

# ΥΛΙΚΑ Ι

## ΠΑΡΟΝ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝ



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

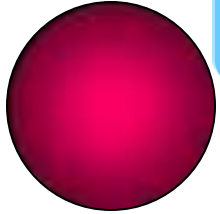
*Υλικά Ι, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών, Διδάσκων: Δημήτρης Παπάζογλου*

**3**

## **Ατομική δομή**



# Άτομο



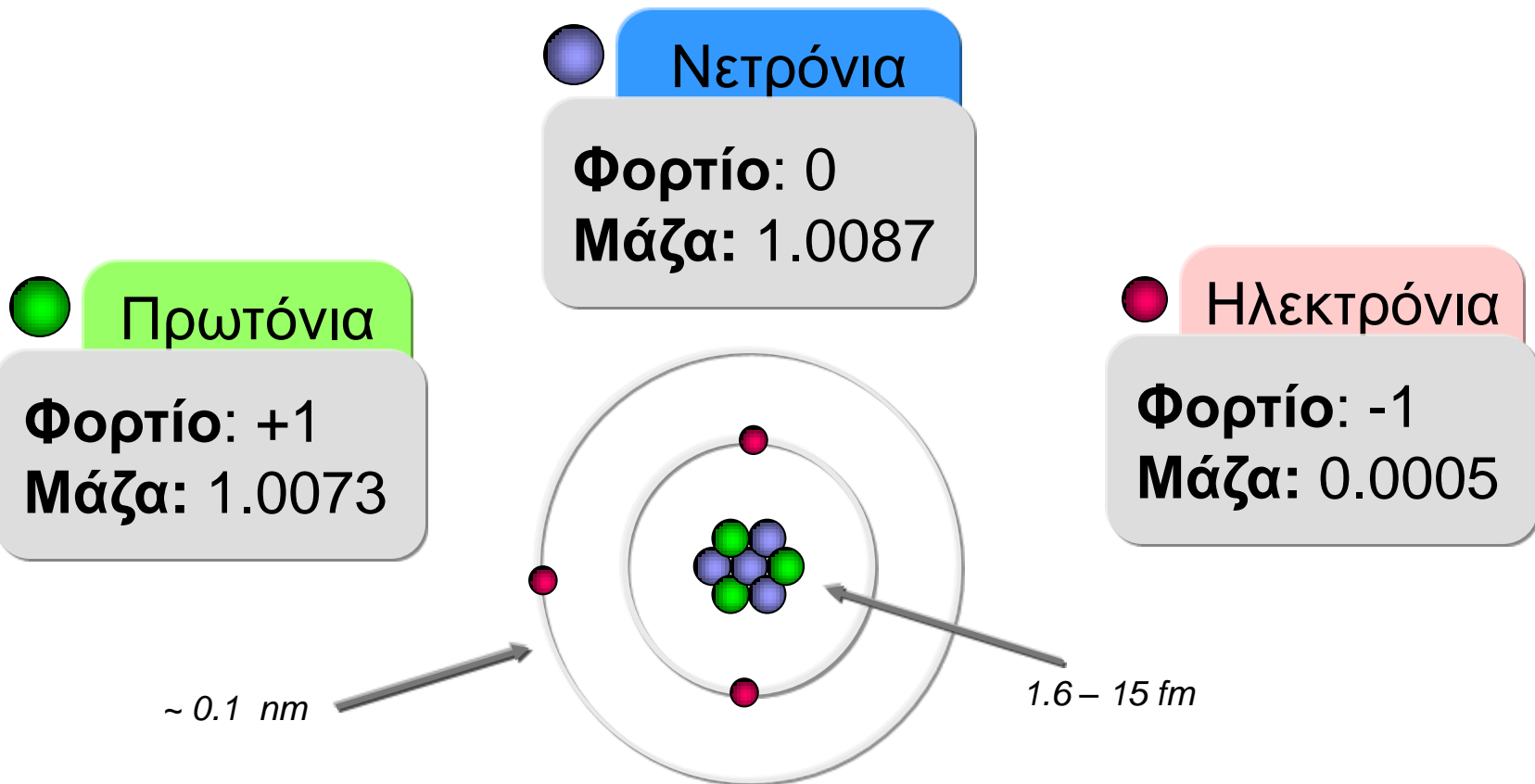
Τα άτομα είναι οι βασικές δομικές μονάδες της ύλης

Σ' ένα ηλεκτρικά ουδέτερο άτομο το θετικό φορτίο του πυρήνα (που οφείλεται στα πρωτόνια) εξουδετερώνεται από το αρνητικό φορτίο των ηλεκτρονίων

Όλα τα στοιχεία εκτός του Υδρογόνου έχουν τουλάχιστον τόσα **νετρόνια** στον πυρήνα τους όσα και **πρωτόνια**.

# Δομή - συστατικά

Άτομο



	Πρωτόνια	Νετρόνια	Ηλεκτρόνια
Φορτίο (C):	$+1.60 \cdot 10^{-19}$	0	$-1.60 \cdot 10^{-19}$
Μάζα (Kg):	$1.67 \cdot 10^{-27}$	$\sim 1.67 \cdot 10^{-27}$	$9.11 \cdot 10^{-31}$

# Ατομικός – Μαζικός αριθμός



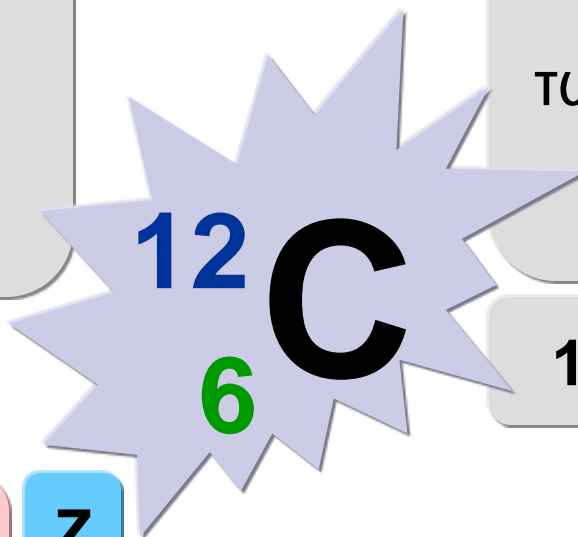
Μαζικός αριθμός

Αριθμός  
πρωτονίων  
+  
νετρονίων

Ατομικό βάρος

Σταθμισμένη  
μέση τιμή  
των ατομικών μαζών  
των φυσικών  
ισοτόπων του

$$1 \text{ a.m.u.} = 1/12 \text{ } ^{12}\text{C}$$



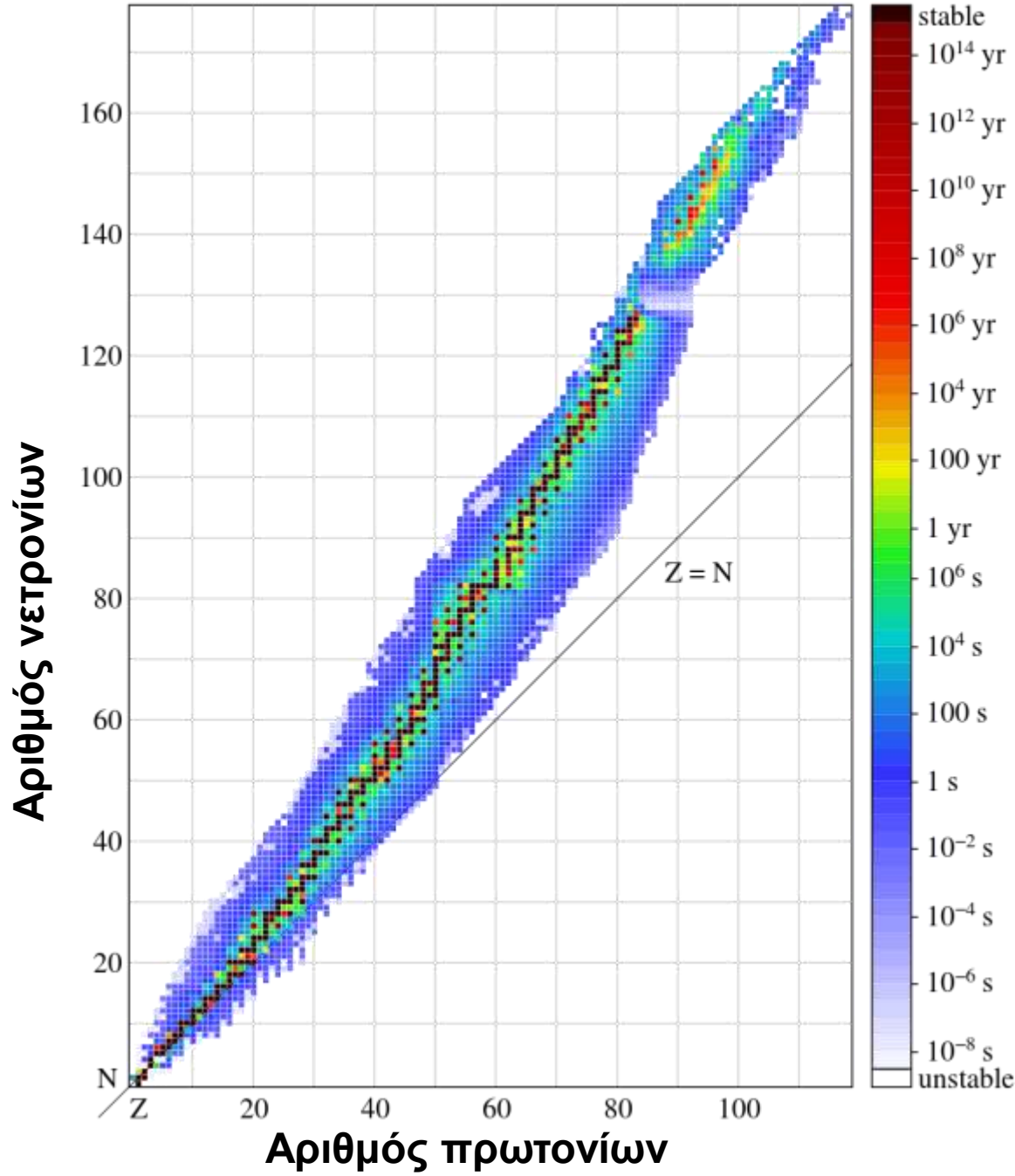
Ατομικός αριθμός

**Z**

Αριθμός πρωτονίων

Αριθμός ηλεκτρονίων = Αριθμός πρωτονίων

Άτομο



Διάγραμμα ατομικών ισοτόπων  
χρωματισμένων με τον χρόνο ημιζωής  
(User: BenRG /Wikimedia Commons,  
Public domain)

# Ιδιότητες υλικών



## Πυρήνας

Ατομική μάζα

Πυκνότητα

Σκεδασμός νετρονίων

## Ηλεκτρόνια

Δεσμοί

Χημικές Ιδιότητες

Μηχανικές Ιδιότητες

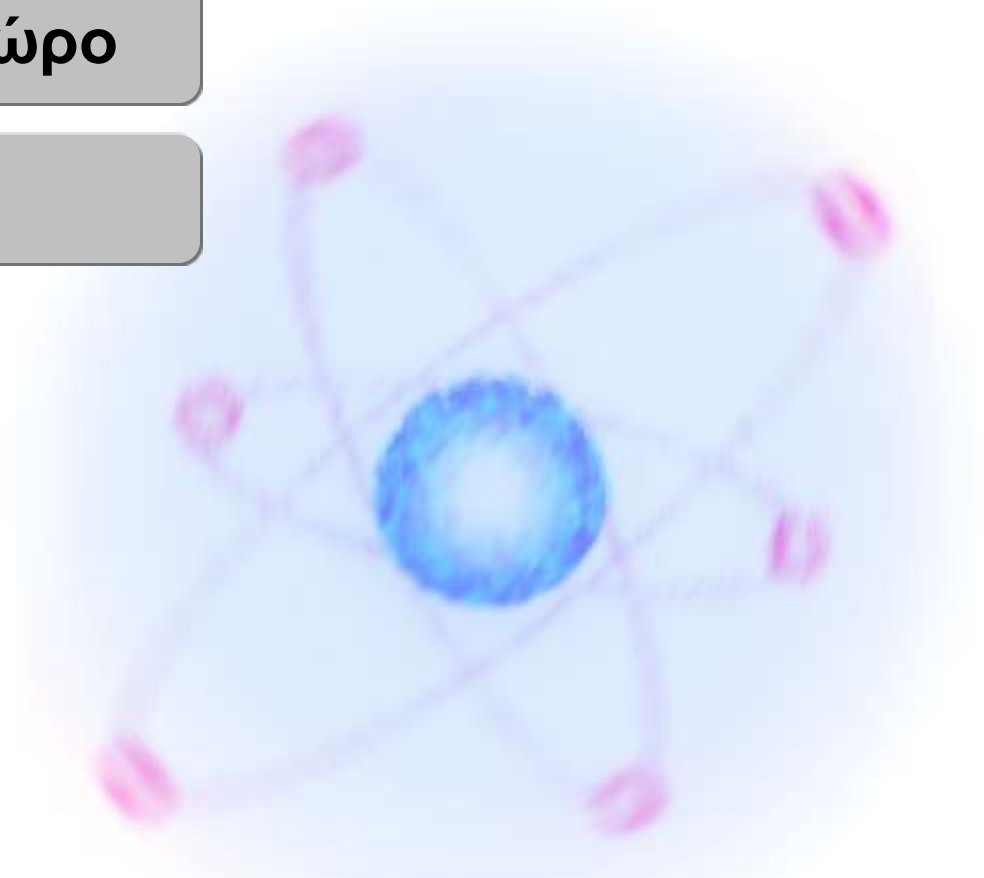
Ηλεκτρικές Ιδιότητες

Θερμικές Ιδιότητες

# Ηλεκτρονικό νέφος

Κατανομή στον χώρο

Ενέργεια



Το ηλεκτρονικό νέφος γύρω από τον πυρήνα, καθορίζει την ικανότητα του ατόμου να προσλαμβάνει ή να χάνει ηλεκτρόνια δηλαδή να **ιονίζεται**



# Δημόκριτος , Άβδηρα Θράκη 400 π.χ.



Απεικόνιση του Δημόκριτου από τον Rubens (1788)  
(User:Dmitrismirnov/Wikimedia, Public domain)

Η υποδιαίρεση της ύλης δεν μπορεί να είναι ατελείωτη !

Υπάρχει μόνο το κενό και τα αιώνια, αναλείωτα άτομα σε αέναη κίνηση

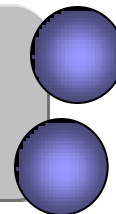
Άτομο = δεν τέμνεται  $\Leftrightarrow$  σκληρή σφαίρα

# Dalton , ~1805 μ.Χ.

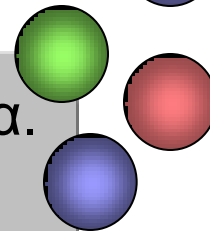


Απεικόνιση του  
J. Dalton από τον C.  
Turner  
(Library of  
Congress/Wikimedia,  
Public domain)

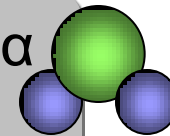
Η ύλη αποτελείται από μικρά  
αόρατα σωματίδια, τα άτομα



Όλα τα άτομα του ίδιου στοιχείου είναι ίδια.  
Άτομα διαφορετικών στοιχείων είναι  
διαφορετικά

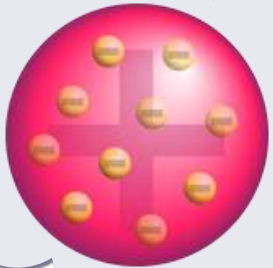


Χημικές ενώσεις δημιουργούνται όταν διαφορετικά άτομα  
συνδυάζονται σε διάφορες αναλογίες

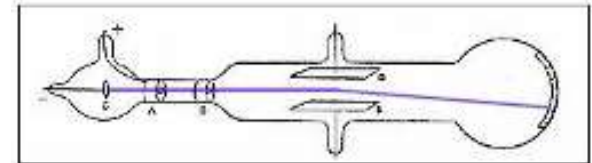


Τα άτομα δεν δημιουργούνται, αλλοιώνονται ή  
καταστρέφονται κατά τις χημικές αντιδράσεις

# Thomson , 1879. Μοντέλο σταφιδόψωμου



Οι καθοδικές ακτίνες είναι **φορτισμένα σωματίδια** με αναλογία μάζας/φορτίου 1000 φορές μικρότερη από αυτή του φορτισμένου ατόμου υδρογόνου



Καθοδικός σωλήνας  
(JJ Thomson's original publication //Wikimedia, Public domain)

Τα σωματίδια αυτά είναι **υποδιαίρεσις του ατόμου**, είναι μοναδικά και ίδια για όλα τα άτομα !

