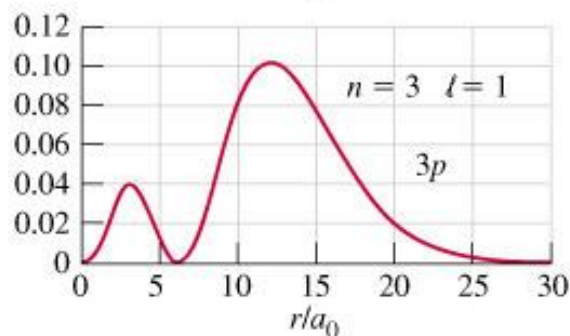
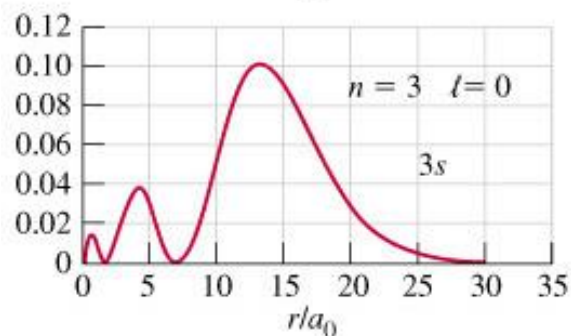
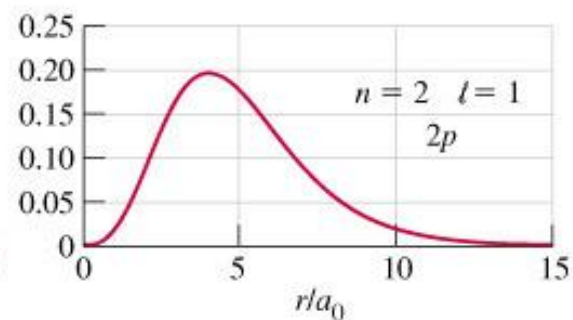
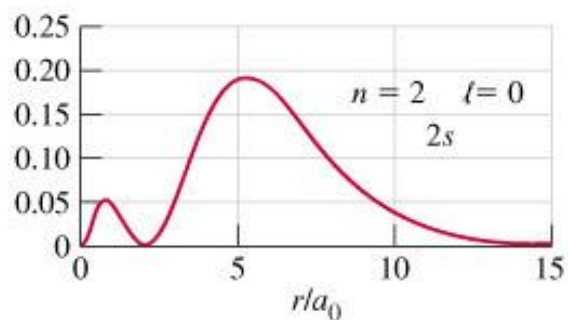
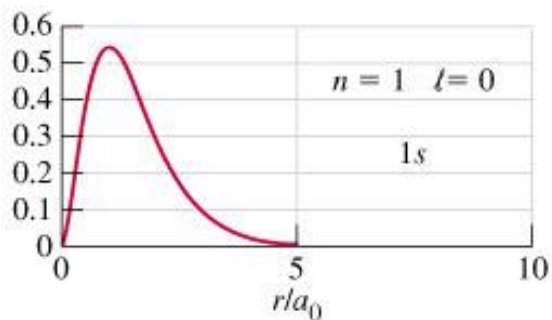


(c)

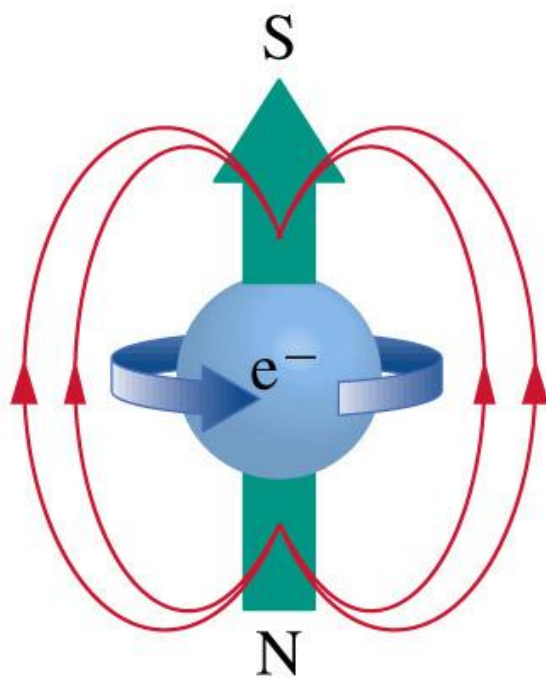
# Radiális elektronsűrűség

$$\rho(\mathbf{r}) = 4\pi r^2 \psi^2(\mathbf{r})$$

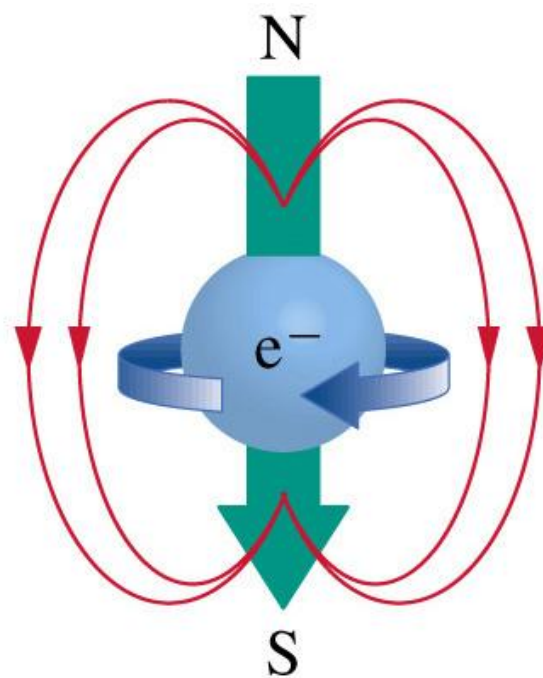
Az elektronok megtalálási valószínűsége az  $r$  sugarú gömb felületén  
A gömb felületének nagysága  $= 4\pi r^2$



# 10-9 Elektron Spin: a negyedik kvantumszám



$$m_s = +\frac{1}{2}$$



$$m_s = -\frac{1}{2}$$

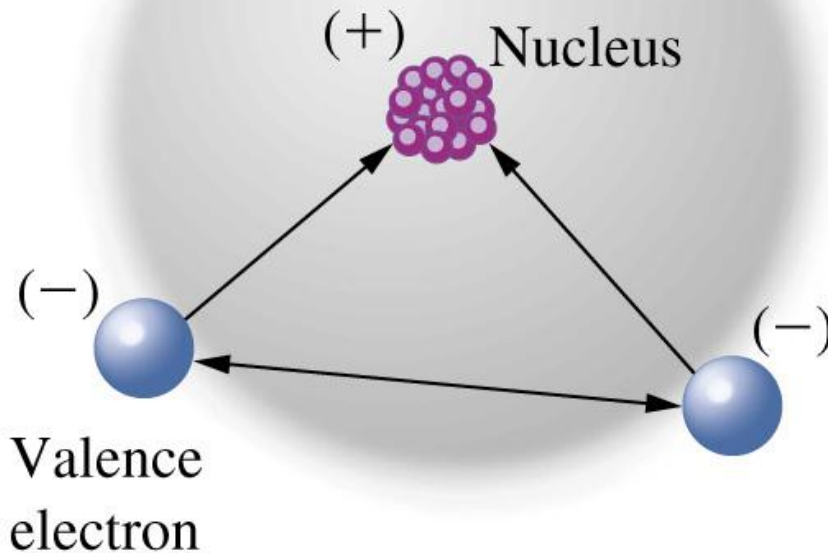
# 10-10 Több elektronos atomok

- Az eddig bemutatott megoldások *egyetlen* elektronra vonatkoztak.
- A pályákat hidrogén-szerűnek vesszük (közelítés).
- Elektron-elektron taszítás
- A két elektron hullámfüggvénye antiszimmetrikus  $\Psi(1,2) = \Psi_a(1) - \Psi_b(2)$

# Screening (Árnyékolás)

Screen of electron charge  
from core electrons

Törzs elektronok árnyékoló hatása



$$Z_{\text{eff}} = Z - S$$

$$E_n = -R_H \frac{Z_{\text{eff}}^2}{n^2}$$

# Árnyékolás (S)

Slater szabályok: 1s elektron,  $S = 0.3$ .

s vagy p pályán,  $n > 1$ , az árnyékolási konstans

$$S = 1.00 \cdot N2 + 0.85 \cdot N1 + 0.35 \cdot N0$$

$N0$  a többi elektron száma azonos héjon,  $N1$  az elektronok száma egy héjjal lejjebb ( $n-1$ ), és  $N2$  az elektronok száma kettő vagy több héjjal lejjebb ( $n-2$  és kisebb).

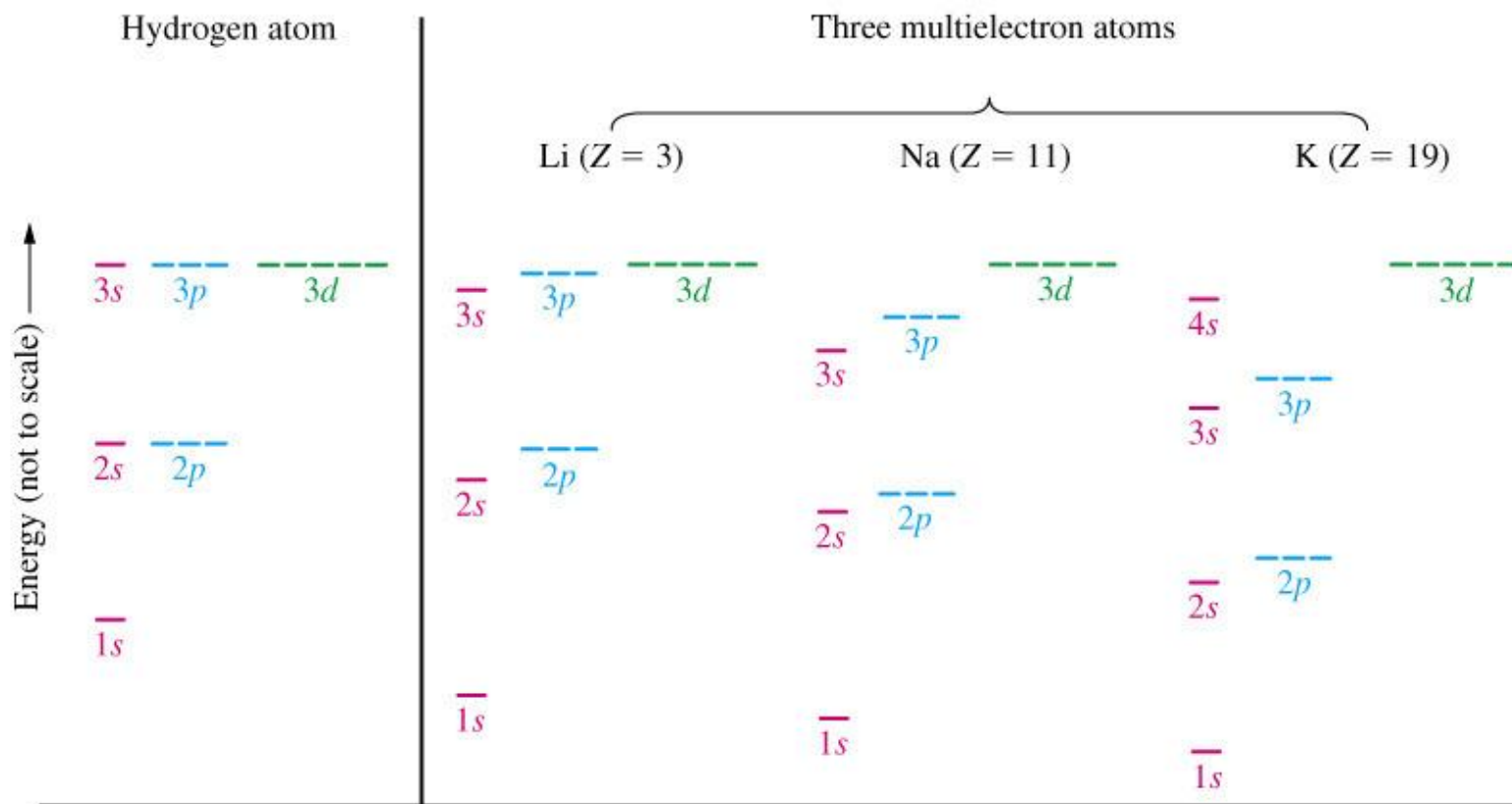
Az effektív magtöltés

$$Z_{eff} = Z - S$$

# 10-11 Elektron Konfigurációk

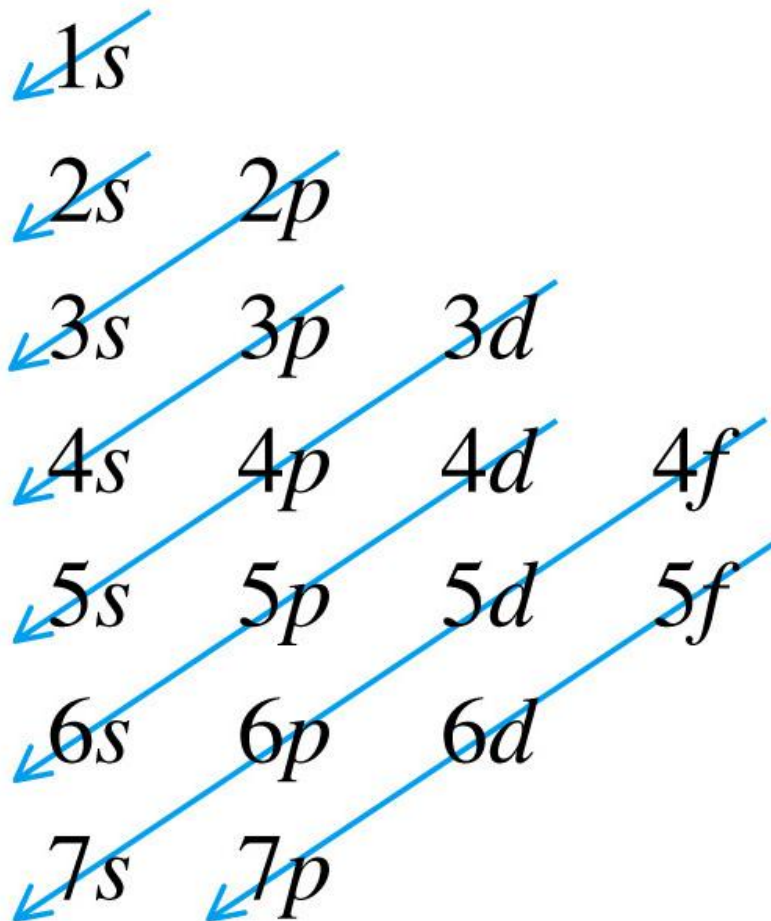
- Aufbau elv.
  - Az alacsonyabb energiájú pályák töltődnek fel előbb.
- Pauli kizárási elv (fermion).
  - Nincs két elektron amelynek mind a négy kvatumszáma megegyezik ( $n, l, m_l, s$ ).
- Hund szabály (maximális multiplicitás).
  - Azonos energiájú pályákat az elektronok egyszeresen betöltve párhuzamos spinnel töltik fel, amíg ez lehetséges.

# pálya energiák

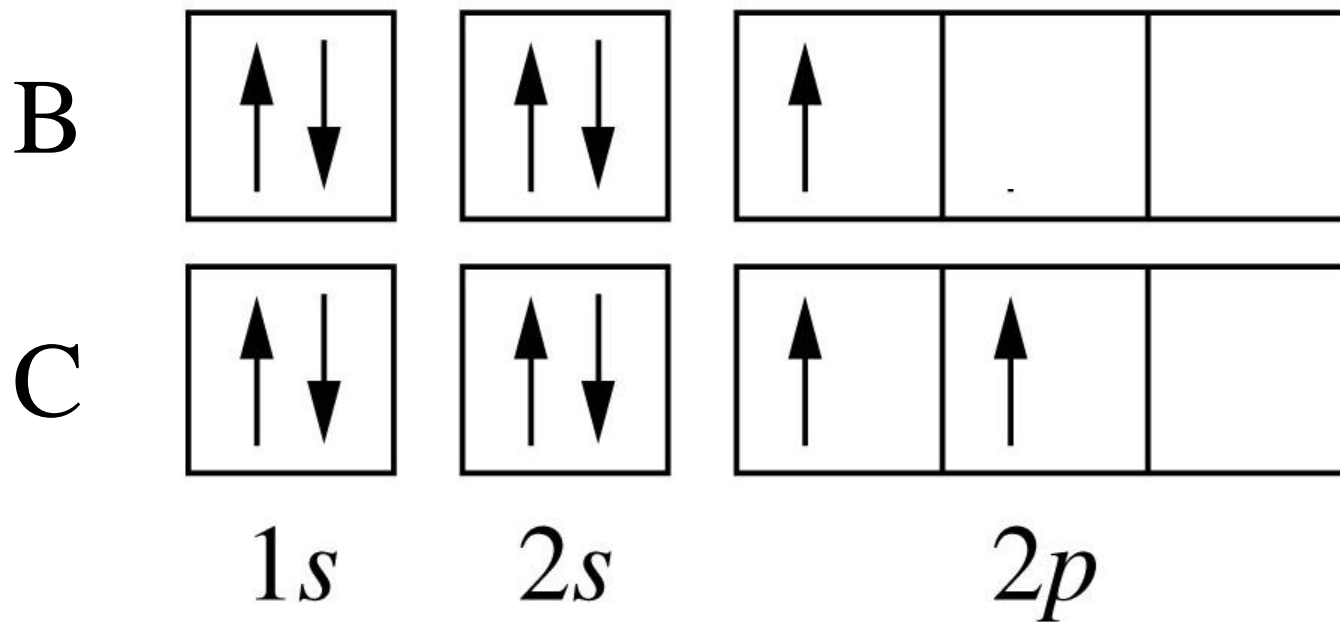




# pálya betöltés

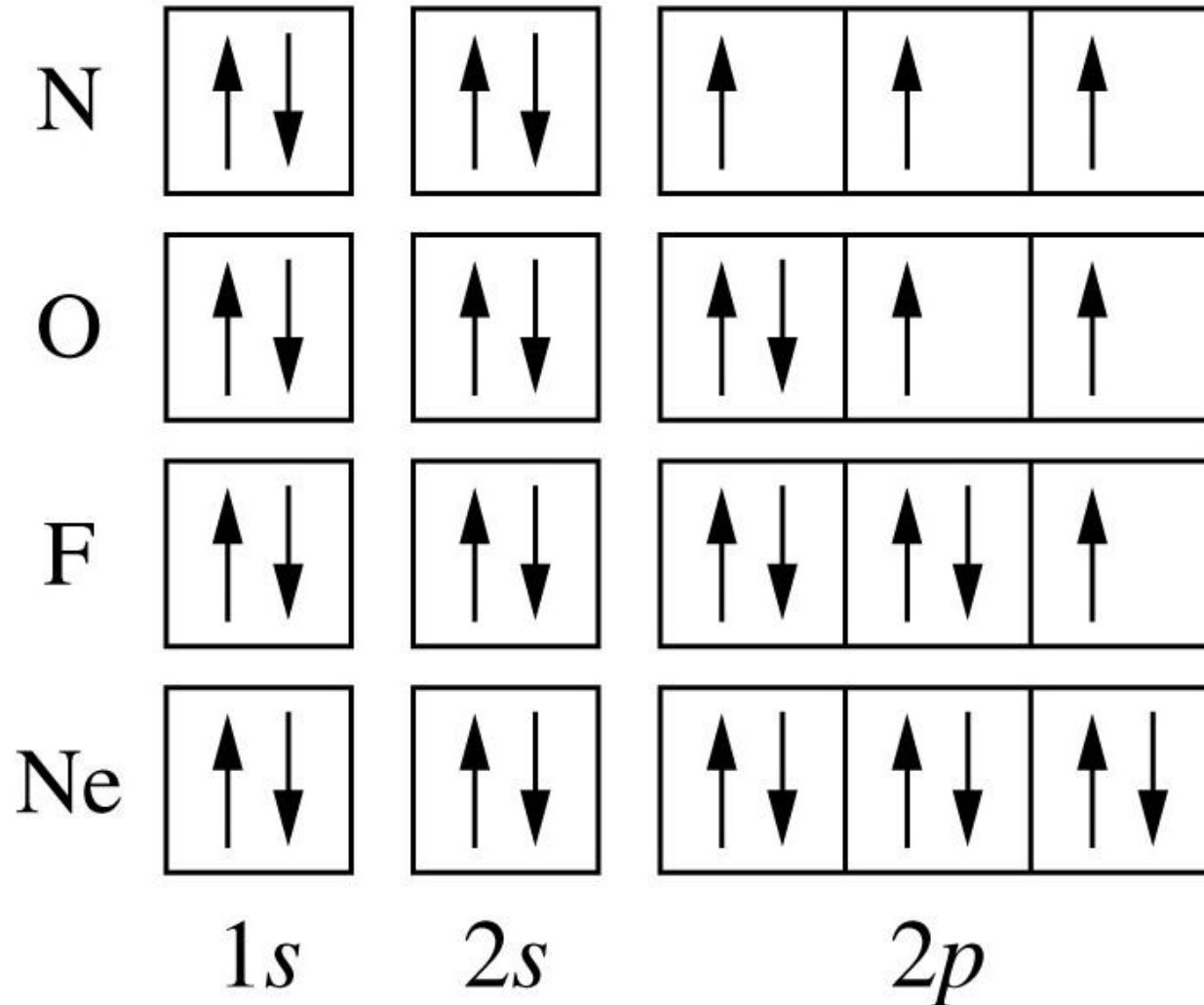


# Aufbau elv és Hund szabály

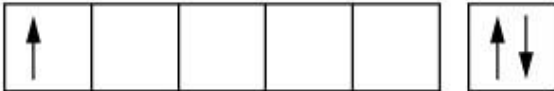











$$E(1s) < E(2s) < E(2p)$$

# p pályák betöltése



# d pályák betöltése

Sc:	[Ar]		$[\text{Ar}]3d^14s^2$
Ti:	[Ar]		$[\text{Ar}]3d^24s^2$
V:	[Ar]		$[\text{Ar}]3d^34s^2$
Cr:	[Ar]		$[\text{Ar}]3d^54s^1$
Mn:	[Ar]		$[\text{Ar}]3d^54s^2$
Fe:	[Ar]		$[\text{Ar}]3d^64s^2$
Co:	[Ar]		$[\text{Ar}]3d^74s^2$
Ni:	[Ar]		$[\text{Ar}]3d^84s^2$
Cu:	[Ar]		$[\text{Ar}]3d^{10}4s^1$
Zn:	[Ar]		$[\text{Ar}]3d^{10}4s^2$

3d

4s

**TABLE 9.2 Electron Configurations of Some Groups of Elements**

<b>Group</b>	<b>Element</b>	<b>Configuration</b>
1	H	$1s^1$
	Li	$[\text{He}]2s^1$
	Na	$[\text{Ne}]3s^1$
	K	$[\text{Ar}]4s^1$
	Rb	$[\text{Kr}]5s^1$
	Cs	$[\text{Xe}]6s^1$
	Fr	$[\text{Rn}]7s^1$
17	F	$[\text{He}]2s^22p^5$
	Cl	$[\text{Ne}]3s^23p^5$
	Br	$[\text{Ar}]3d^{10}4s^24p^5$
	I	$[\text{Kr}]4d^{10}5s^25p^5$
	At	$[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^26p^5$
18	He	$1s^2$
	Ne	$[\text{He}]2s^22p^6$
	Ar	$[\text{Ne}]3s^23p^6$
	Kr	$[\text{Ar}]3d^{10}4s^24p^6$
	Xe	$[\text{Kr}]4d^{10}5s^25p^6$
	Rn	$[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^26p^6$

# 10-12 Elektron konfigurációk és a periódusos táblázat

Main-group elements

s block		Transition elements										p block					
1	2											13	14	15	16	17	18
1s H														2p N			1s He
3	4											5	6	7	8	9	10
2s Li	Be											B	C	O	F	Ne	
11	12											13	14	15	16	17	18
3s Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
4s K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
5s Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
6s Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112						
7s Fr	Ra	Ac†	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt									

Inner-transition elements

f block														
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	
*	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
†	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr