



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Escola de Engenharia de Lorena – EEL

“LOB1021 - FÍSICA IV”

Prof. Dr. Durval Rodrigues Junior

Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAR)

Escola de Engenharia de Lorena (EEL)

Universidade de São Paulo (USP)

Polo Urbo-Industrial, Gleba AI-6 - Lorena, SP 12600-970

durval@demar.eel.usp.br

www.demar.eel.usp.br/docentes ou www.eel.usp.br (Página dos professores)

Rodovia Itajubá-Lorena, Km 74,5 - Caixa Postal 116
CEP 12600-970 - Lorena - SP
Fax (12) 3153-3133
Tel. (Direto) (12) 3159-5007/3153-3209

USP Lorena
www.eel.usp.br

Polo Urbo-Industrial Gleba AI-6 - Caixa Postal 116
CEP 12600-970 - Lorena - SP
Fax (12) 3153-3006
Tel. (PABX) (12) 3159-9900

UNIDADE 10 -

(quase) Tudo sobre os átomos

Algumas propriedades:

- Átomos são estáveis (quase sempre)
- Os átomos se combinam
(como o fazem é descrito pela mecânica quântica)
- Os átomos podem ser agrupados em famílias
(propriedades periódicas com o número atômico)
- Emitem e absorvem radiação EM
- Os átomos possuem momento angular e magnético...

A tabela periódica dos elementos

Periodic table of the elements

group	1*	2											13	14	15	16	17	18
period	Ia**	IIa											IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	0
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
			IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb		Ib	IIb		Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	112 *** (Uub)	113 *** (Uut)	114 *** (Uuq)	115 *** (Uup)	116 *** (Uuh)		
lanthanide series			6	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	
actinide series			7	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	

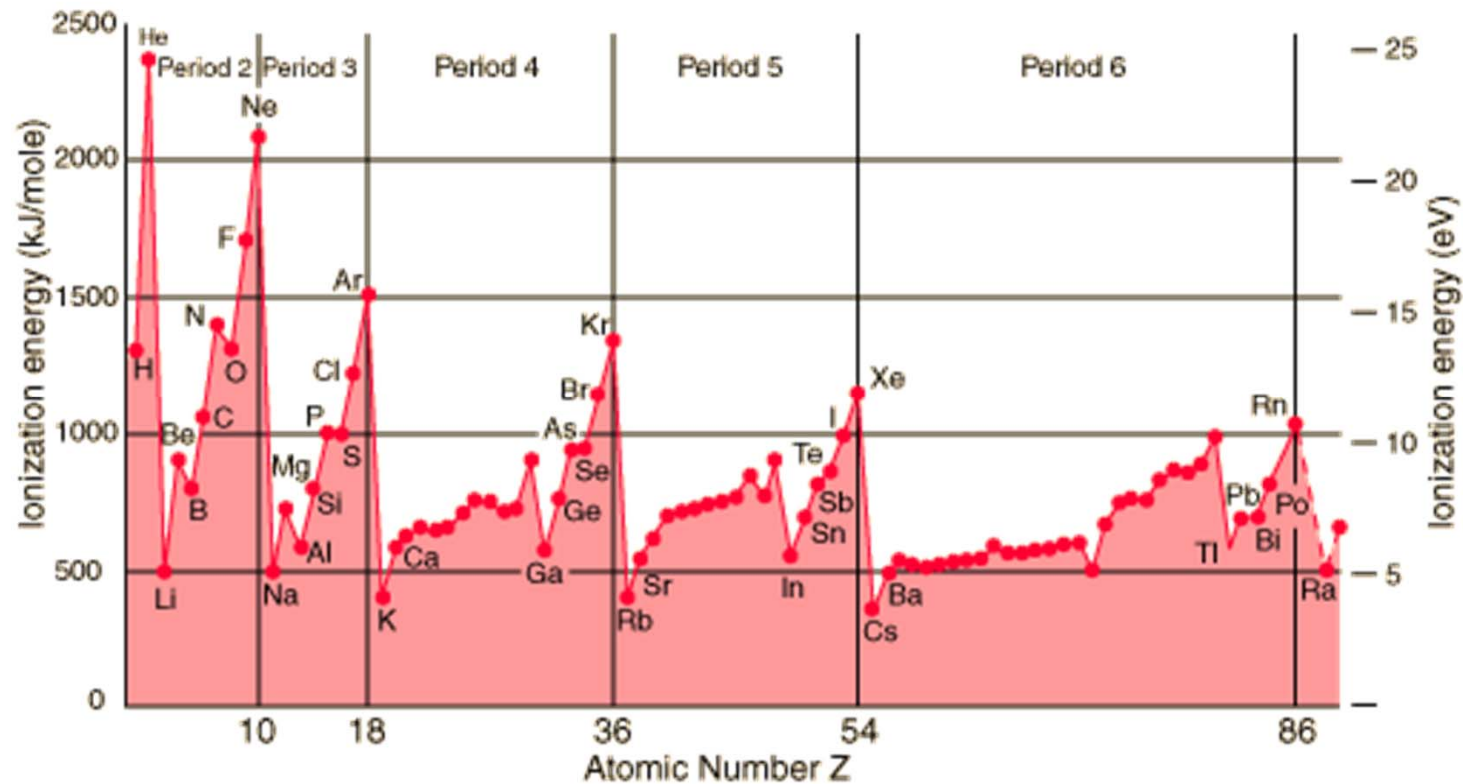
* Numbering system adopted by the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC).

** Numbering system widely used, especially in the U.S., from the mid-20th century.

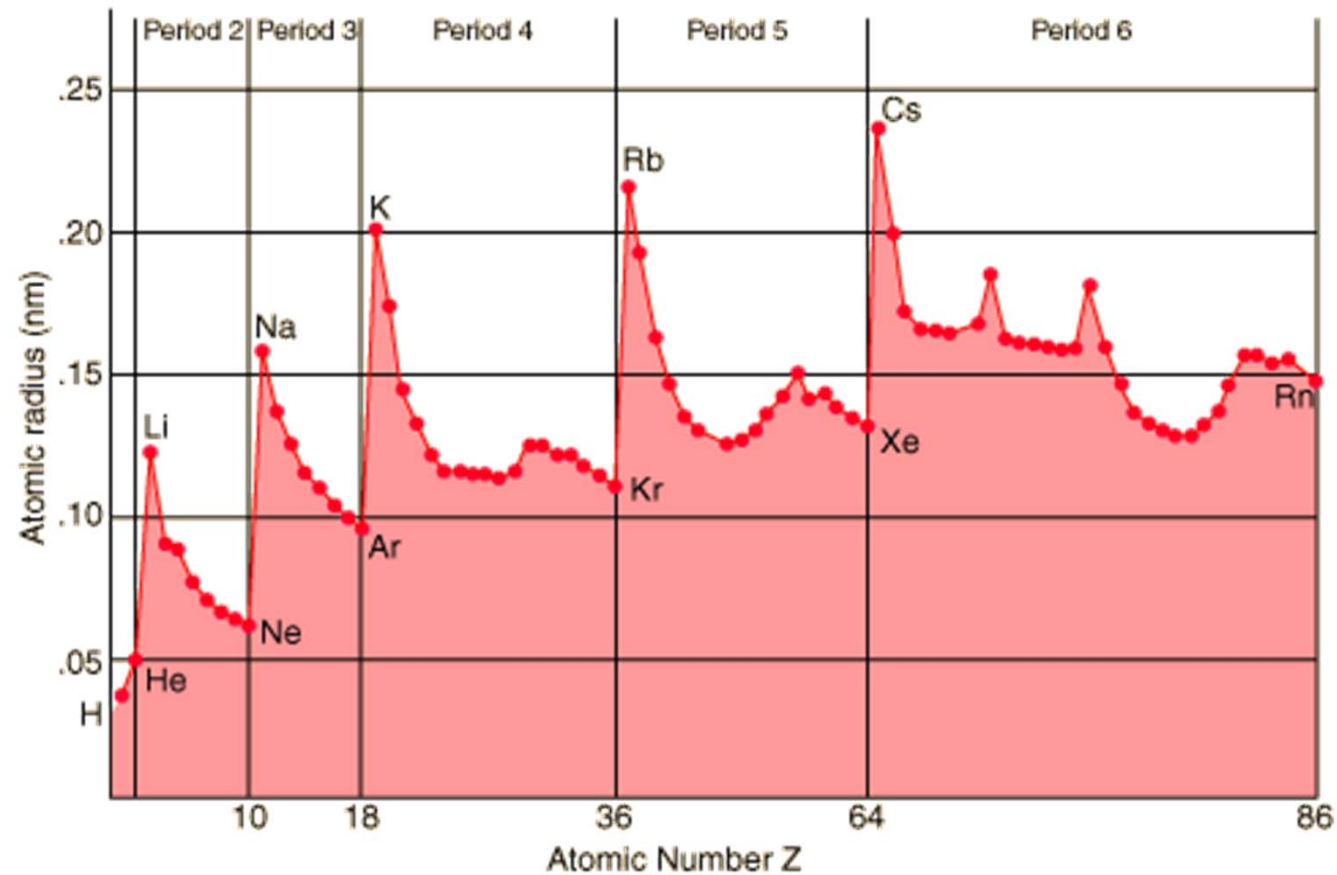
*** Discoveries of elements 112–116 are claimed but not confirmed. Element names and symbols in parentheses are temporarily assigned by IUPAC.

Propriedades periódicas

energia de ionização

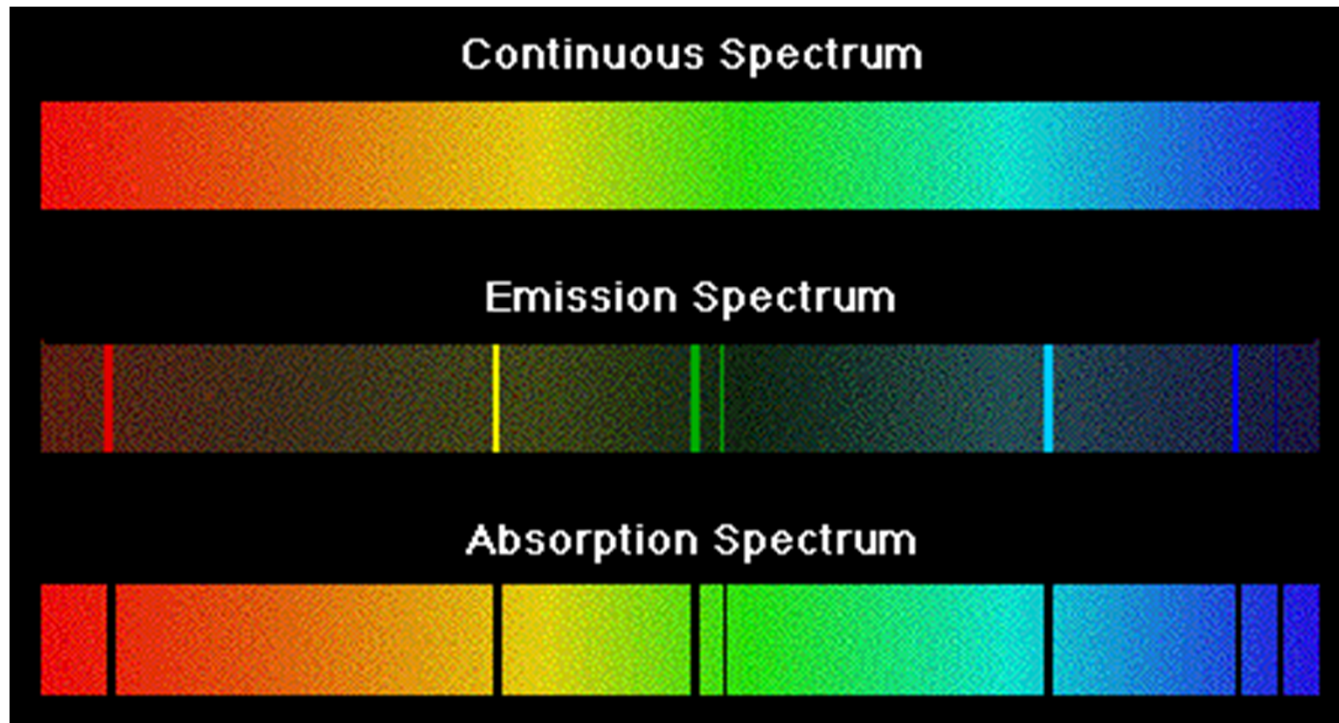


Propriedades periódicas: raio atômico



Número de elementos em cada período: 2, 8, 8, 18, 18, 32

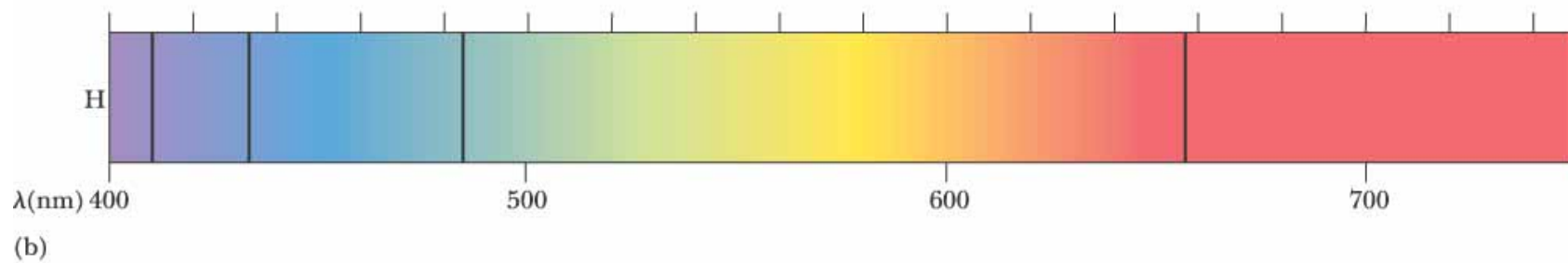
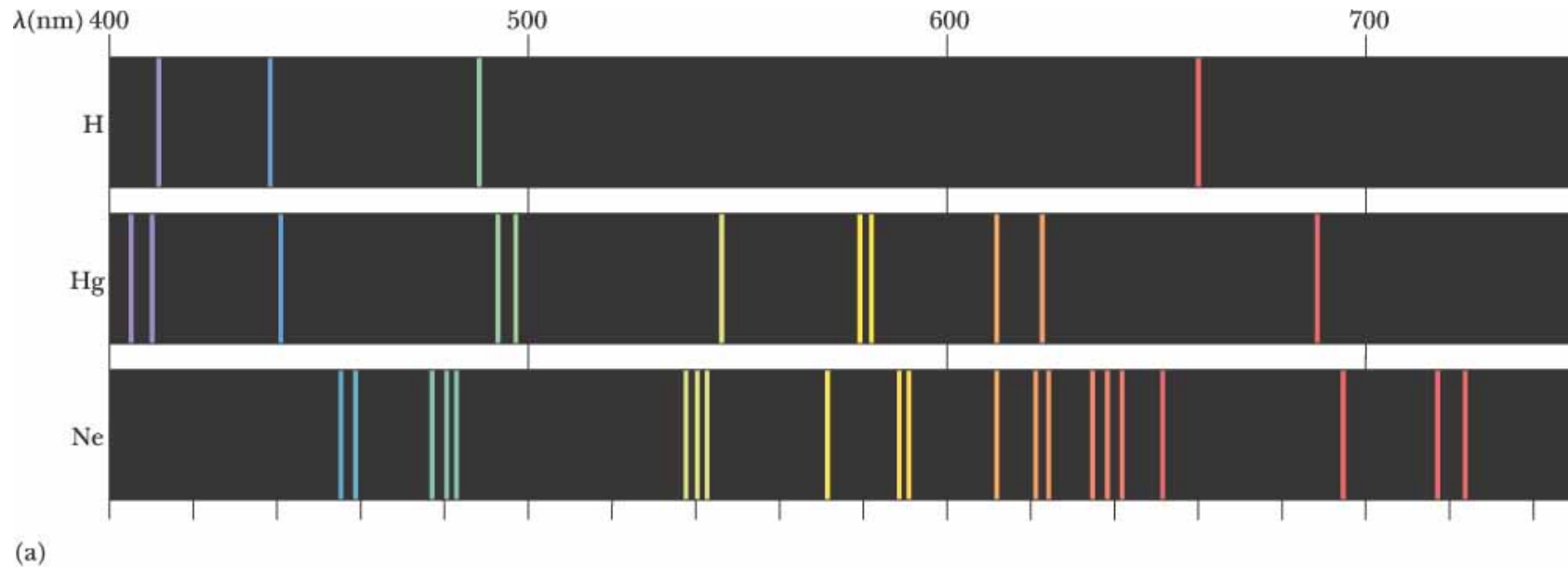
Absorção e emissão de luz: propriedades atômicas & teste da teoria



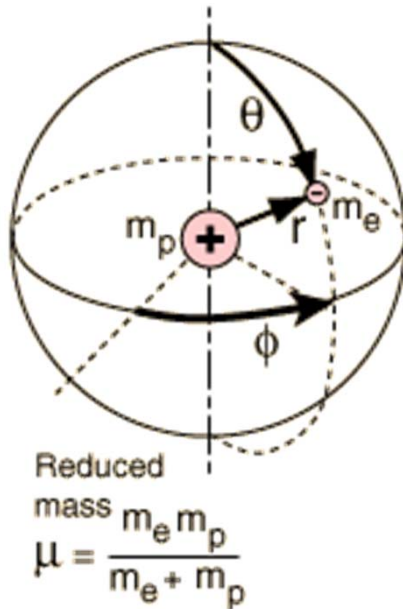
As linhas espectrais

O modelo de Bohr:

bom para o H, mas os outros elementos...



Revisão do problema do átomo de hidrogênio:



$$U(r) = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$\frac{-\hbar^2}{2\mu} \frac{1}{r^2 \sin\theta} \left[\sin\theta \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial \Psi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin\theta \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin\theta} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \phi^2} \right] + U(r) \Psi(r, \theta, \phi) = E \Psi(r, \theta, \phi)$$

$$\Psi(r, \theta, \phi) = R(r)P(\theta)F(\phi)$$

Revisão do problema do átomo de hidrogênio:

números quânticos

Como o potencial só depende de r , a função de onda pode ser separada (**coordenadas esféricas**)

Resultando em 3 equações para as coordenadas eletrônicas do átomo de H !

$$\Psi(r, \theta, \phi) = R(r)P(\theta)F(\phi)$$

n l m
↓ ↓ ↓
número número número
quântico quântico quântico
principal orbital magnético

símbolo	valores
n	1, 2, 3, ...
l	0, ..., $n-1$
m	$-l, ..., l$

Revisão do problema do átomo de hidrogênio: números quânticos

Número quântico principal já aparece no modelo de Bohr

$$E_n = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2} = -\frac{13,6}{n^2} \text{ eV}$$

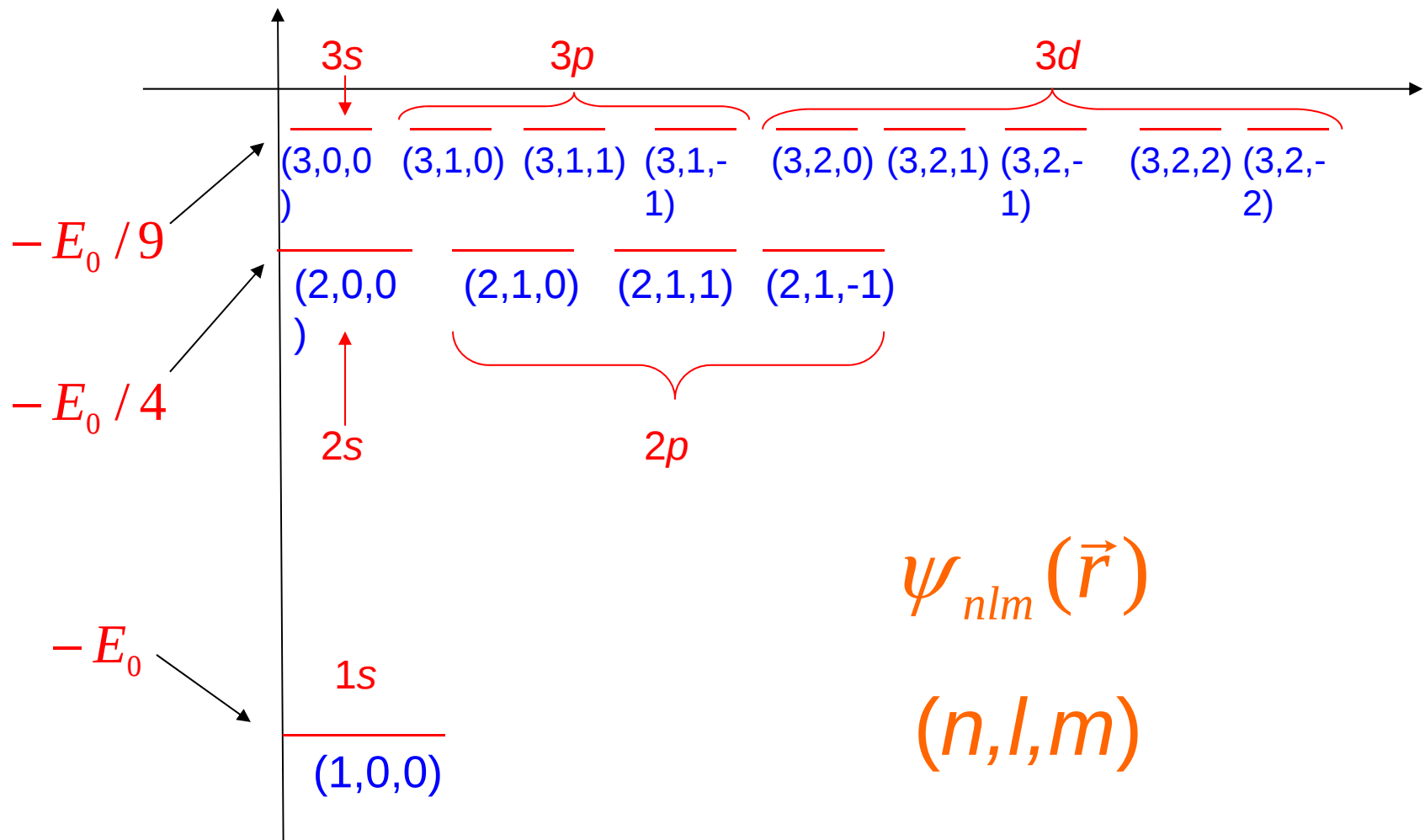
Que efeitos são devidos aos outros números quânticos ?

Revisão do problema do átomo de hidrogênio:

O número quântico orbital l corresponde aos estados:

$$l = 0, 1, 2, 3, 4$$

$$s, p, d, f, g$$



Princípio de exclusão de Pauli



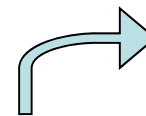
Wolfgang Pauli (1900-1958)

“Em um sistema fechado, dois elétrons não podem ocupar o mesmo estado quântico”

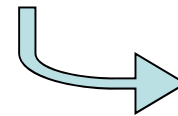
Princípio de exclusão de Pauli

- 2 elétrons têm conjuntos diferentes de números quânticos
- elétrons são partículas **idênticas e indistinguíveis**

$$\Psi = \Psi_1(a)\Psi_2(b) \pm \Psi_2(a)\Psi_1(b)$$



Bósons: fótons...



Férmions:
elétrons, prótons, neutrons..

Amplitude de probabilidade
para que os estados a e b sejam
ocupados pelos elétrons 1 e 2

Aplicação do princípio de exclusão de Pauli:

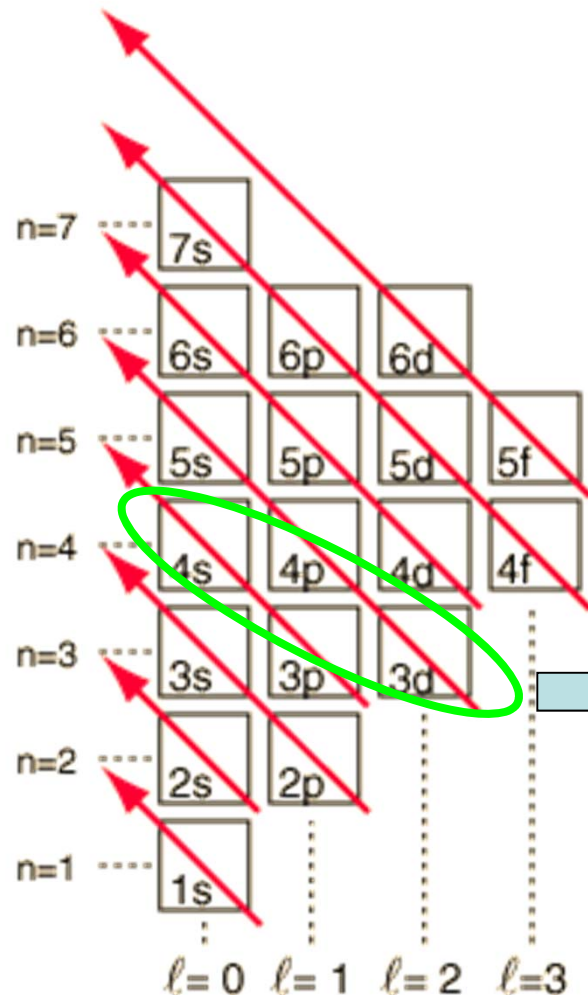
tabela periódica dos elementos

estado	número quântico principal	número quântico orbital	número quântico magnético	número quântico de spin	número máximo de elétrons
1s	1	0	0	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2
2s	2	0	0	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2
2p	2	1	-1,0,+1	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	6
3s	3	0	0	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2
3p	3	1	-1,0,+1	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	6
3d	3	2	-2,-1,0,1,2	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	10

8

18

Construção da tabela periódica: preenchimento

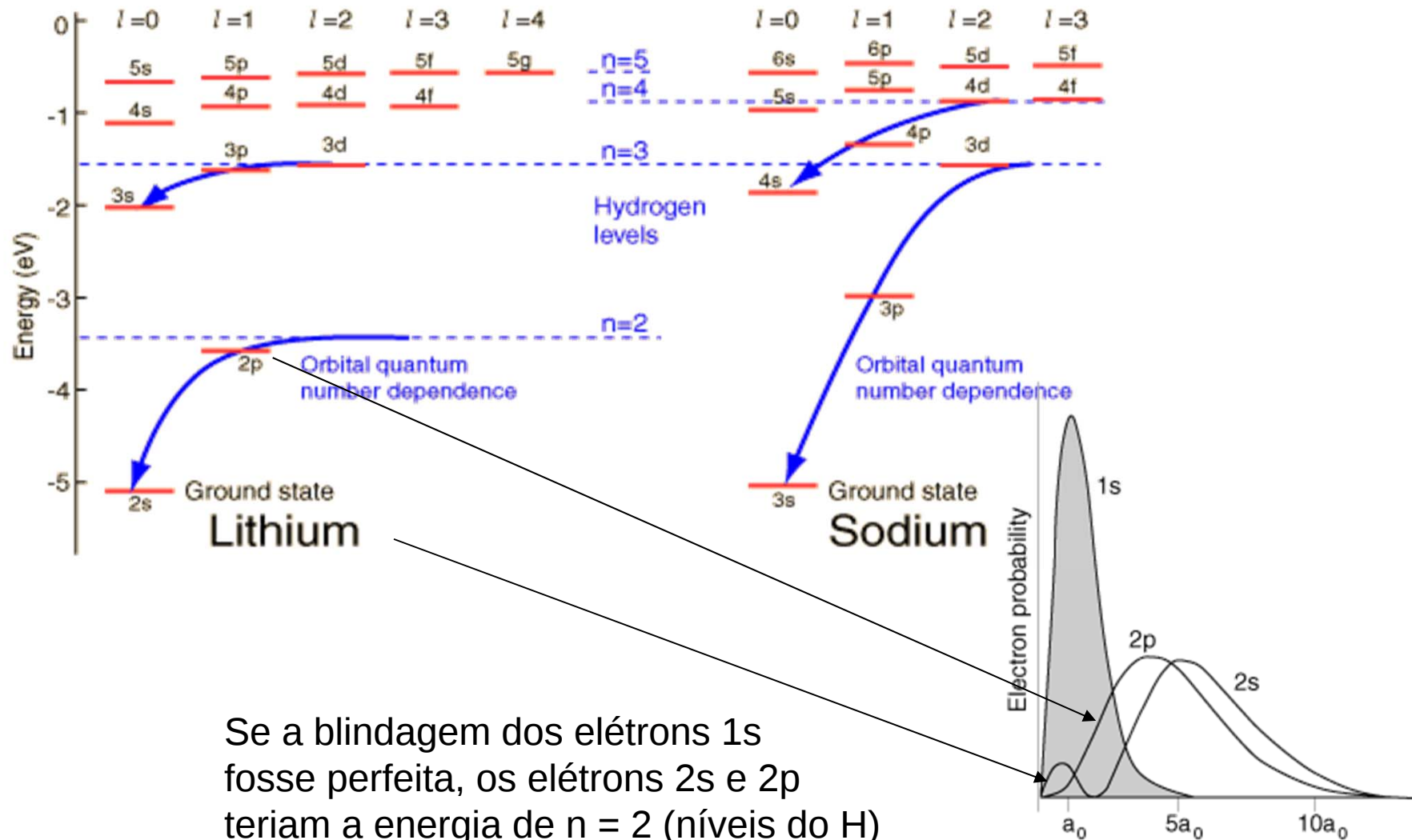


- Para um elétron único, a energia é determinada pelo número quântico principal, que é usado para indicar a camada.
- Para uma dada camada em átomos multi-eletrônicos, elétrons com número quântico orbital mais baixo terão energia menor, devido a maior penetração na blindagem dos elétrons das camadas internas

Elementos de transição

Existem algumas exceções:
a primeira é o cromo, seguido de cobre
(alguns 3d são preenchidos antes do segundo 4s),
molibdênio e prata

Dependência das energias eletrônicas com o número quântico orbital



A tabela periódica dos elementos

Periodic table of the elements

group	1*	2											13	14	15	16	17	18
period	Ia**	IIa											IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	0
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
			IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb		Ib	IIb		Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	112 *** (Uub)	113 *** (Uut)	114 *** (Uuq)	115 *** (Uup)	116 *** (Uuh)		
lanthanide series			6	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	
actinide series			7	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	

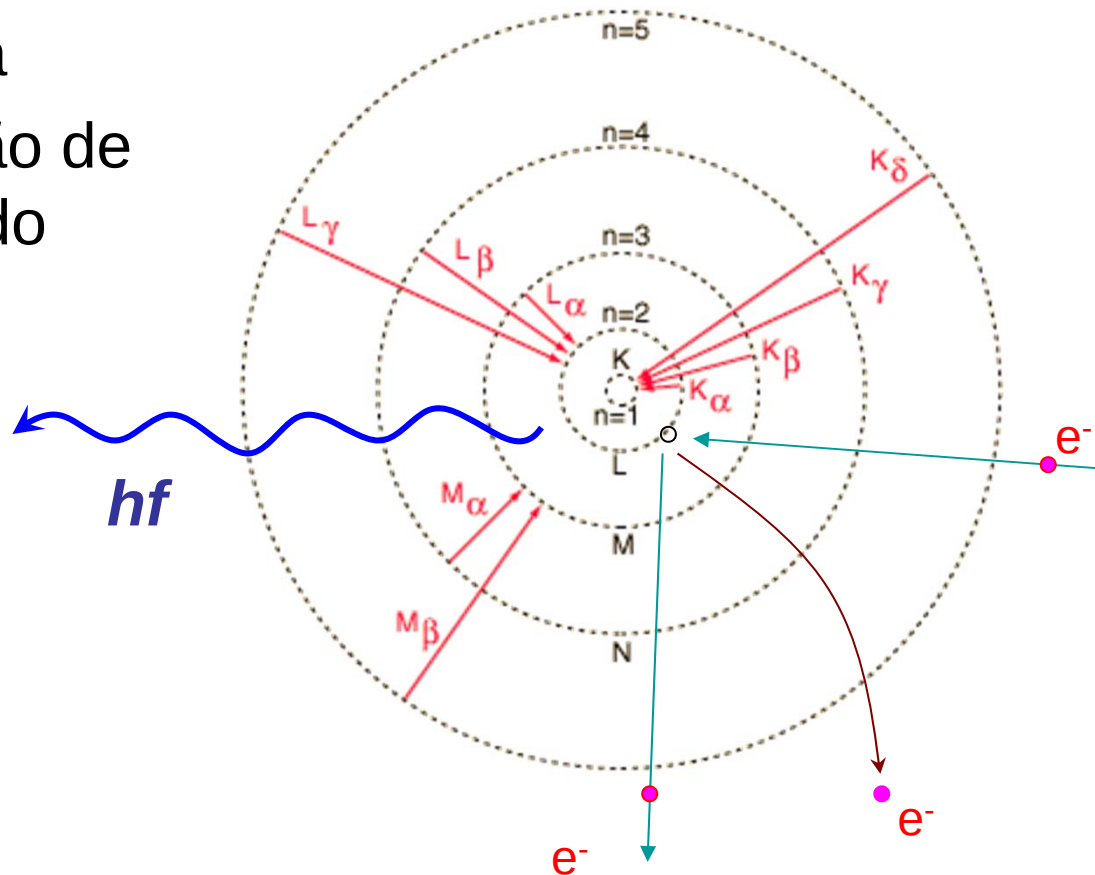
* Numbering system adopted by the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC).

** Numbering system widely used, especially in the U.S., from the mid-20th century.

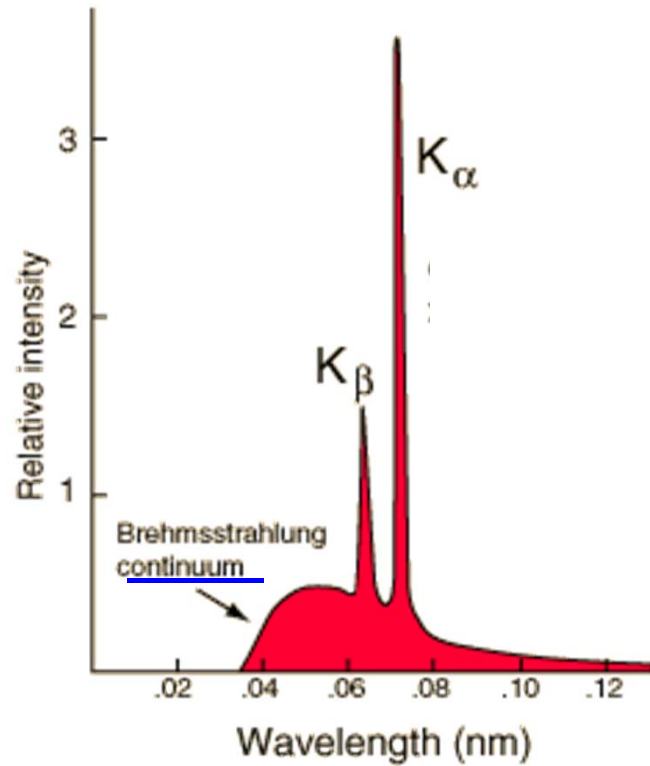
*** Discoveries of elements 112–116 are claimed but not confirmed. Element names and symbols in parentheses are temporarily assigned by IUPAC.

Espectro de raios X

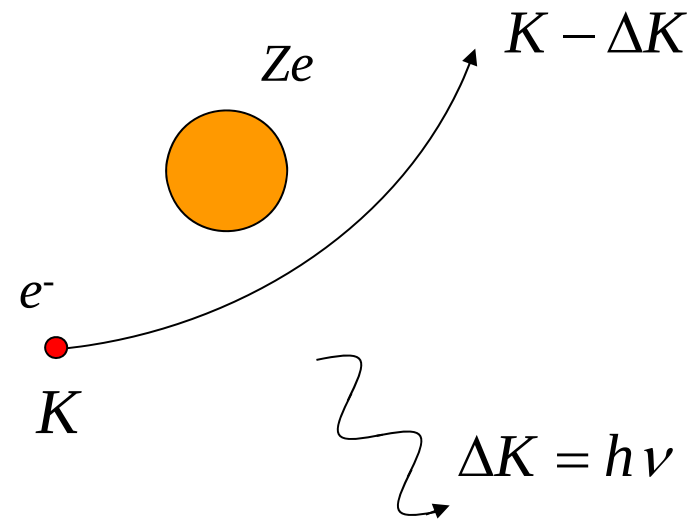
- A tabela periódica passou a ser determinada pelo número atômico e não pela massa atômica
- As linhas de emissão de raios X dependem do elemento químico



Espectro característico



Linhas K do molibdênio a 35 kV



$$K = h\nu_{\text{máx}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{mín}}}$$

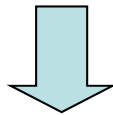
$$\lambda_{\text{mín}} = \frac{hc}{K}$$

Espectro característico

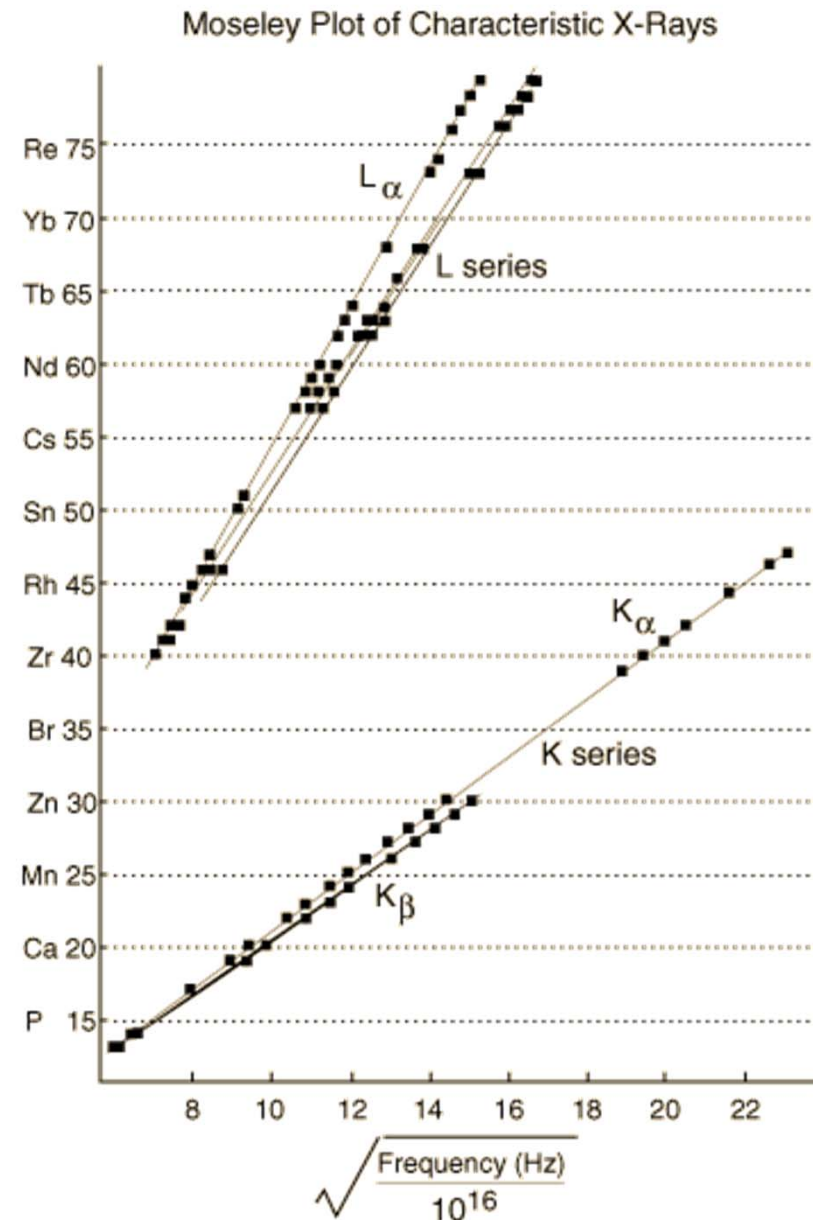
$$\nu_{n \rightarrow n'} = \frac{E_n - E_{n'}}{h} = \frac{Z^2 m e^4}{8 \epsilon_0^2 h^3} \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$$n' = n_1 = 1 \quad \text{e} \quad n = n_2 = 2$$

$$Z \longrightarrow Z - 1 \quad (\text{blindagem})$$



$$\sqrt{\nu} = \sqrt{\frac{3 m e^4}{32 \epsilon_0^2 h^3}} (Z - 1) = a(Z - 1)$$



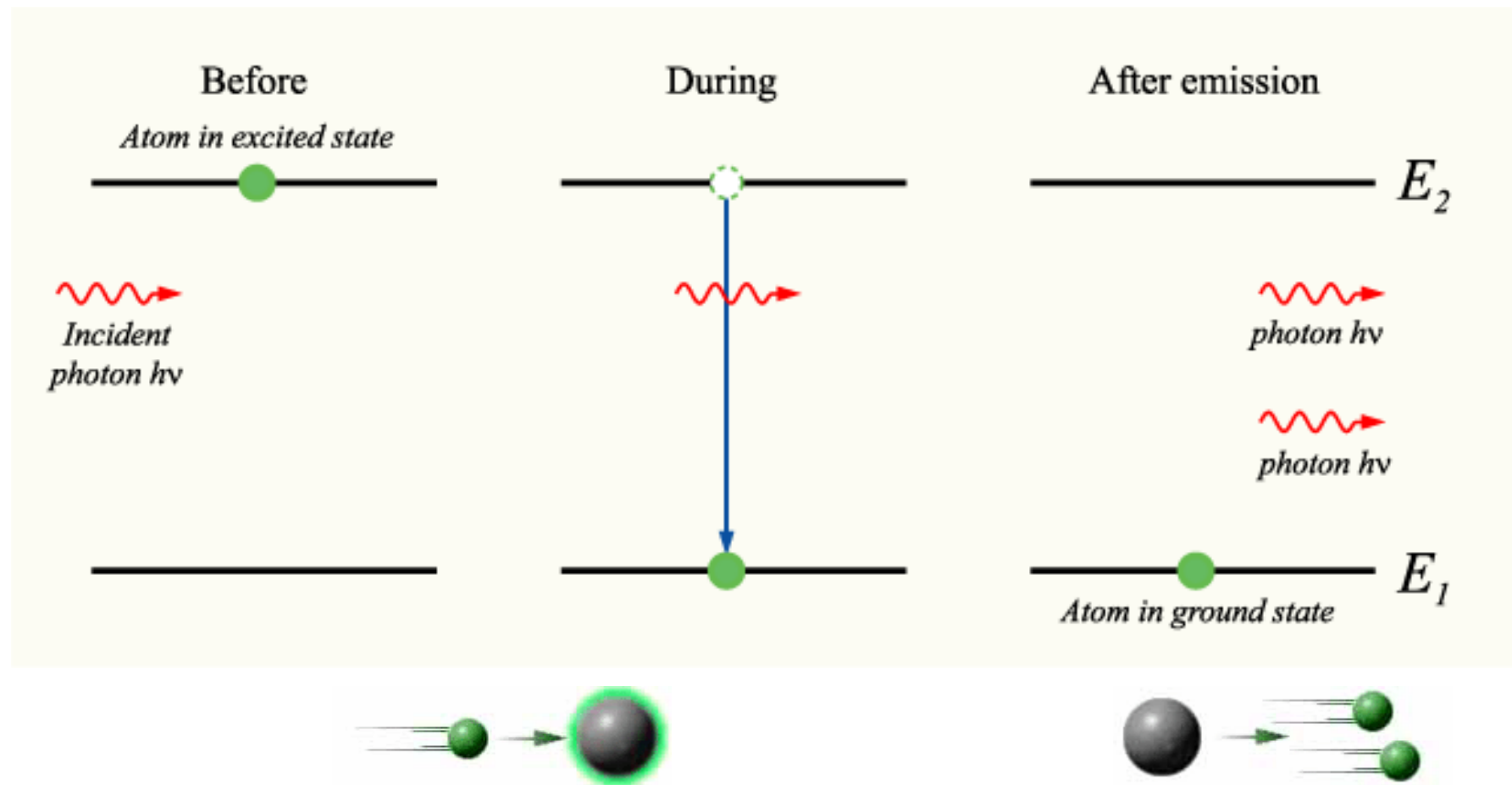
Lasers

Propriedades

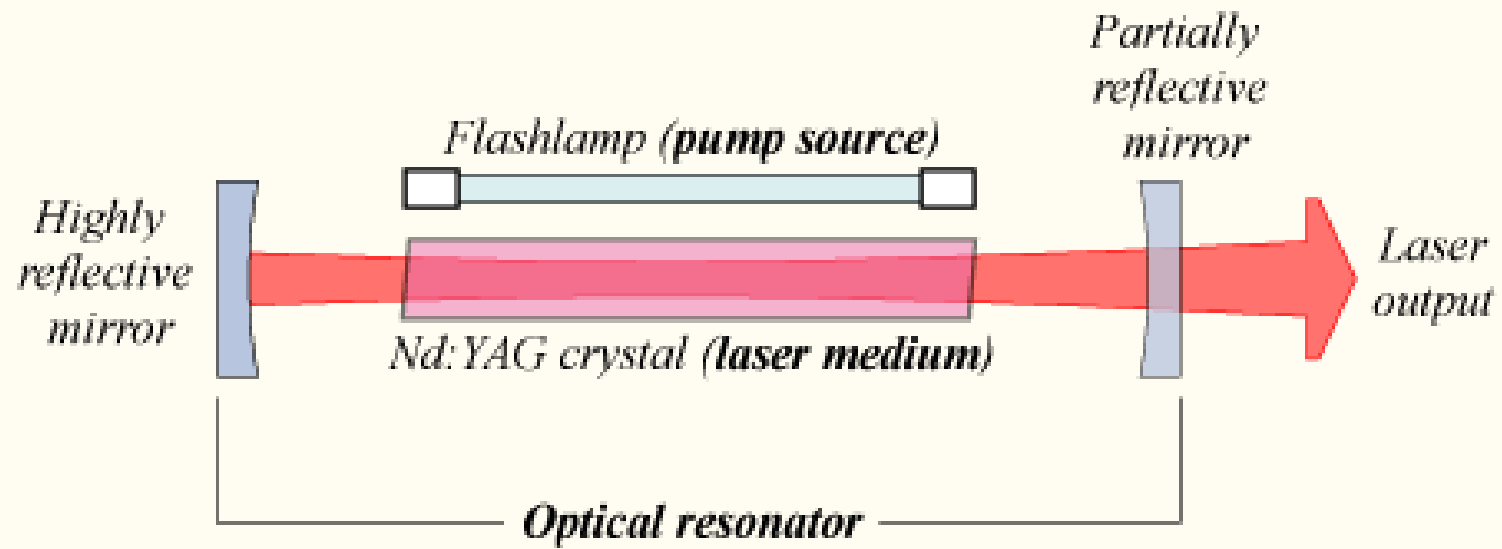
- Luz altamente monocromática $\frac{\Delta\nu}{\nu} \approx 10^{-15}$ X $\frac{\Delta\nu}{\nu} \approx 10^{-6}$ para descarga num gás
- Luz altamente coerente $\xi \approx 10^2 \text{ km}$ X $\xi \approx 1 \text{ m}$ para descarga num gás
- Luz altamente colimada: divergência só depende da difração
- Luz precisamente focalizável

Lasers

<http://www.colorado.edu/physics/2000/lasers/index.html>



Nd:YAG solid-state laser



Lasers