J.J. Thomson  
(Public domain)

**το άτομο τέμνεται !**

## The Nobel Prize in Physics 1906

*"In recognition of the great merits of his theoretical and experimental investigations on the conduction of electricity by gases"*



J.J. Thomson (Public domain)

**Sir Joseph John Thomson**

Great Britain

Cambridge University

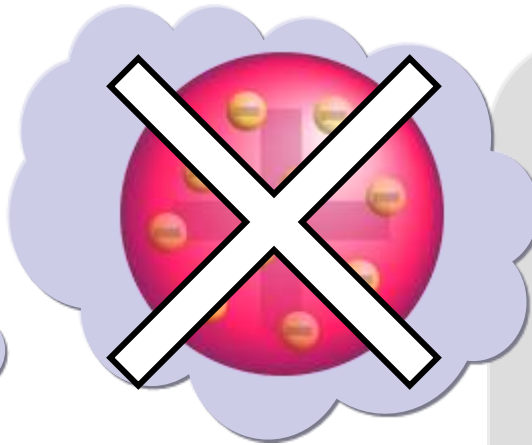
Cambridge, Great Britain

1856 - 1940

# Rutherford (1908) : Μοντέλο μικρού ηλιακού συστήματος

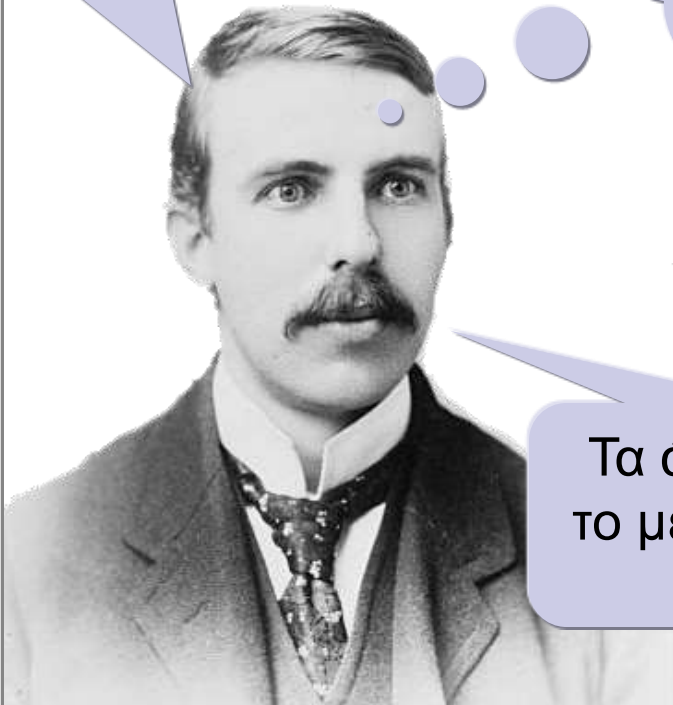
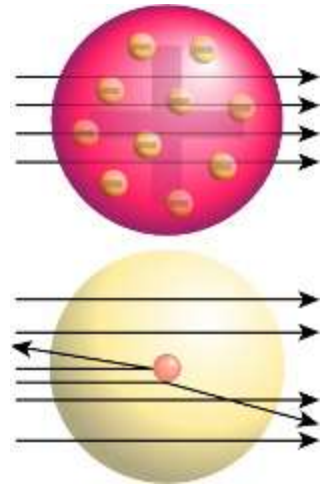


Το μοντέλο του Thomson δεν είναι σωστό !



Τα άτομα έχουν ένα συμπαγή, βαρύ, θετικά φορτισμένο πυρήνα και τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια περιφέρονται γύρω του!

Τα άτομα είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος άδεια!



Ernest Rutherford  
(Library of Congress/Wikimedia,  
Public domain)

## Πείραμα Geiger-Marsden

(User:Fastfission/Wikimedia, Public domain)

Ατομική θεωρία

## The Nobel Prize in Chemistry 1908

*"for his investigations into the disintegration of the elements, and the chemistry of radioactive substances"*



Ernest Rutherford  
(Wikimedia, Public domain)

**Ernest Rutherford**

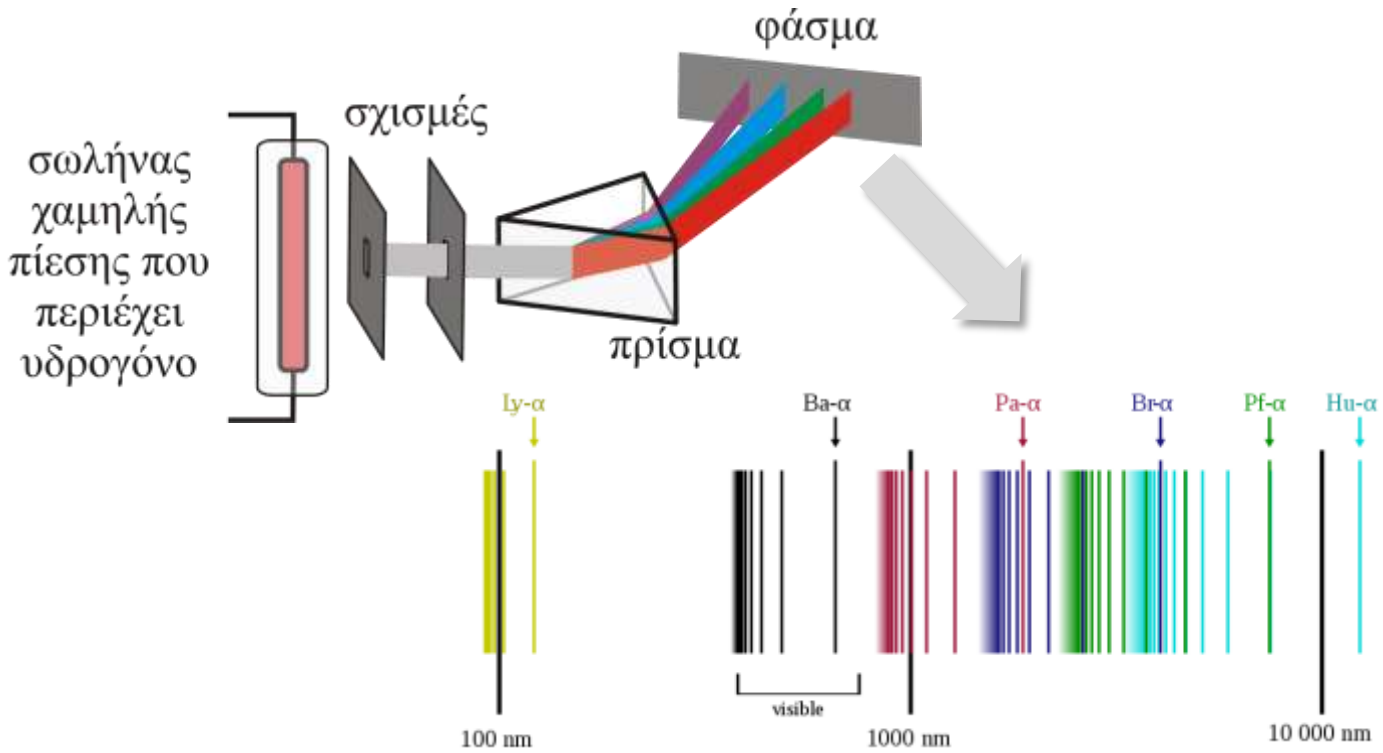
Great Britain

Victoria University

Manchester, Great Britain

1871 - 1937

# Φάσμα εκπομπής του Η



Φάσμα εκπομπής Υδρογόνου  
 User:OrangeDog / Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot \left( \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Εμπειρική σχέση Rydberg

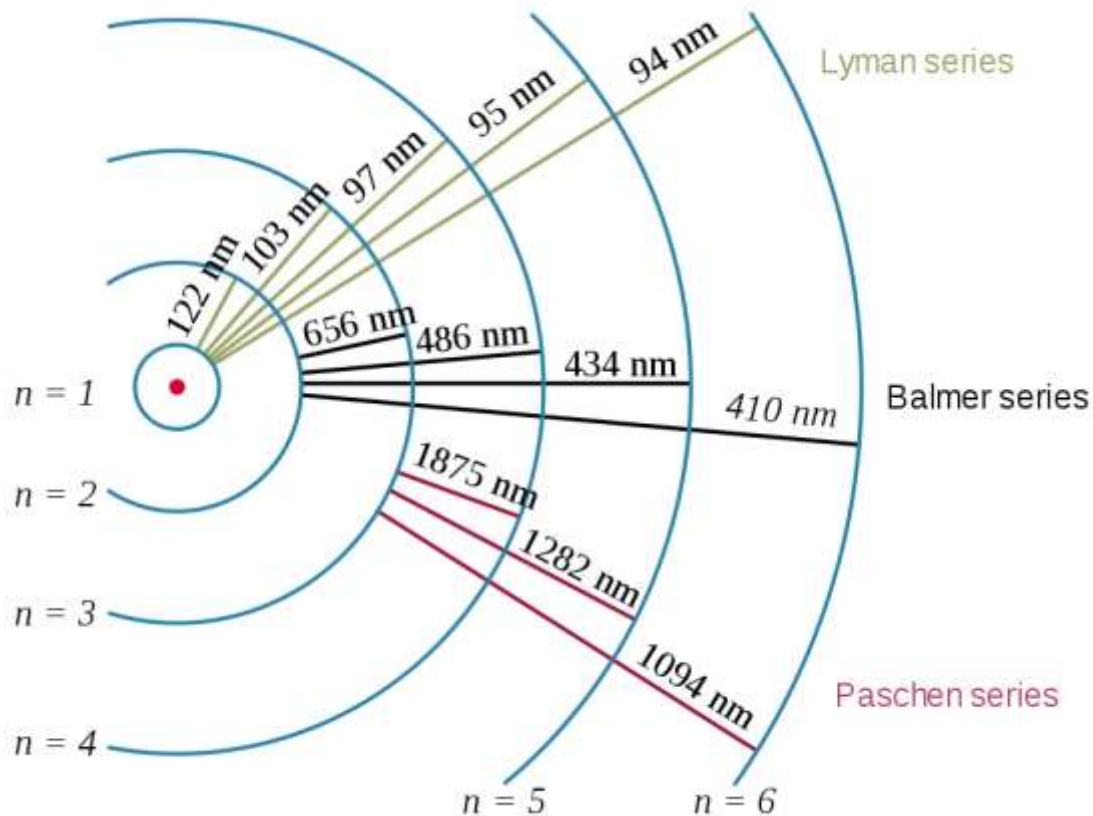
Σταθερά

Ακέραιοι αριθμοί

# Bohr (1913)



Τα ηλεκτρόνια βρίσκονται σε συγκεκριμένα τροχιακά με ορισμένη ενέργεια!



Niels Bohr  
(Wikimedia, Public domain)

Εκπομπή ακτινοβολίας μόνο με κβαντικό άλμα από την μια στάθμη στην άλλη!

Ηλεκτρονικές μεταβάσεις μεταξύ ενεργειακών σταθμών στο άτομο του υδρογόνου  
User: Szdori / Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0



# Bohr (1913)

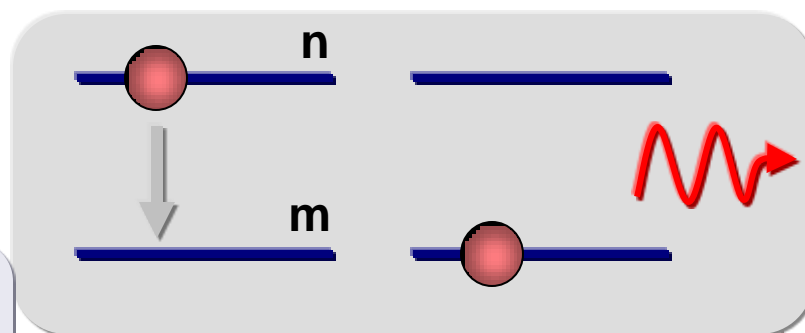


Τα ηλεκτρόνια βρίσκονται σε συγκεκριμένα τροχιακά με ορισμένη ενέργεια!

$$E_n = -\frac{Z^2 R_E}{n^2}^*$$

Εσωτερικά τροχιακά: χαμηλή ενέργεια  
Εξωτερικά τροχιακά: υψηλή ενέργεια

$$^*E_n = -\frac{(Z-1)^2 R_E}{n^2}, \forall Z > 1$$



$$\hbar\omega = E_n - E_m$$

Εκπομπή ακτινοβολίας μόνο με κβαντικό άλμα από την μια στάθμη στην άλλη!



Niels Bohr  
(Wikimedia, Public domain)

$$h = 6.626\ 068\ 96(33) \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4.135\ 667\ 33(10) \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \quad R_E \sim 13.6 \text{ eV}$$

## The Nobel Prize in Physics 1922

*"for his services in the investigation of the structure of atoms and of the radiation emanating from them"*



Niels Bohr  
(Wikimedia, Public domain)

**Niels Henrik David Bohr**

Denmark

Copenhagen University

Copenhagen, Denmark

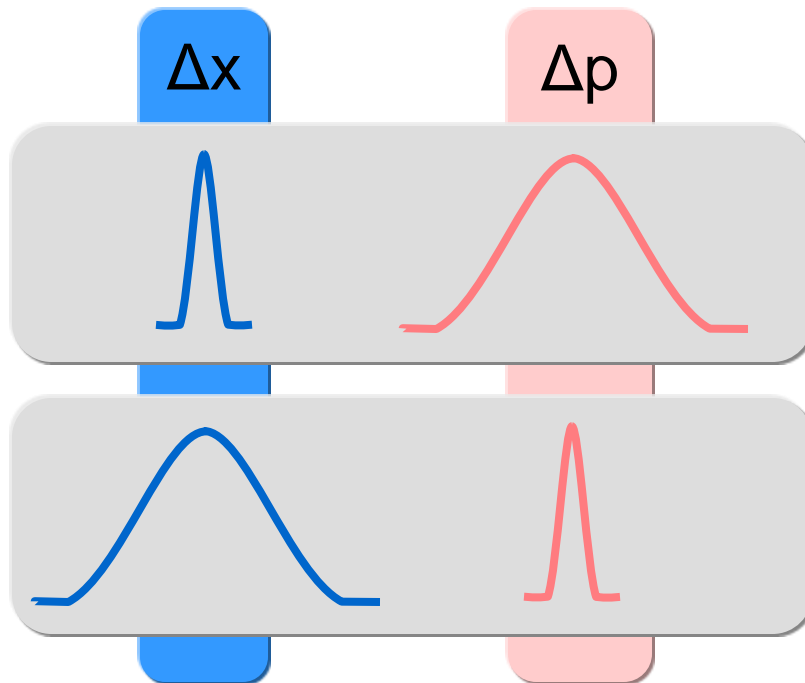
1885 - 1962

# Heisenberg (1927): Αρχή της αβεβαιότητας



Όσο ακριβέστερα καθορίζεται η θέση, τόσο πιο αβέβαια γίνεται η ορμή την ίδια στιγμή, και αντιστρόφως!

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$$



Werner Karl Heisenberg  
(Wikimedia, Public domain)

## The Nobel Prize in Physics 1932

*"for the creation of quantum mechanics, the application of which has, inter alia, led to the discovery of the allotropic forms of hydrogen"*



Werner Karl Heisenberg  
(Nobel Foundation/ Wikimedia, Public domain)

**Werner Karl Heisenberg**

Germany

Leipzig University

Leipzig, Germany

1901 - 1976

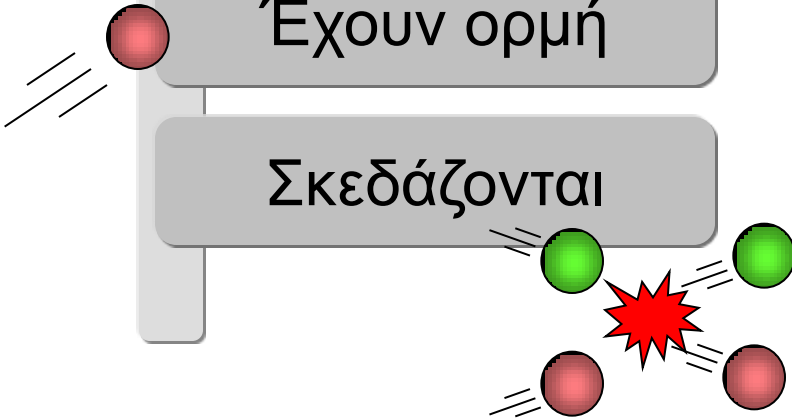
# Κύματα ή σωματίδια;

Ηλεκτρόνια

Σωματίδια

Έχουν ορμή

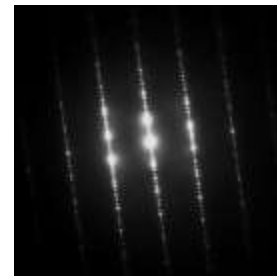
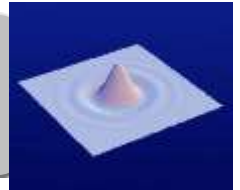
Σκεδάζονται



Κύματα

Δεν είναι εντοπισμένα

Περιθλώνται από εμπόδια



Περίθλαση ηλεκτρονίων  
User: Oysteinp / Wikimedia Commons,  
CC-BY-SA-3.0



Κυματισμοί στην επιφάνεια του νερού  
Ron Piekert / Wikimedia Commons, CC BY 3.0

# Κβαντομηχανική (Quantum mechanics)

## Εξίσωση Schrödinger

$$\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi(\mathbf{r}, t) + i\hbar \frac{\partial \Psi(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = V(\mathbf{r}) \Psi(\mathbf{r}, t)$$

Κυματοσυνάρτηση  
(wave function)

Δυναμικό  
(potential)

$$|\Psi(\mathbf{r}, t)|^2$$

Πυκνότητα πιθανότητας να βρούμε  
το σωματίδιο στην θέση  $\mathbf{r}$

$$E = \hbar \omega$$

$$\mathbf{p} = \hbar \mathbf{k}$$

Τα ηλεκτρόνια που περιβάλλουν τον πυρήνα μπορούν να περιγραφούν σαν **ενεργειακά κύματα** με συγκεκριμένο **πλάτος** και **μήκος κύματος**.

Τα χαρακτηριστικά των ηλεκτρονικών κυμάτων δίνονται από τη λύση της **εξίσωσης Schrödinger**.

Για τα ηλεκτρόνια του ατόμου μόνο συγκεκριμένα **μήκη κύματος, ενέργειες και πλάτη** ικανοποιούν την εξίσωση Schrödinger

Οι έγκυρες λύσεις της εξίσωσης **Schrödinger** ταξινομούνται με βάση **3 ακέραιους αριθμούς** και έναν ακόμη αριθμό που μπορεί να είναι ή  $-1/2$  ή  $+1/2$

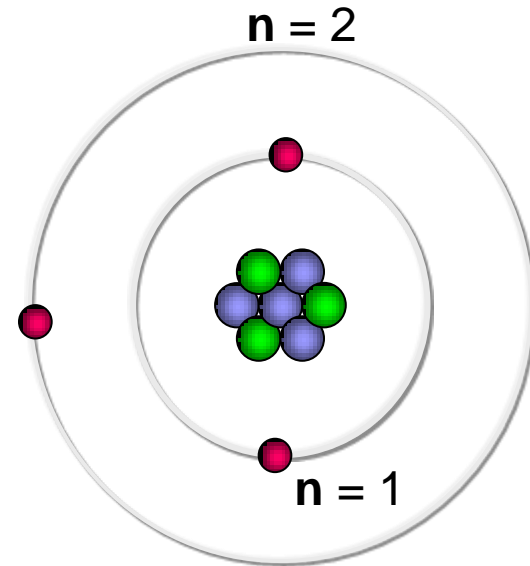
Οι αριθμοί αυτοί είναι οι **κβαντικοί αριθμοί** του ηλεκτρονίου, που λέγονται  **$n$ ,  $l$ ,  $m$ , και  $spin$** .

Κύριος κβαντικός αριθμός

$n: 1, 2, 3 \dots$

Ενέργεια του ηλεκτρονίου

Απόσταση από τον πυρήνα



Μοντέλο Bohr:  $E_n = -\frac{Z^2 R_E}{n^2}^*$

$^*E_n = -\frac{(Z-1)^2 R_E}{n^2}, \forall Z > 1$

1

2

3

4

5

K

L

M

N

O

Ονομάζεται και ηλεκτρονική στοιβάδα

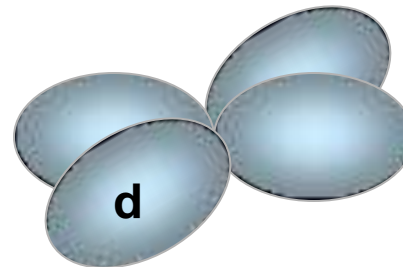
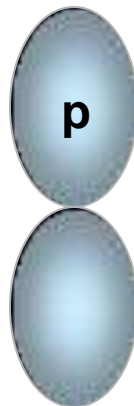
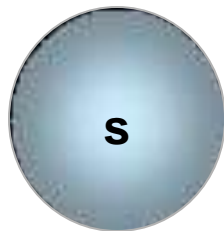


## Κβαντικός αριθμός στροφορμής

$$l : 0, 1, 2 \dots, (n-1)$$

Στροφορμή του ηλεκτρονίου

Σχήμα του ηλεκτρονικού νέφους



Ιστορικά προέκυψαν από την φασματοσκοπία

0  
1  
2  
3  
4  
5

**s** (*sharp*)  
**p** (*principal*)  
**d** (*diffuse*)  
**f** (*fundamental*)  
**g**  
**h**

## Μαγνητικός κβαντικός αριθμός

$$m: -l, \dots, 0, \dots, +l$$

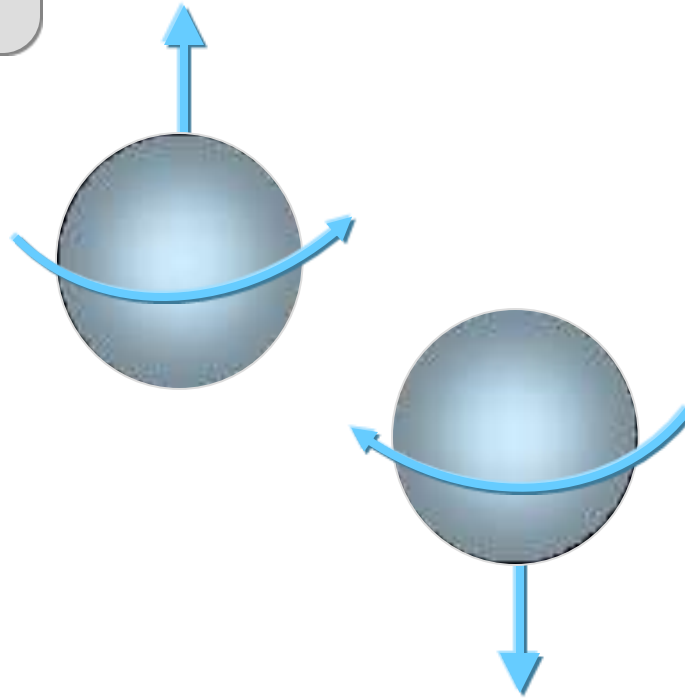
Ενεργειακές στάθμες της  
υποστοιβάδας

Σχέση μεταξύ κβαντικών αριθμών		
Τροχιακό	Τιμές	Αριθμός τιμών για το $m$
<b>s</b>	$l=0, m=0$	1
<b>p</b>	$l=1, m=-1, 0, +1$	3
<b>d</b>	$l=2, m=-2, -1, 0, +1, +2$	5
<b>f</b>	$l=3, m = -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3$	7
<b>g</b>	$l=4, m = -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4$	9

Απουσία μαγνητικού πεδίου οι στάθμες δεν διαχωρίζονται

## Spin (Ιδιοστροφορμή)

$$s: -\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}$$



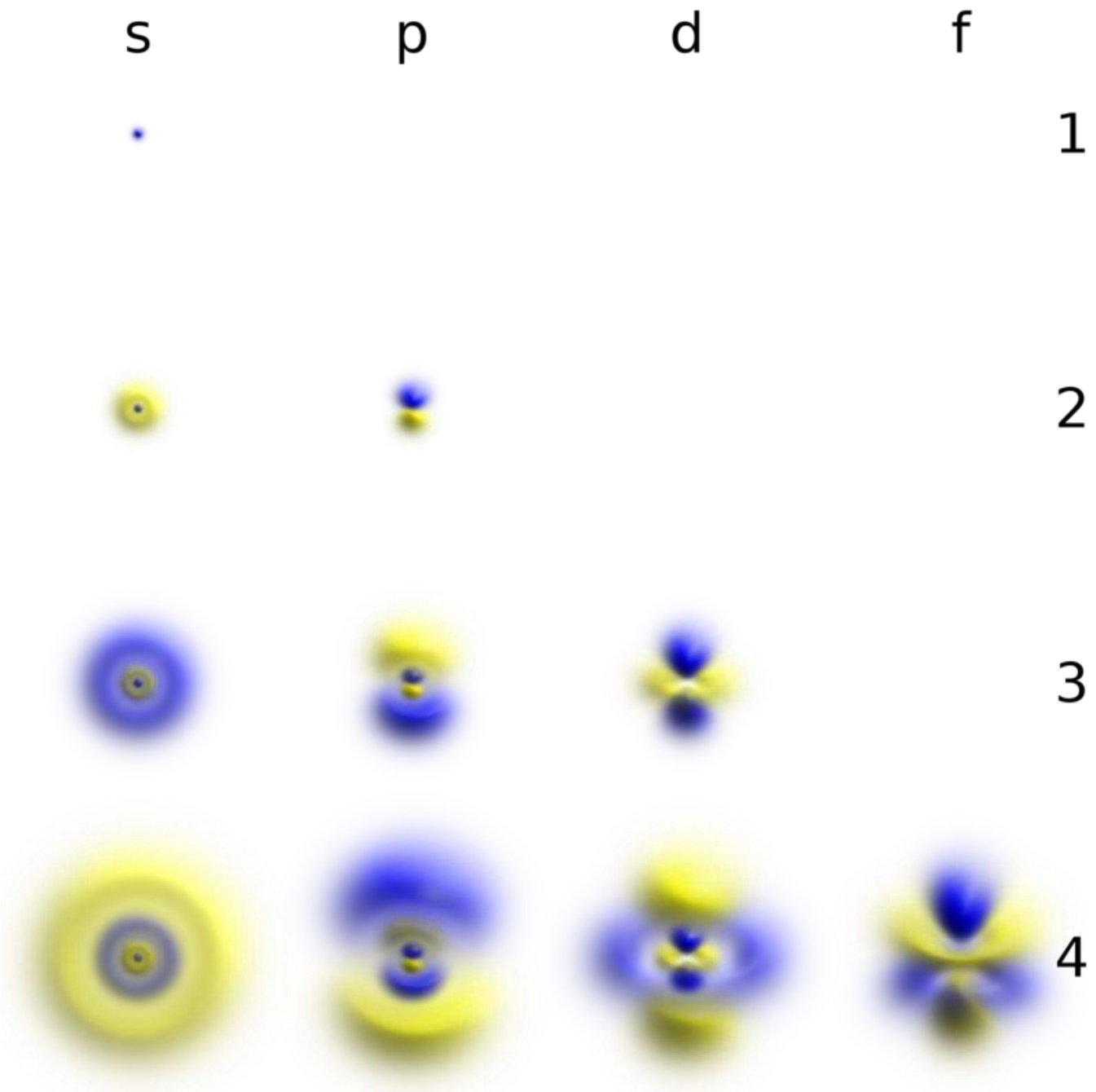
# Τροχιακά

	$s$ ( $l=0$ )	$p$ ( $l=1$ )	$d$ ( $l=2$ )	$f$ ( $l=3$ )
$n=1$ $m=0$				
$n=2$ $m=0$		$m=-1$ $m=0$ $m=1$		
$n=3$ $m=0$		$m=-1$ $m=0$ $m=1$	$m=-2$ $m=-1$ $m=0$ $m=1$ $m=2$	
$n=4$ $m=0$		$m=-1$ $m=0$ $m=1$	$m=-2$ $m=-1$ $m=0$ $m=1$ $m=2$	$m=-3$ $m=-2$ $m=-1$ $m=0$ $m=1$ $m=2$ $m=3$
$n=5$ $m=0$		$m=-1$ $m=0$ $m=1$	$m=-2$ $m=-1$ $m=0$ $m=1$ $m=2$	
$n=6$ $m=0$		$m=-1$ $m=0$ $m=1$		
$n=7$ $m=0$				

Ατομικά τροχιακά

User: DMacks / Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0

# Κβαντομηχανική (Quantum mechanics)



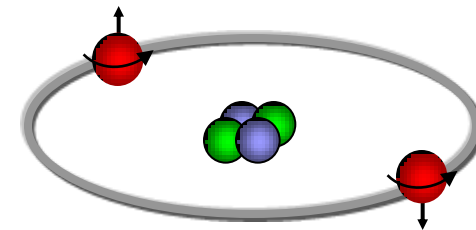
Ατομικά τροχιακά  
User: Geek3 / Wikimedia  
Commons, CC-BY-SA-4.0

# Πώς γίνεται η πλήρωση των ηλεκτρονικών στοιβάδων ;

## Απαγορευτική αρχή του Pauli

Στο ίδιο άτομο δεν μπορούν να υπάρξουν 2 ηλεκτρόνια με κοινούς και τους 4 κβαντικούς αριθμούς.

Διαθέσιμες στάθμες	
spin	1
m	2
l	$2(2l+1)$
n	$2n^2$

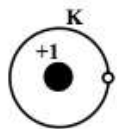
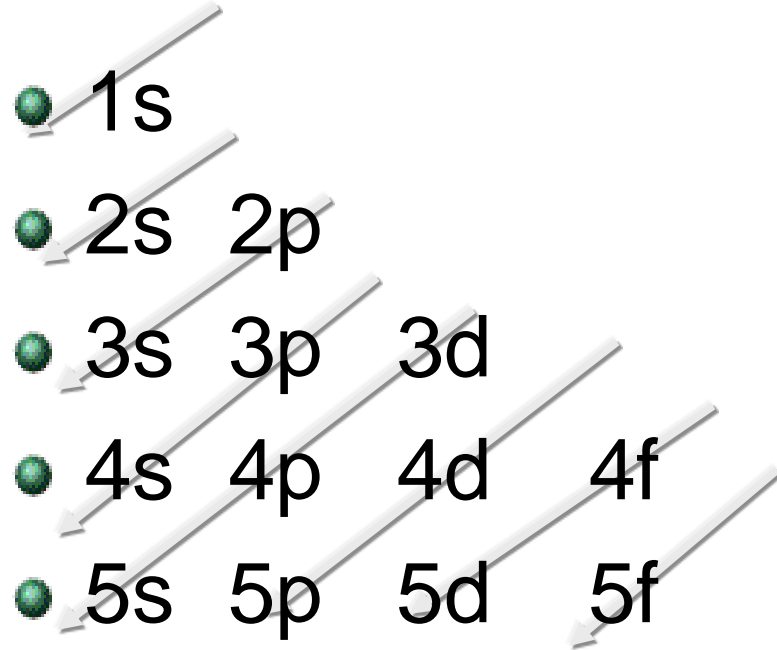


He

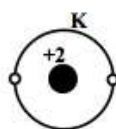
# Πλήρωση ηλεκτρονικών στιβάδων

Οι στιβάδες και τροχιακά χαμηλότερης ενέργειας συμπληρώνονται πρώτα

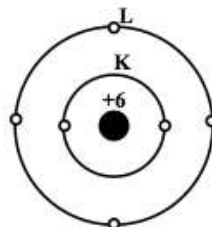
*Madelung or Janet or Klechkowsky, or diagonal rule*



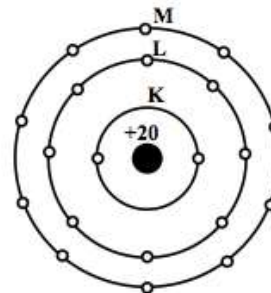
Hydrogen



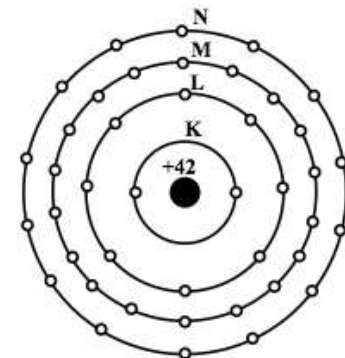
Helium



Carbon



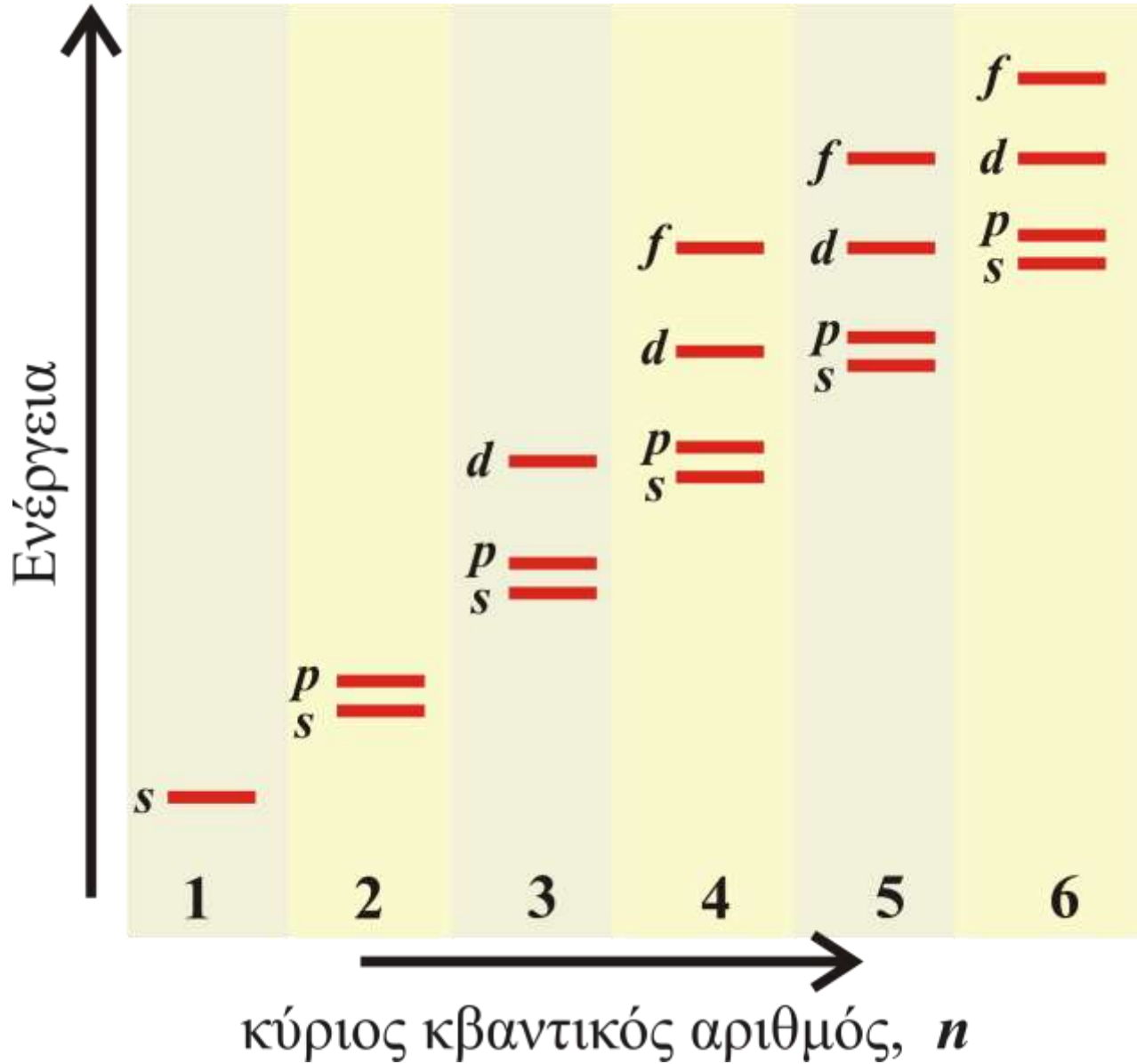
Calcium



Molybdenum

Σχηματική απεικόνιση πλήρωσης ηλεκτρονικών στιβάδων για 5 άτομα  
(*Wikimedia, Public domain*)

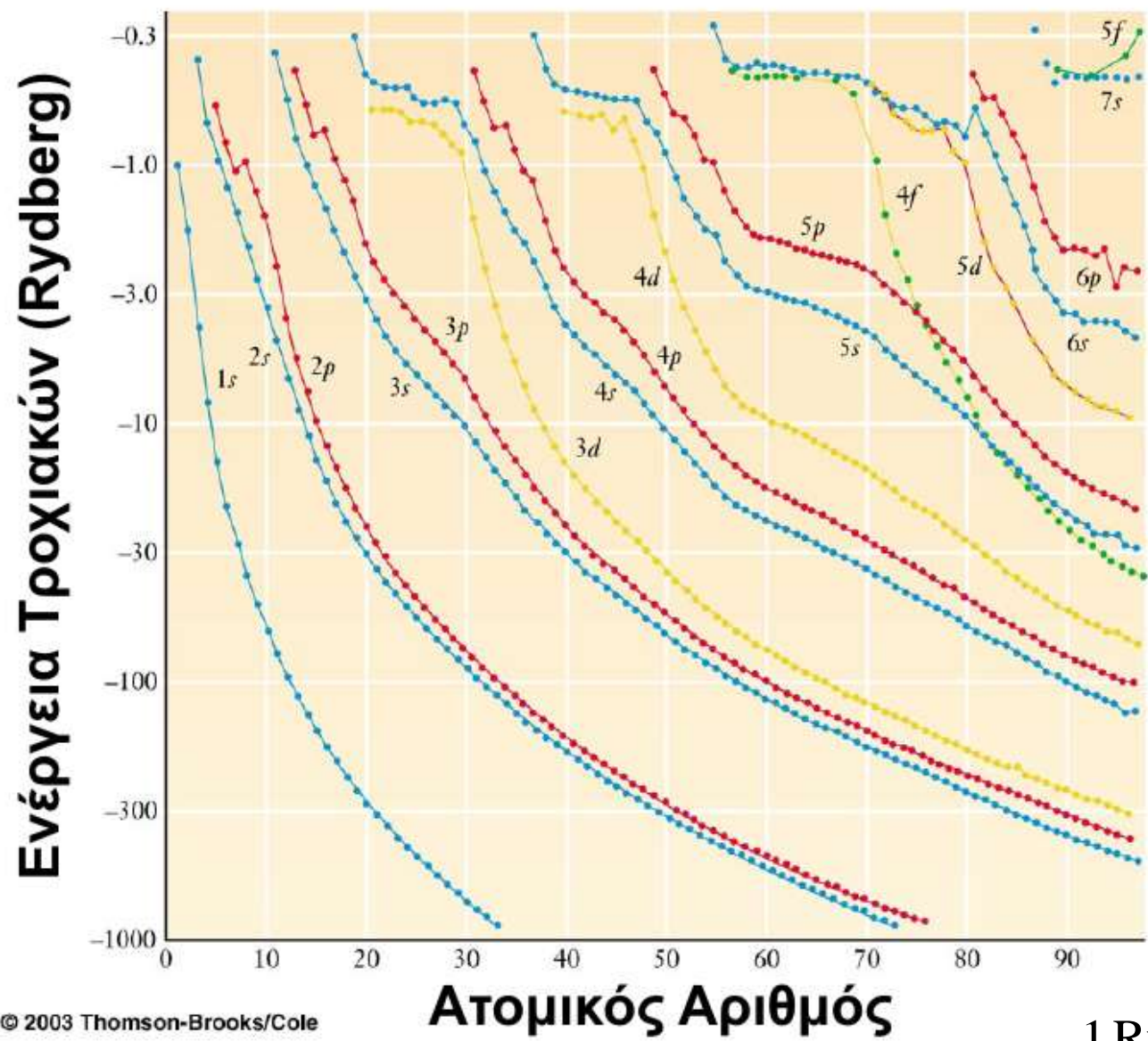
# Ενέργειες τροχιακών





# Ενέργειες τροχιακών (ακριβέστερη περιγραφή)

Πλήρωση ηλεκτρονικών στιβάδων



© 2003 Thomson-Brooks/Cole

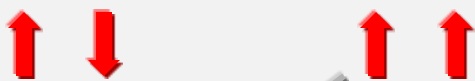
1 Ry  $\approx$  13.6 eV.

# Ενέργειες τροχιακών (ακριβέστερη περιγραφή)

Στα άτομα με πολλά ηλεκτρόνια οι ενέργειες των τροχιακών επηρεάζονται από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ηλεκτρονίων

«Θωράκιση» του φορτίου του πυρήνα από τα «εσωτερικά» ηλεκτρόνια

## Spin-Spin

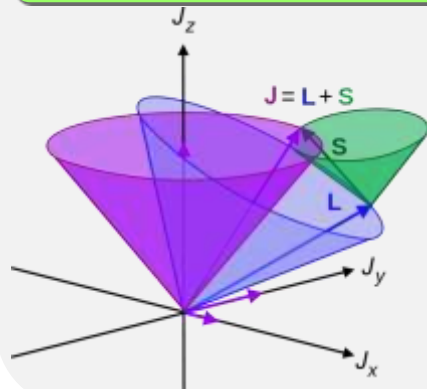


μικρότερη πιθανότητα να βρίσκονται κοντά  $\Rightarrow$  Χαμηλότερη ενέργεια

## 1<sup>ος</sup> κανόνας Hund

Ο συνδυασμός με την μέγιστη συνολική **ιδιοστροφορμή** έχει χαμηλότερη ενέργεια

## Orbit - Orbit



Σχηματική απεικόνιση συνολικής στροφορμής (user:Maschen /Wikimedia, Public domain)

## 2<sup>ος</sup> κανόνας Hund

Ο συνδυασμός με την μέγιστη συνολική **στροφορμή** έχει χαμηλότερη ενέργεια

# Θεμελιώδης κατάσταση των 10 πρώτων ατόμων

Πλήρωση ηλεκτρονικών στιβάδων

	1s	2s	2p <sub>x</sub>	2p <sub>y</sub>	2p <sub>z</sub>	3s	3p <sub>x</sub>	3p <sub>y</sub>	3p <sub>z</sub>
H	↑								
He	↑ ↓								
Li	↑ ↓	↑							
Be	↑ ↓	↑ ↓							
B	↑ ↓	↑ ↓	↑						
C	↑ ↓	↑ ↓	↑	↑					
N	↑ ↓	↑ ↓	↑	↑	↑				
O	↑ ↓	↑ ↓	↑ ↓	↑	↑				
F	↑ ↓	↑ ↓	↑ ↓	↑ ↓	↑				
Ne	↑ ↓	↑ ↓	↑ ↓	↑ ↓	↑ ↓				

## Ηλεκτρόνια σθένους

Τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας κάθε ατόμου λέγονται ηλεκτρόνια σθένους  
Με αυτά τα ηλεκτρόνια αλληλεπιδρά το άτομο με το περιβάλλον του.

## Ιονισμός

προσθήκη ή αφαίρεση ηλεκτρονίων σθένους.

Οι **δεσμοί** μεταξύ ατόμων γίνονται με αλληλεπιδράσεις των ηλεκτρονίων σθένους

*Η ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα των μετάλλων οφείλεται στα ηλεκτρόνια σθένους*

## Διαμορφώσεις

### Ευγενών αερίων

Τα **s**, **p** τροχιακά της εξωτερικής στοιβάδας είναι συμπληρωμένα, ενώ τα τροχιακά όλων των μικρότερων στοιβάδων είναι συμπληρωμένα

### Συμπληρωμένα d τροχιακά

Συμπληρωμένα τα **d** τροχιακά ενώ τα **s**, **p** τροχιακά της αμέσως επόμενης στοιβάδας είναι κενά

$[\text{Sn}]^{+4}$ :  $[\text{Kr}] 4d^{10}$  πιο σταθερό από  $[\text{Sn}]^{+2}$ :  $[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^2$

## Διαμορφώσεις

### Ημισυμπληρωμένα $d$ ή $p$ τροχιακά

5 ηλεκτρόνια σε  $d$  τροχιακά ή 3 ηλεκτρόνια σε  $p$  τροχιακά

$[\text{Fe}]^{+3}$ :  $[\text{Ar}] 3d^5$  πιο σταθερό από  $[\text{Fe}]^{+2}$ :  $[\text{Ar}] 3d^6$

### Συμπληρωμένα $s$ τροχιακά

Συμπληρωμένο το τροχιακό  $s$

# Περιοδικός πίνακας των στοιχείων

	I	II										III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be										5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3	11 Na	12 Mg										13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
8	119 Uun																	

οι ρωμαϊκοί αριθμοί δίνουν το σθένος

Περιοδικός Πίνακας των στοιχείων

User: Armtuk / Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0

\* Lanthanides

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

\*\* Actinides

89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Alkali metals	Alkaline earth metals	Lanthanides	Actinides	Transition metals
Poor metals	Metalloids	Nonmetals	Halogens	Noble gases

State at standard temperature and pressure

Atomic number in red: gas

Atomic number in blue: liquid

Atomic number in black: solid

solid border: at least one isotope is older than the Earth (Primordial elements)

dashed border: at least one isotope naturally arise from decay of other chemical elements and no isotopes are older than the earth

dotted border: only artificially made isotopes (synthetic elements)

no border: undiscovered



Στοιχεία της ίδιας στήλης (ομάδας ή οικογένειας) έχουν τον ίδιο αριθμό ηλεκτρονίων σθένους

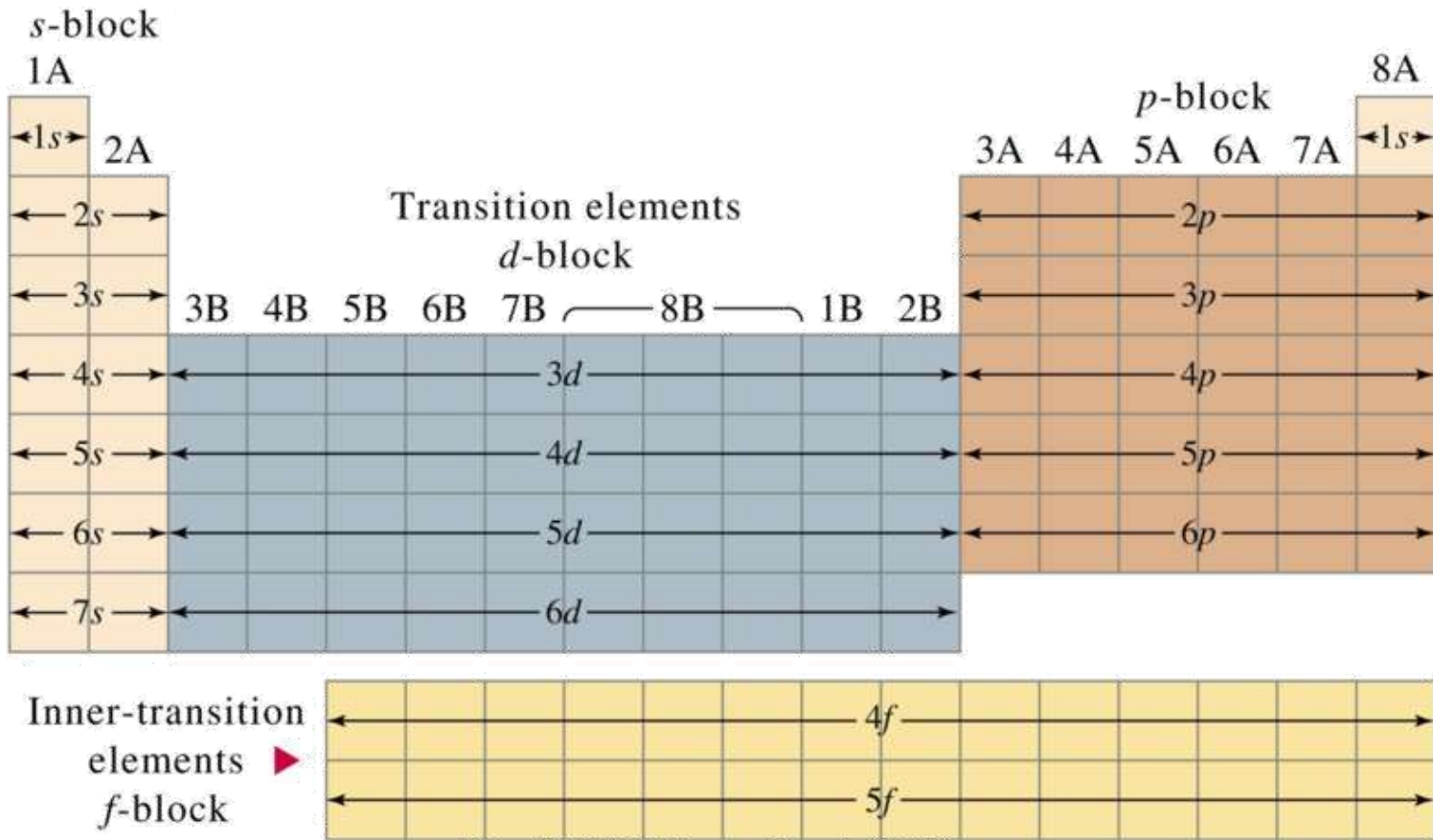
Τα ηλεκτρόνια σθένους είναι τα ηλεκτρόνια που αλληλεπιδρούν με τον «έξω κόσμο»

Τα στοιχεία της ίδιας ομάδας έχουν παρόμοιες ιδιότητες !



# Εξωτερικά τροχιακά στον περιοδικό πίνακα

Περιοδικός Πίνακας των Στοιχείων



Εξωτερικά τροχιακά στον Περιοδικό Πίνακα των Στοιχείων

User: Sch0013r / Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0

**Εξωτερικά τροχιακά**

**Αμέταλλα**

κυρίως *p*

**Μέταλλα**

κυρίως *s*, *d*, ή *f* (λανθανίδες-ακτινίδες)

# Ηλεκτρονική δομή αλογόνων (ομάδα VII)

VIIA	2
9 F	10 Ne
17 Cl	18 Ar
35 Br	36 Kr
53 I	54 Xe
85 At	86 Rn

1	2	3	4	5	6	n
2	7					
2	8	7				
2	8	18	7			
2	8	18	18	7		
2	8	18	32	18	7	

Έχουν 7 ηλεκτρόνια σθένους

Δέκτες ηλεκτρονίων

Αμέταλλα

# Ηλεκτρονική δομή αλκαλικών μετάλλων (ομάδα I)

3	Li	4
11	Na	12
19	K	20
37	Rb	38
55	Cs	56
87	Fr	88

1	2	3	4	5	6	7	n
2	1						
2	8	1					
2	8	8	1				
2	8	18	8	1			
2	8	18	18	8	1		
2	8	18	32	18	8	1	

Έχουν 1 ηλεκτρόνιο σθένους

Δότες ηλεκτρονίων

Μέταλλα

# Ηλεκτρονική δομή ευγενών αερίων (ομάδα VIII)

	1	2	3	4	5	6	n
2 He	2						
10 Ne	2	8					
18 Ar	2	8	8				
36 Kr	2	8	18	8			
54 Xe	2	8	18	18	8		
86 Rn	2	8	18	32	18	8	

Αδρανή στοιχεία

Συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα