

Γενική Χημεία

Νίκος Ξεκουκουλωτάκης
Επίκουρος Καθηγητής

Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
Γραφείο Κ2.125, τηλ.: 28210-37772
e-mail: nikosxek@gmail.com



Περιεχόμενα

- Πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα
- Μαγνητικός κβαντικός αριθμός του spin
- Απαγορευτική αρχή του Pauli
- Σχετικές ενέργειες των τροχιακών στα πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα
- Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα
- Αρχή ηλεκτρονιακής δόμησης
- Περιοδικός πίνακας των στοιχείων
- Ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις των πολυ-ηλεκτρονιακών ατόμων
- Περιοδικές ιδιότητες των στοιχείων
- Μέταλλα, αμέταλλα και μεταλλοειδή



Μαθησιακά αποτελέσματα

- Αφού μελετήσετε αυτό το κεφάλαιο, θα πρέπει να είστε σε θέση:
- ✓ Να κατανοείτε γιατί δεν μπορεί να λυθεί επακριβώς η εξίσωση του Schrödinger για τα πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα.
- ✓ Να κατανοείτε τι είναι η προσέγγιση των τροχιακών.
- ✓ Να εξηγείτε τι είναι ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός του spin, m_s , και τι τιμές παίρνει.
- ✓ Να διατυπώνετε την απαγορευτική αρχή του Pauli.
- ✓ Να κατανοείτε πως διαχωρίζονται τα ενεργειακά επίπεδα των τροχιακών στα πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα.



Μαθησιακά αποτελέσματα

- Αφού μελετήσετε αυτό το κεφάλαιο, θα πρέπει να είστε σε θέση:
- ✓ Να εξηγείτε τα φαινόμενα της προστασίας ή θωράκισης και της διείσδυση του ηλεκτρονικού νέφους.
- ✓ Να εξηγείτε τι είναι το δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα και πως επηρεάζει τις περιοδικές ιδιότητες των στοιχείων.
- ✓ Να διατυπώνετε την αρχή ηλεκτρονιακής δόμησης και πως εφαρμόζεται στα πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα.
- ✓ Να εξηγείτε τι είναι ο περιοδικός πίνακας των στοιχείων και πως τα στοιχεία τοποθετούνται σε αυτόν.
- Να διατυπώνετε το νόμο της περιοδικότητας του Moseley.



Μαθησιακά αποτελέσματα

- Αφού μελετήσετε αυτό το κεφάλαιο, θα πρέπει να είστε σε θέση:
- ✓ Να εξηγείτε πως μεταβάλλεται το μέγεθος των ατόμων και η ενέργεια ιοντισμού στις ομάδες και τις περιόδους του περιοδικού πίνακα.
- ✓ Να ταξινομείτε τα στοιχεία του περιοδικού πίνακα σε μέταλλα, αμέταλλα και μεταλλοειδή.

Περιοδικός Πίνακας των Στοιχείων



	I _A 1																	VIII _A 18
1	1 H 1,008 Υδρογόνο	2 He 4,002602 Ήλιο																
2	3 Li 6,94 Λίθιο	4 Be 9,012183 Βηρύλλιο											5 B 10,81 Βόριο	6 C 12,011 Ανθρακας	7 N 14,007 Αζωτο	8 O 15,999 Οξυγόνο	9 F 18,998403 Φθόριο	10 Ne 20,1797 Νέο
3	11 Na 22,989769 Νάτριο	12 Mg 24,305 Μαγνήσιο	VIII _B										13 Al 26,981539 Αργίλιο	14 Si 28,085 Πυρίτιο	15 P 30,973762 Φωσφόρος	16 S 32,06 Θείο	17 Cl 35,45 Χλώριο	18 Ar 39,95 Αργό
4	19 K 39,0983 Κάλιο	20 Ca 40,078 Ασβέστιο	21 Sc 44,955908 Σκάνδιο	22 Ti 47,867 Τιτάνιο	23 V 50,9415 Βανάδιο	24 Cr 51,9961 Χρώμιο	25 Mn 54,938043 Μαγγάνιο	26 Fe 55,845 Σίδηρος	27 Co 58,933194 Κοβάλτιο	28 Ni 58,6934 Νικέλιο	29 Cu 63,546 Χαλκός	30 Zn 65,38 Ψευδάργυρος	31 Ga 69,723 Γάλλιο	32 Ge 72,630 Γερμάνιο	33 As 74,921595 Αρσενικό	34 Se 78,971 Σελήνιο	35 Br 79,904 Βρώμιο	36 Kr 83,798 Κρυπτό
5	37 Rb 85,4678 Ρουβίδιο	38 Sr 87,62 Στρόντιο	39 Y 88,90584 Ύτριο	40 Zr 91,224 Ζιρκόνιο	41 Nb 92,90637 Νιόβιο	42 Mo 95,95 Μολυβδαίνιο	43 Tc [98] Τεχνητό	44 Ru 101,07 Ρουθένιο	45 Rh 102,90549 Ρόδιο	46 Pd 106,42 Παλλάδιο	47 Ag 107,8682 Αργυρος	48 Cd 112,414 Κάδμιο	49 In 114,818 Ινδίο	50 Sn 118,710 Κασσίτερος	51 Sb 121,760 Αντιμόνιο	52 Te 127,60 Τελουρίο	53 I 126,90447 Ιώδιο	54 Xe 131,293 Ξένο
6	55 Cs 132,90545 Καίσιο	56 Ba 137,327 Βάριο	57 La* 138,90547 Λανθάνιο	72 Hf 178,49 Αφνιο	73 Ta 180,94788 Ταντάλιο	74 W 183,84 Βολφράμιο	75 Re 186,207 Ρήνιο	76 Os 190,23 Οσμιο	77 Ir 192,217 Ιρίδιο	78 Pt 195,084 Λευκόχρυσος	79 Au 196,96657 Χρυσός	80 Hg 200,592 Υδράργυρος	81 Tl 204,38 Θάλλιο	82 Pb 207,2 Μόλυβδος	83 Bi 208,98040 Βισμούθιο	84 Po [208,98] Πολόνιο	85 At [209,99] Αστάτιο	86 Rn [222,02] Ραδόνιο
7	87 Fr [223,02] Φράγκιο	88 Ra [226,03] Ράδιο	89 Ac** [227,03] Ακτίνιο	104 Rf [267,1] Ραεφερόριο	105 Db [268,1] Ντούμπνιο	106 Sg [269,1] Σημπόργκιο	107 Bh [270,1] Μπόριο	108 Hs [269,1] Χάσσιο	109 Mt [278,2] Μεϊντέρτιο	110 Ds [281,2] Νταρμστάντιο	111 Rg [282,2] Ρεντγκένιο	112 Cn [285,2] Κοπερνίκιο	113 Nh [286,2] Νιχόνιο	114 Fl [289,2] Φλερόβιο	115 Mc [289,2] Μοσχόβιο	116 Lv [293,2] Λιβερμόριο	117 Ts [293,2] Τενεσσίνιο	118 Og [294,2] Ογκάνεσσον

* Λανθανίδες

** Ακτινίδες

58 Ce 140,116 Διμήτριο	59 Pr 140,90766 Προσεόδομιο	60 Nd 144,242 Νεοδόμιο	61 Pm [145] Προμήθειο	62 Sm 150,36 Σαμάριο	63 Eu 151,964 Ευρώπιο	64 Gd 157,25 Γαδολίνιο	65 Tb 158,92535 Τέρβιο	66 Dy 162,500 Δυσπρόσιο	67 Ho 164,93033 Όλμιο	68 Er 167,259 Έρβιο	69 Tm 168,93422 Θούλιο	70 Yb 173,045 Υττέριο	71 Lu 174,9668 Λουτέτιο
90 Th 232,0377 Θόριο	91 Pa 231,03588 Πρωακτίνιο	92 U 238,02891 Ουράνιο	93 Np [237,05] Ποσειδώνιο	94 Pu [244,06] Πλουτώνιο	95 Am [243,06] Αμερίκιο	96 Cm [247,07] Κιούριο	97 Bk [247,07] Μπερκέλιο	98 Cf [251,08] Καλιφόρνιο	99 Es [252,08] Αϊνστάινιο	100 Fm [257,10] Φέρμιο	101 Md [258,10] Μεντελέβιο	102 No [259,10] Νομπέλιο	103 Lr [262,11] Λωρέντζιο

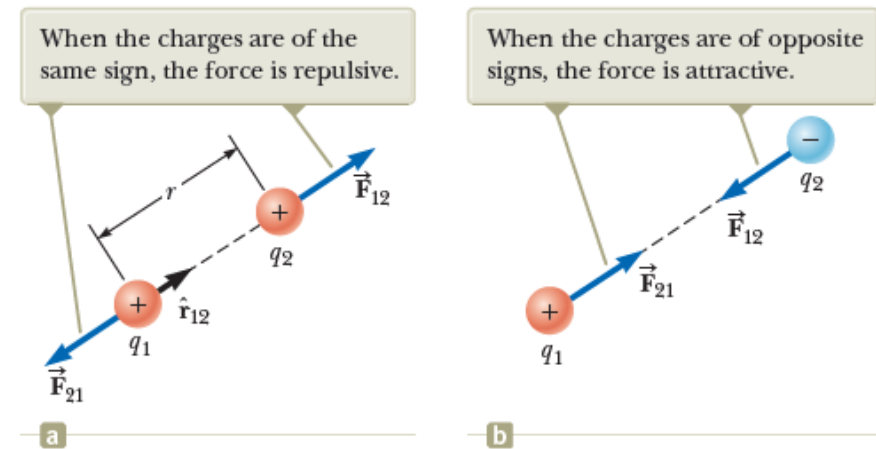
	I _A 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
--	---------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



Ο νόμος του Coulomb

- Η δύναμη η οποία ασκείται μεταξύ δύο φορτισμένων σωματιδίων με φορτία q_1 και q_2 τα οποία απέχουν μεταξύ τους απόσταση r ονομάζεται δύναμη Coulomb:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$



- Όπου k είναι η σταθερά του Coulomb, $k = 8,9876 \times 10^9 \text{ N} \times \text{m}^2 \times \text{C}^{-2}$
- ϵ_0 είναι η διηλεκτρική σταθερά του κενού ή ηλεκτρική διαπερατότητα του κενού, $\epsilon_0 = 8,8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \times \text{N}^{-1} \times \text{m}^{-2}$



Ηλεκτρική δυναμική ενέργεια

- Η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια, U , του συστήματος των δύο φορτισμένων σωματιδίων ισούται με:

$$U = k \frac{q_1 q_2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r}$$

- Αν τα φορτία είναι ομόσημα, τότε η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια είναι θετική.
- Αν τα φορτία είναι αντίθετα, τότε η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια είναι αρνητική.



Πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα

- Στην περίπτωση ενός πολυηλεκτρονιακού ατόμου με ατομικό αριθμό Z (αριθμός πρωτονίων), το φορτίο του πυρήνα ισούται με $+Ze$, όπου e το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο ($1,6022 \times 10^{-19}$ C).
- Κατά συνέπεια, η δύναμη Coulomb μεταξύ του πυρήνα και ενός ηλεκτρονίου θα ισούται με:

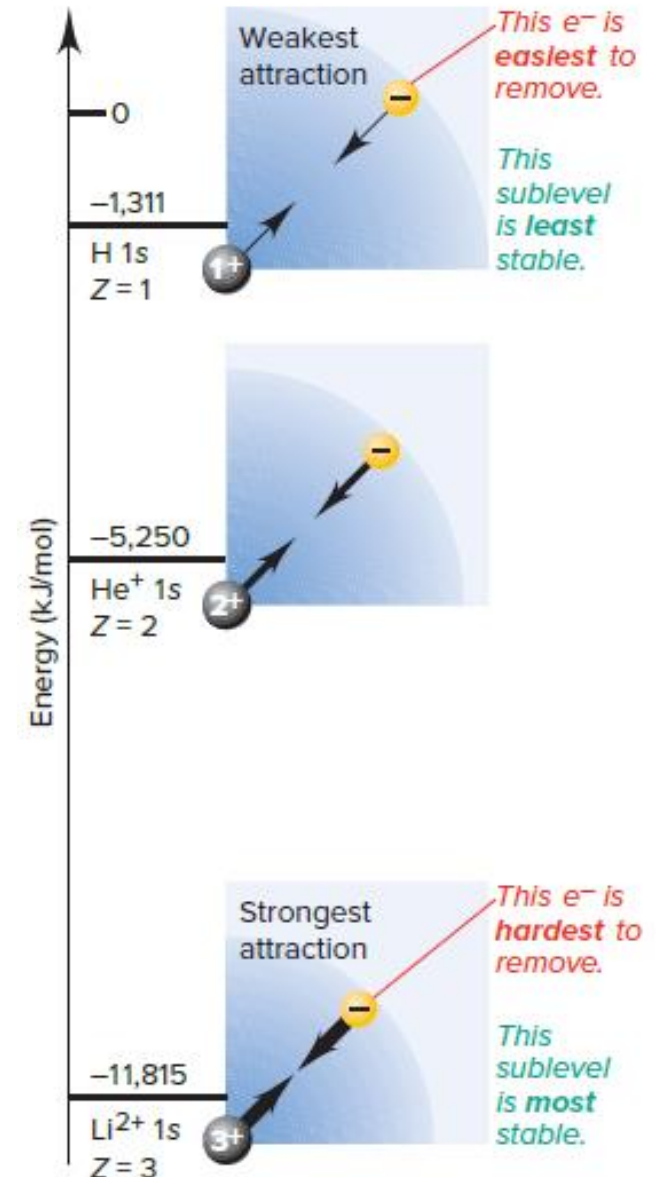
$$F = k \frac{Ze^2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r^2}$$

- Η δύναμη αυξάνεται καθώς αυξάνεται το φορτίο του πυρήνα.
- Αντίθετα, η δύναμη μειώνεται καθώς το ηλεκτρόνιο κινείται πιο μακριά από τον πυρήνα.



Πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα

- Όσο αυξάνεται ο ατομικός αριθμός τόσο αυξάνεται το φορτίο του πυρήνα γιατί ο πυρήνας έχει περισσότερα πρωτόνια.
- Κατά συνέπεια, αυξάνεται η έλξη μεταξύ του πυρήνα και των ηλεκτρονίων.
- Ως εκ τούτου, μειώνεται η ενέργεια του ατόμου και άρα το άτομο σταθεροποιείται.
- Ισχύει ότι $1 \text{ kJ/mol} = 1,0364 \times 10^{-2} \text{ eV}$.
- Στο υδρογόνο και στα υδρογονοειδή ιόντα ισχύει ότι:
$$E = -\frac{13,6}{n^2} Z^2 \text{ eV}$$





Πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα

- Η εξίσωση του Schrödinger δίνει ακριβείς λύσεις μόνο για το άτομο του υδρογόνου και για τα υδρογονοειδή ιόντα, δηλαδή ιόντα τα οποία έχουν ένα ηλεκτρόνιο γύρω από τον πυρήνα τους, π.χ. He^+ , Li^{2+} .
- Ωστόσο, η εξίσωση του Schrödinger δεν μπορεί να λυθεί επακριβώς για τα πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα!!!
- Τα πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα έχουν περισσότερα από ένα ηλεκτρόνια, δηλαδή είναι όλα τα άτομα εκτός από το υδρογόνο!!!
- Η εξίσωση του Schrödinger δεν μπορεί να λυθεί επακριβώς για τα πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα λόγω της δυναμικής ενέργειας που προκύπτει από τις απώσεις των ηλεκτρονίων.

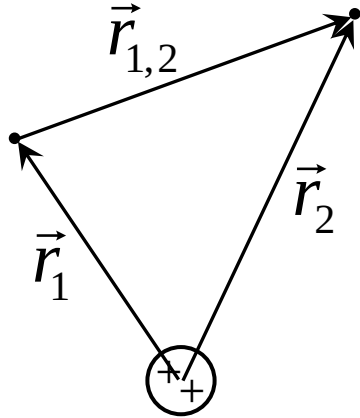


Άτομο του ηλίου (${}_2\text{He}$)

➤ Έστω το άτομο του ηλίου (${}_2\text{He}$) με ατομικό αριθμό $Z = 2$.

$$r_{1,2} = |\vec{r}_1 - \vec{r}_2|$$

➤ Η δυναμική ενέργεια του ατόμου ισούται με:



$$U = -k \frac{2e^2}{r_1} - k \frac{2e^2}{r_2} + k \frac{e^2}{r_{1,2}}$$

Αρνητική δυναμική ενέργεια λόγω των ελκτικών δυνάμεων μεταξύ του πυρήνα και των ηλεκτρονίων

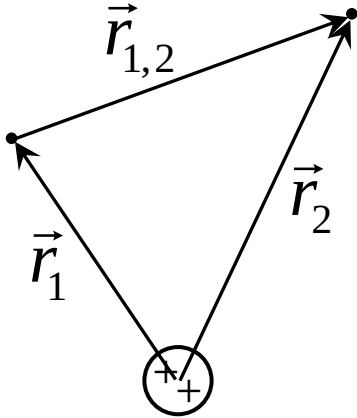
Θετική δυναμική ενέργεια λόγω των απωστικών δυνάμεων μεταξύ των ηλεκτρονίων



Άτομο του ηλίου (${}_2\text{He}$)

➤ Έστω το άτομο του ηλίου (${}_2\text{He}$) με ατομικό αριθμό $Z = 2$.

$$r_{1,2} = |\vec{r}_1 - \vec{r}_2|$$



➤ Εξίσωση του Schrödinger για το άτομο του υδρογόνου:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + U \psi = E \psi$$

➤ Εξίσωση του Schrödinger για το άτομο του ηλίου:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} (\nabla_1^2 + \nabla_2^2) \psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2) + \left(-\frac{k2e^2}{r_1} - \frac{k2e^2}{r_2} + \boxed{\frac{ke^2}{r_{1,2}}} \right) \psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = E \psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2)$$



Άτομο του ηλίου ($_2\text{He}$)

- Εξαιτίας του όρου $\frac{ke^2}{r_{1,2}}$ η εξίσωση του Schrödinger δεν μπορεί να λυθεί αναλυτικά, αφού δεν μπορεί να γίνει χωρισμός των μεταβλητών.
- Αν ο όρος αυτός δεν υπήρχε ή μπορούσε να αγνοηθεί ως πάρα πολύ μικρός, τότε η εξίσωση θα μπορούσε να λυθεί.
- Ωστόσο ο όρος αυτό είναι σημαντικός. Στην περίπτωση του ατόμου του ηλίου συνεισφέρει στην ενέργεια του ατόμου, αυξάνοντάς την σε ποσοστό περίπου 10%.
- Παρόλα αυτά, η εξίσωση του Schrödinger δίνει εξαιρετικές προσεγγιστικές λύσεις.

Πολυ-ηλεκτρονικά άτομα



Douglas Hartree
(1897-1958)

<https://www.hartree.stfc.ac.uk>



Vladimir Fock
(1898 – 1974)



John Slater
(1900 – 1976)



Προσέγγιση των τροχιακών

- Μέσω κατάλληλων προσεγγίσεων, οι λύσεις της εξίσωσης του Schrödinger για το άτομο του υδρογόνου (δηλαδή, τα ατομικά τροχιακά) μπορούν να εφαρμοστούν και στα πολυ-ηλεκτρονικά άτομα.
- Η ολική κυματοσυνάρτηση ενός πολυ-ηλεκτρονιακού ατόμου είναι συνάρτηση των συντεταγμένων όλων των ηλεκτρονίων του ατόμου $\Psi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_N)$, όπου $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_N$ είναι τα διανύσματα θέσης του κάθε ενός ηλεκτρονίου.
- Σύμφωνα με την **προσέγγιση των τροχιακών (orbital approximation)** το κάθε ηλεκτρόνιο καταλαμβάνει το δικό του τροχιακό.



Προσέγγιση των τροχιακών

- Κατά συνέπεια, η ολική κυματοσυνάρτηση του ατόμου μπορεί να γραφτεί ως γινόμενο των επιμέρους κυματοσυναρτήσεων ενός ηλεκτρονίου όλων των ηλεκτρονίων του ατόμου:

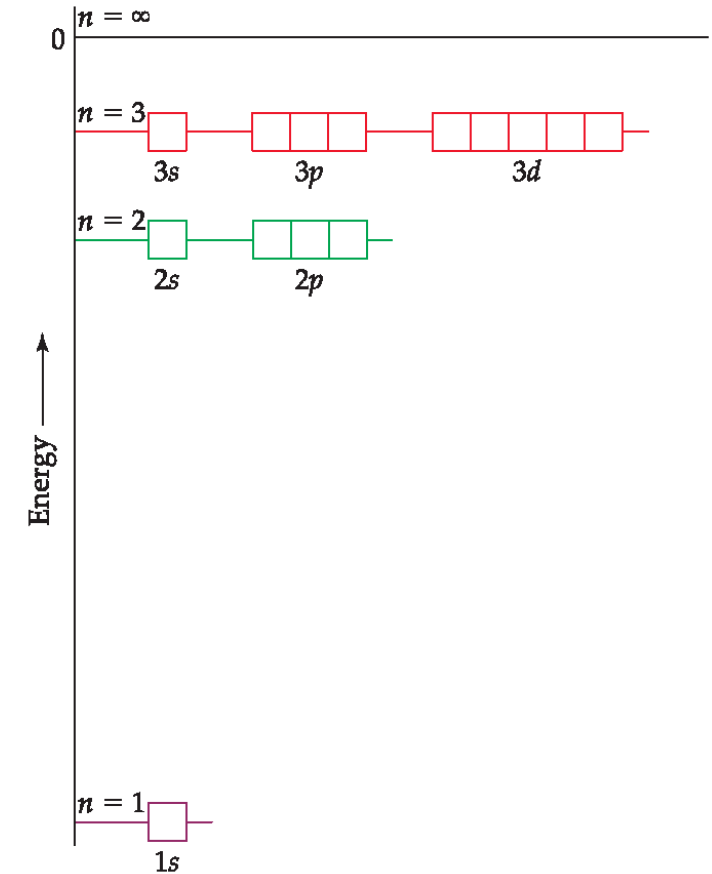
$$\Psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_N) = \psi(\vec{r}_1)\psi(\vec{r}_2)...\psi(\vec{r}_N)$$

- Όπου $\psi(\mathbf{r}_1), \psi(\mathbf{r}_2), \dots, \psi(\mathbf{r}_N)$ όπου είναι οι κυματοσυναρτήσεις ενός ηλεκτρονίου του κάθε ενός ηλεκτρονίου.
- Οι κυματοσυναρτήσεις ενός ηλεκτρονίου είναι οι λύσεις της εξίσωσης του Schrödinger για το άτομο του υδρογόνου.
- Άρα, η προσέγγιση των τροχιακών μας επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε τα τροχιακά του ατόμου του υδρογόνου ως βάση για την περιγραφή των πολυ-ηλεκτρονιακών ατόμων.



Προσέγγιση των τροχιακών

- Υπάρχει όμως μία πάρα πολύ σημαντική διαφορά!!!
- Στο άτομο του υδρογόνου, η ενέργεια των τροχιακών εξαρτάται μόνο από τον κύριο κβαντικό αριθμό n .
- Για παράδειγμα, τα τροχιακά $2s$ και $2p$ έχουν την ίδια ενέργεια.
- Ομοίως, τα τροχιακά $3s$, $3p$ και $3d$ έχουν την ίδια ενέργεια
- Ωστόσο, στα πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα, η ενέργεια των τροχιακών εξαρτάται τόσο από τον κύριο κβαντικό αριθμό n , όσο και από τον τροχιακό κβαντικό αριθμό l .





Προσέγγιση των τροχιακών

- Επιπλέον, οι σχετικές ενέργειες των τροχιακών εξαρτώνται από τον ατομικό αριθμό του στοιχείου, Z .
- Τα επιμέρους τροχιακά ενός ηλεκτρονίου μπορούν να υποτεθούν ότι μοιάζουν με τα ατομικά τροχιακά του υδρογόνου με τη διαφορά ότι το φορτίο που αισθάνεται ένα ηλεκτρόνιο από τον πυρήνα τροποποιείται λόγω της παρουσίας όλων των υπολοίπων ηλεκτρονίων στο άτομο.
- Δηλαδή, το κάθε ηλεκτρόνιο αισθάνεται το φορτίο του πυρήνα ελαττωμένο λόγω των απωστικών δυνάμεων μεταξύ των υπολοίπων ηλεκτρονίων.



Πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα

- Στα πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα πρέπει να ληφθούν υπόψη τρία επιπλέον χαρακτηριστικά:
- ✓ ο τέταρτος κβαντικός αριθμός (μαγνητικός κβαντικός αριθμός του spin, m_s)
- ✓ ο περιορισμός ως προς τον αριθμό των ηλεκτρονίων σε ένα τροχιακό (απαγορευτική αρχή του Pauli)
- ✓ ο διαχωρισμός των ενεργειακών επιπέδων: λόγω των απωστικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ηλεκτρονίων, τα ατομικά τροχιακά που έχουν την ίδια τιμή του κύριου κβαντικού αριθμού n αλλά διαφορετικές τιμές του τροχιακού κβαντικού l δεν είναι πλέον εκφυλισμένα.



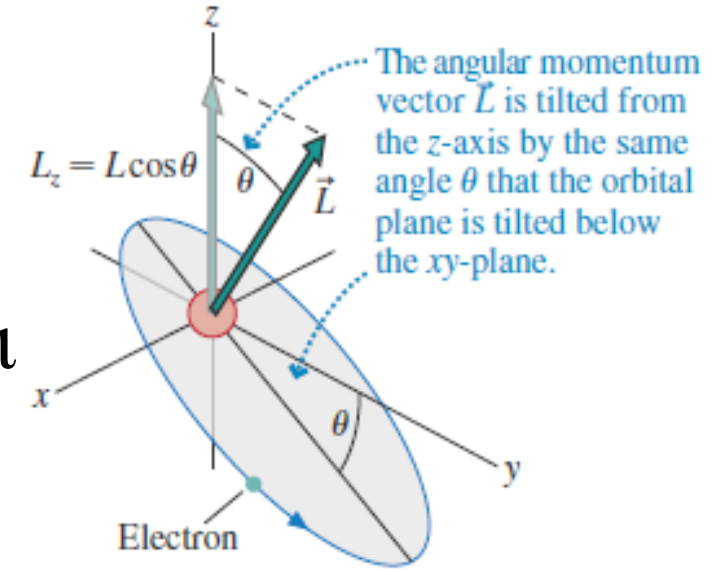
Μαγνητικός κβαντικός αριθμός του spin, m_s

- Για την πλήρη περιγραφή ενός ηλεκτρονίου το οποίο βρίσκεται σε ένα τροχιακό ενός πολυ-ηλεκτρονιακού ατόμου απαιτούνται:
 - ✓ οι τρεις κβαντικοί αριθμοί n , l και m_l οι οποίοι αναφέρονται στο τροχιακό
 - ✓ ένας τέταρτος κβαντικός αριθμός ο οποίος αναφέρεται στο **spin** ή την **ιδιοστροφομή** του ηλεκτρονίου: ονομάζεται **μαγνητικός κβαντικός αριθμός του spin** και συμβολίζεται ως m_s .
- Ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός του spin δεν προκύπτει από την εξίσωση του Schrödinger και ως εκ τούτου η τιμή του δεν συνδέεται με τους προηγούμενους τρεις κβαντικούς αριθμούς.



Τροχιακός κβαντικός αριθμός, l

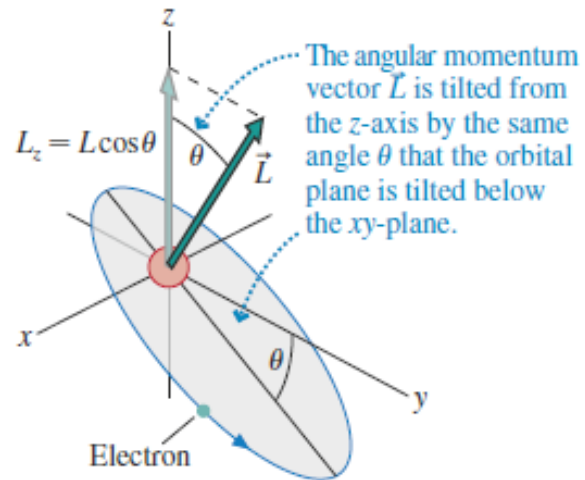
- Σύμφωνα με την κβαντομηχανική, παρά το ότι το ηλεκτρόνιο δεν περιφέρεται πάνω σε μία καλώς καθορισμένη κυκλική τροχιά, έχει στροφορμή, η οποία ονομάζεται **τροχιακή στροφορμή** (orbital angular momentum).
- Η στροφορμή είναι διανυσματικό μέγεθος και είναι **κβαντισμένη** ως προς:
 - ✓ το μέτρο της
 - ✓ τον προσανατολισμό της στον άξονα z
- Η κβάντωση της τροχιακής στροφορμής εκφράζεται με τους κβαντικούς αριθμούς l και m_l .





Τροχιακός κβαντικός αριθμός, l

- Ο τροχιακός κβαντικός αριθμός l καθορίζει τις δυνατές τιμές του μέτρου της τροχιακής στροφορμής.
- Το μέτρο της τροχιακής στροφορμής L ενός ατόμου που βρίσκεται σε μία κατάσταση με κύριο κβαντικό αριθμό n μπορεί να πάρει τις ακόλουθες διακριτές τιμές:



$$L = \sqrt{l(l+1)}\hbar, \quad \text{όπου } l = 0, 1, 2, \dots, n-1$$

n σε πλήθος
διαφορετικές τιμές



Μαγνητικός κβαντικός αριθμός, m_l

- Ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός m_l προσδιορίζει τις επιτρεπτές τιμές της συνιστώσας L_z της τροχιακής στροφορμής σύμφωνα με τη σχέση:

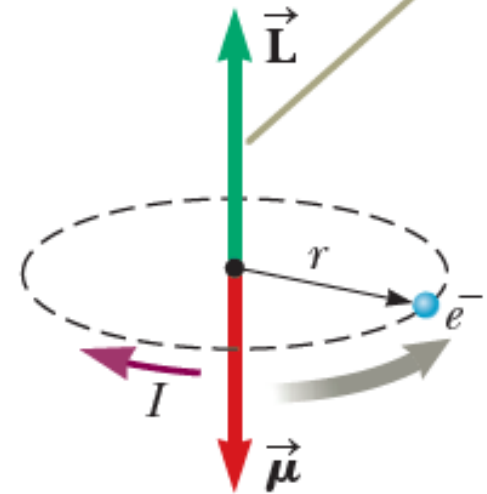
$$L_z = m_l \hbar, \quad \text{όπου} \quad m_l = -l, -l+1, \dots, 0, 1, \dots, +l-1, +l$$

$2l+1$ σε πλήθος
διαφορετικές τιμές

||

περιττό πλήθος τιμών

The electron has an angular momentum $\vec{L}$ in one direction and a magnetic moment $\vec{\mu}$ in the opposite direction.

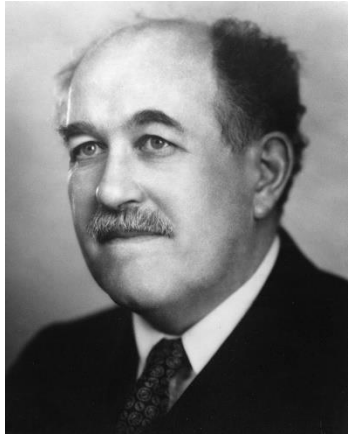




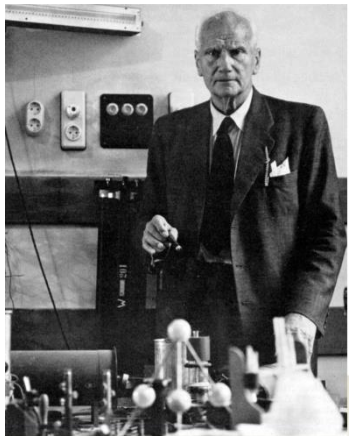
Πείραμα Stern-Gerlach

- Αν η μαγνητική διπολική ροπή του ατόμου οφείλεται μόνο στην τροχιακή στροφορμή του, τότε οι πιθανές τιμές της συνιστώσας της μαγνητικής διπολικής ροπής στον άξονα z θα ήταν όσες και οι δυνατές τιμές του τροχιακού κβαντικού αριθμού m_l , δηλαδή $2l + 1$ τιμές (περιττός πλήθος τιμών).
- Όμως, η πρόβλεψη αυτή δε συμφωνεί με την παρατήρηση ότι η εκτρεπόμενη δέσμη ατόμων αργύρου και υδρογόνου χωρίζεται σε δύο συνιστώσες.
- Κατά συνέπεια, υπάρχει και κάτι άλλο, εκτός από την τροχιακή στροφορμή που συνεισφέρει στην μαγνητική διπολική ροπή του ατόμου!!!

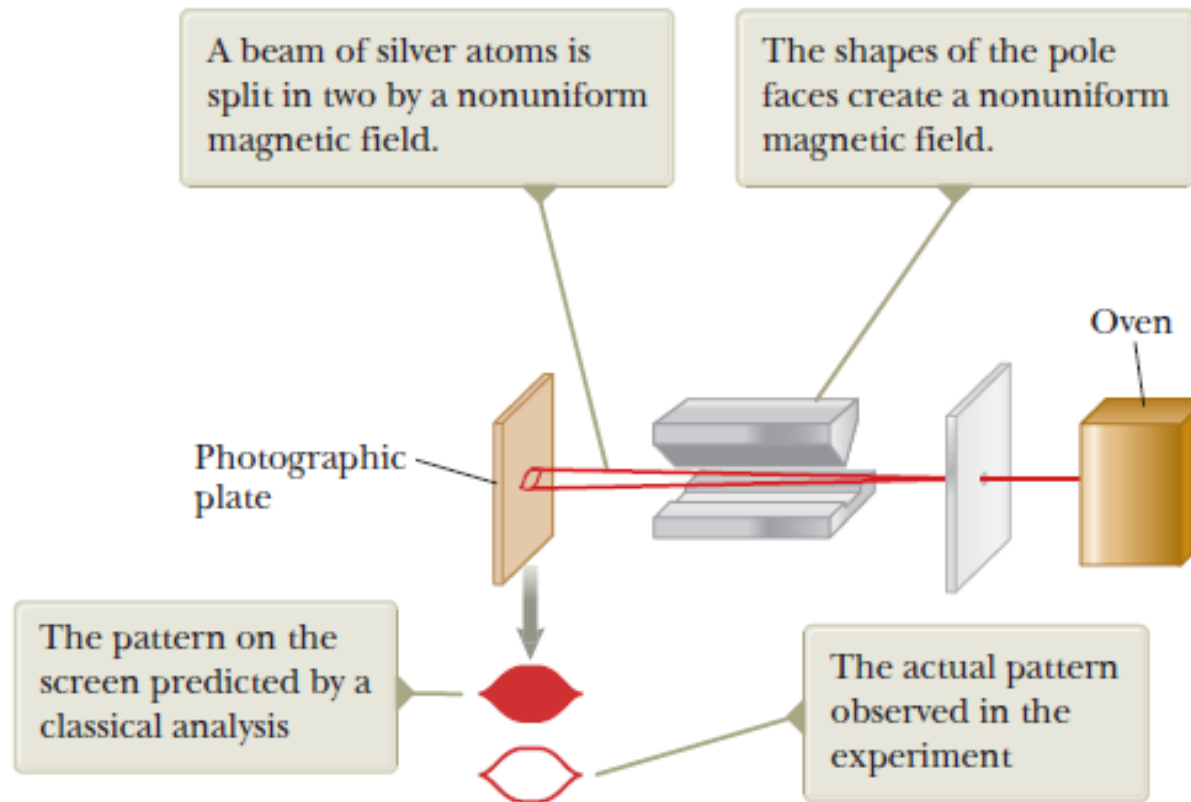
Πείραμα Stern-Gerlach



Otto Stern
(1888 – 1969)



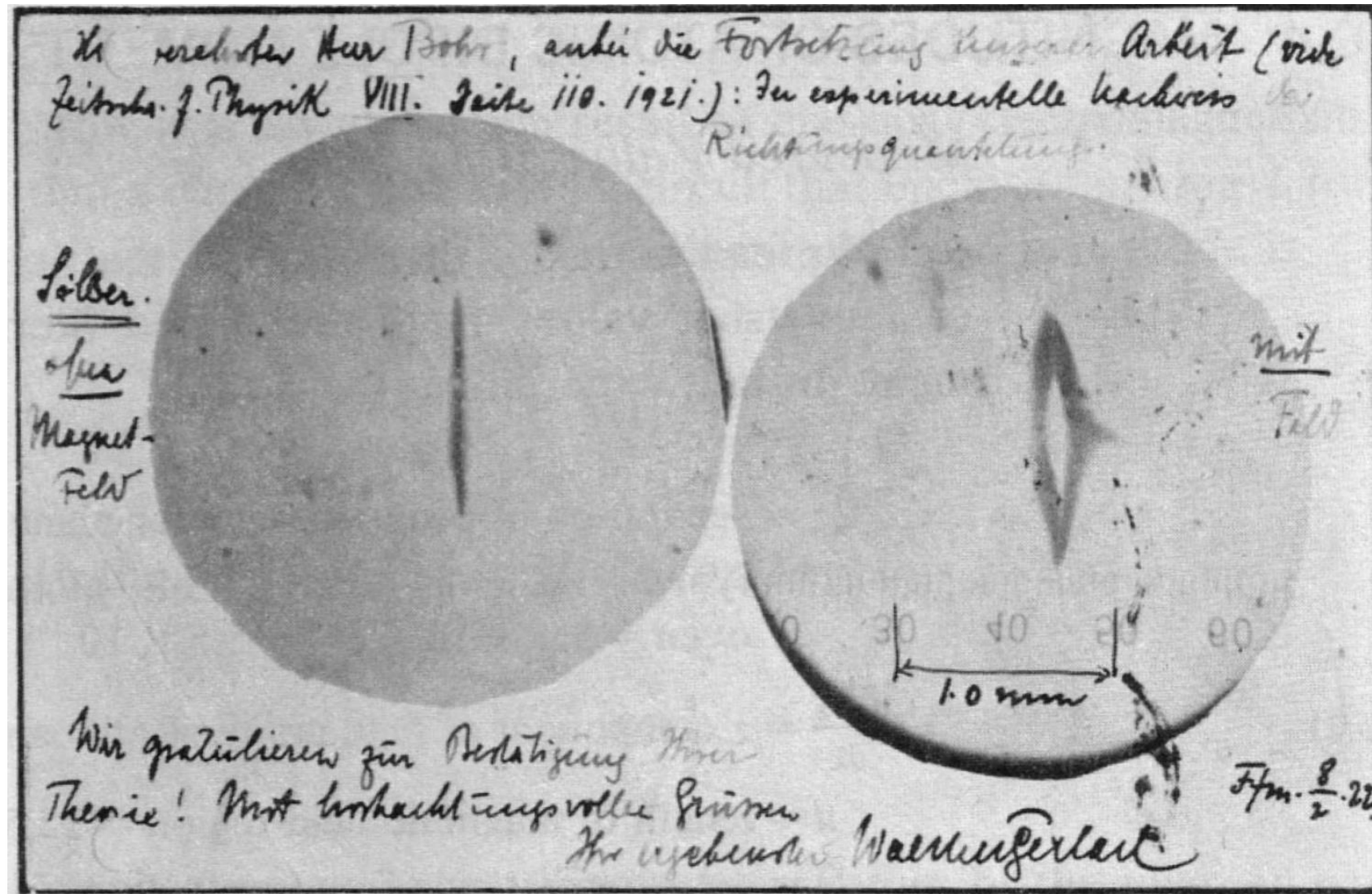
Walther Gerlach
(1889 – 1979)



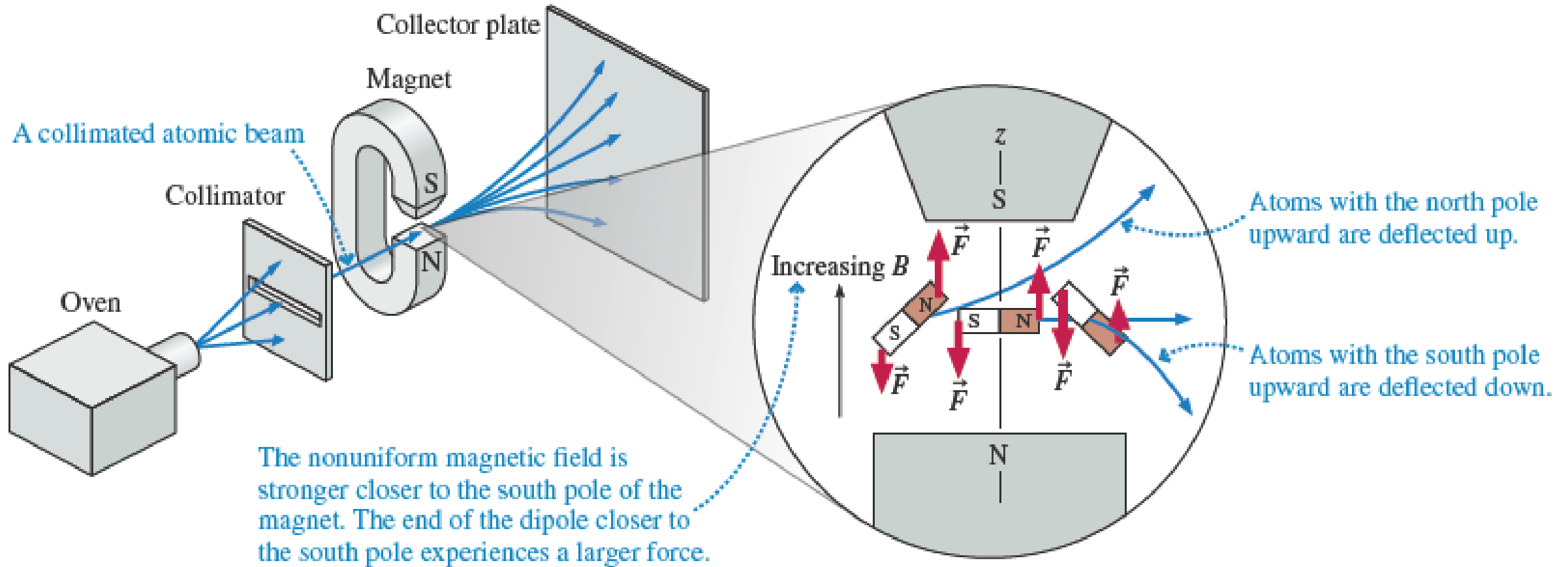
Μία δέσμη ατόμων αργύρου χωρίζεται σε δύο διαφορετικές συνιστώσες κατά τη διέλευσή της μέσα από ένα μη ομογενές μαγνητικό πεδίο.

➤ <https://physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/1.1650229>

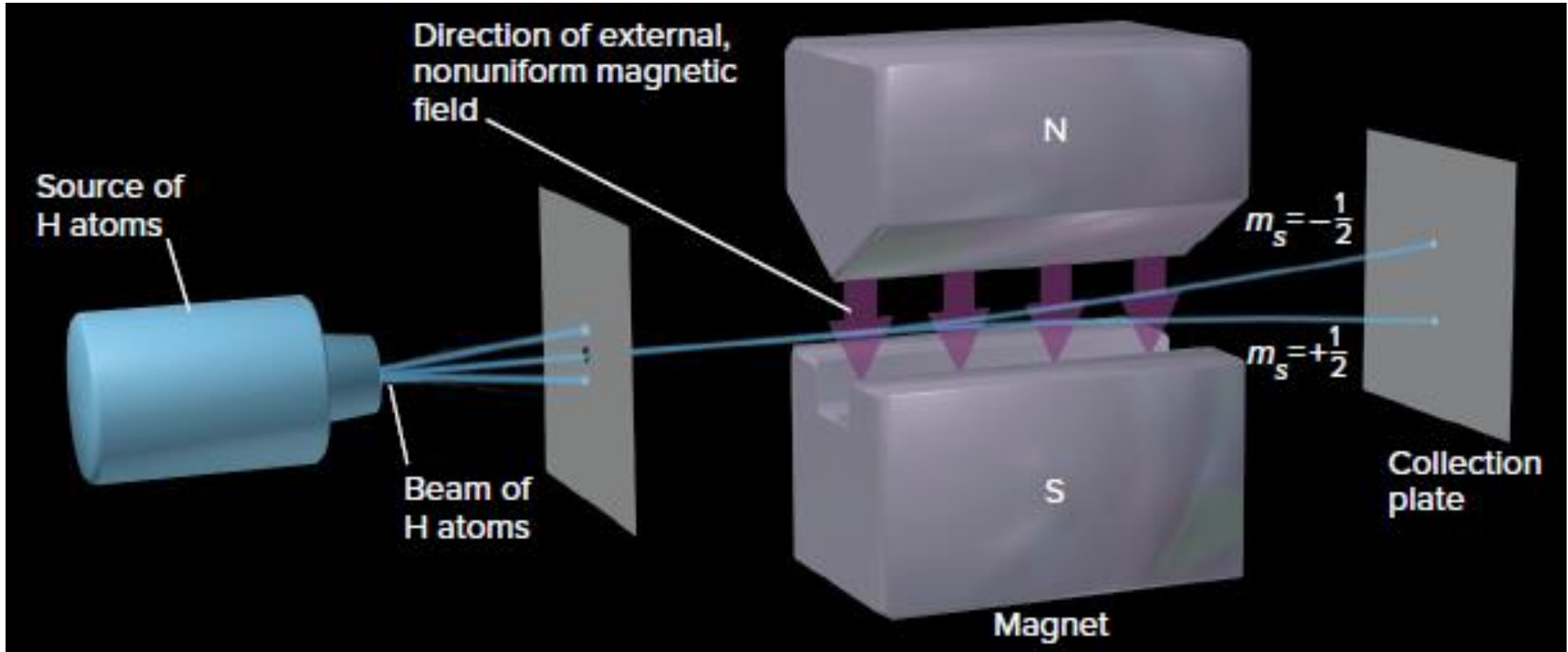
Πείραμα Stern-Gerlach



Πείραμα Stern-Gerlach



Πείραμα Phipps–Taylor

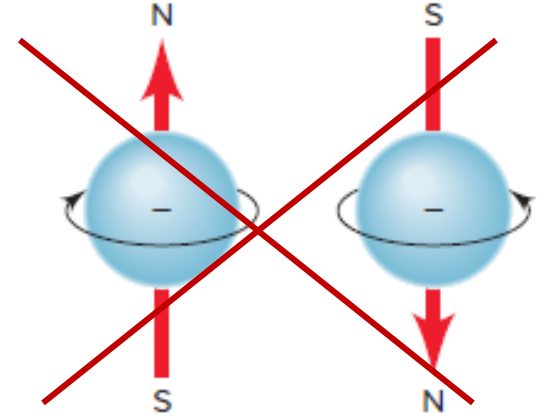


- Μία δέσμη ατόμων υδρογόνου χωρίζεται σε δύο διαφορετικές συνιστώσες κατά τη διέλευσή της μέσα από ένα μη ομογενές μαγνητικό πεδίο.



Εγγενής στροφορμή ή spin του ηλεκτρονίου

- Η κλασική εικόνα του spin του ηλεκτρονίου, σύμφωνα με την οποία το spin προκύπτει από την ιδιοπεριστροφή του ηλεκτρονίου, είναι λανθασμένη!!!
- Το ηλεκτρόνιο είναι σημειακό σωματίδιο χωρίς χωρική έκταση.
- Επομένως, δεν μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το ηλεκτρόνιο περιστρέφεται.
- Το spin είναι μία **εγγενής (ή ενδογενής)** μετρήσιμη κβαντική ιδιότητα του ηλεκτρονίου η οποία είναι δύσκολο να γίνει αντιληπτή μέσα σε ένα κλασικό πρότυπο. Το spin δίνει στροφορμή στο ηλεκτρόνιο σαν να περιστρεφόταν.

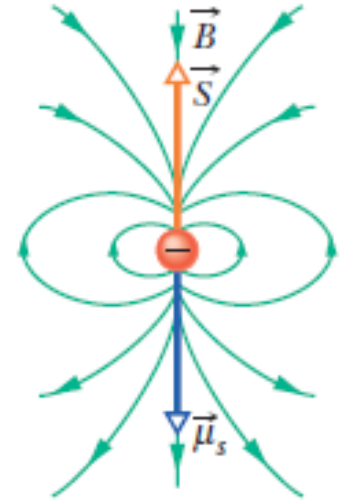




Εγγενής στροφορμή ή spin του ηλεκτρονίου

- Το ηλεκτρόνιο έχει εγγενή (ή ενδογενή) μαγνητική διπολική ροπή και ως εκ τούτου έχει εγγενή (ή ενδογενή) στροφορμή, η οποία περιγράφεται με τον κβαντικό αριθμό του spin, s .
- Ο κβαντικός αριθμός του spin μπορεί να πάρει μόνο την τιμή $s = +1/2$. Η στροφορμή του ηλεκτρονίου λόγω spin δεν μεταβάλλεται ποτέ.
- Η ιδιοστροφορμή ή spin του ηλεκτρονίου, όπως η μάζα και το φορτίο, είναι εγγενής (ή ενδογενής) ιδιότητα του ηλεκτρονίου ανεξάρτητη από το περιβάλλον του.

For an electron, the spin is opposite the magnetic dipole moment.





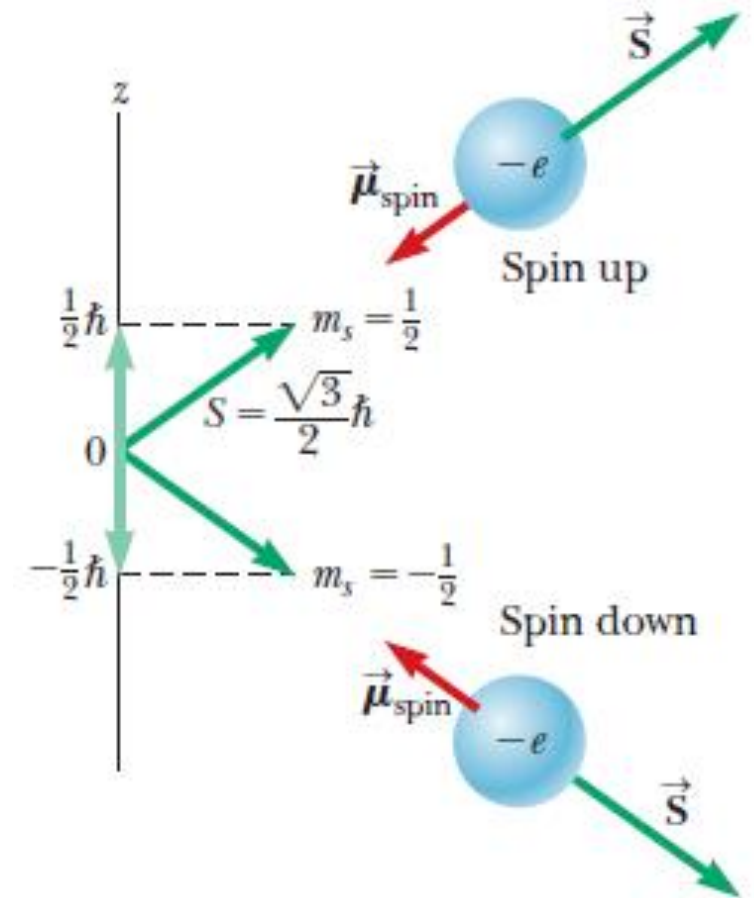
Εγγενής στροφορμή ή spin του ηλεκτρονίου

- Το spin ακολουθεί τους ίδιους κβαντικούς κανόνες που ακολουθεί η τροχιακή στροφορμή.
- Δηλαδή, η ιδιοστροφορμή του ηλεκτρονίου είναι κβαντισμένη ως προς:
 - ✓ το μέτρο της
 - ✓ την προβολή της στον άξονα z
- Το μέτρο του διανύσματος της στροφορμής λόγω spin, S , είναι:
$$S = \sqrt{s(s+1)}\hbar = \frac{\sqrt{3}}{2}\hbar$$
- όπου s ο κβαντικός αριθμός του spin ο οποίος μπορεί να πάρει μόνο την τιμή $s = +1/2$.



Εγγενής στροφορμή ή spin του ηλεκτρονίου

- Παρουσία ενός εξωτερικού μαγνητικού πεδίου, υπάρχουν δύο δυνατοί προσανατολισμοί της μαγνητικής διπολικής ροπής του ηλεκτρονίου:
 - ✓ spin επάνω
 - ✓ spin κάτω



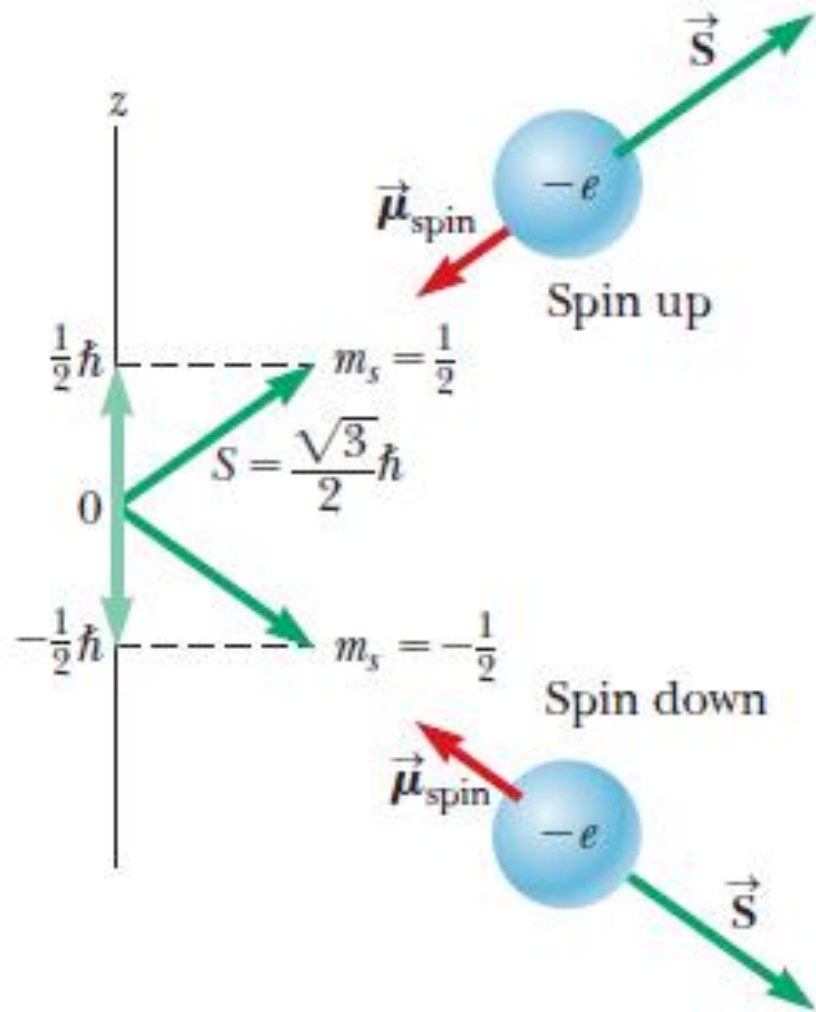


Μαγνητικός κβαντικός αριθμός του spin, m_s

- Το διάνυσμα της ιδιοστροφορμής ή spin, S , δεν μπορεί να μετρηθεί.
- Ωστόσο, μπορεί να μετρηθεί η συνιστώσα του (ή η προβολή του) κατά μήκος ενός οποιουδήποτε άξονα (συνήθως επιλέγεται αυθαίρετα ο άξονας z).
- Η συνιστώσα (ή προβολή) του διανύσματος της ιδιοστροφορμής στον άξονα z είναι κβαντισμένη: μπορεί να πάρει μόνο δύο τιμές οι οποίες διαφέρουν μόνο ως προς το πρόσημο.

$$S_z = m_s \hbar = \pm \frac{1}{2} \hbar$$

Μαγνητικός κβαντικός αριθμός του spin, m_s



- Οι τιμές αυτές καθορίζονται από το μαγνητικό κβαντικό αριθμό του spin: $m_s = \pm \frac{1}{2}$.
- Προσέξτε ότι το διάνυσμα της στροφορμής λόγω spin δεν μπορεί να προσανατολιστεί παράλληλα με τον άξονα z!!!



Μαγνητικός κβαντικός αριθμός του spin, m_s

- Η μαγνητική διπολική ροπή λόγω spin έχει διπλάσιο μέγεθος από τη μαγνητική διπολική ροπή λόγω της τροχιακής κίνησης του ηλεκτρονίου.
- Το spin είναι δύο φορές πιο μαγνητικό από την τροχιακή στροφορμή.
- Συμπερασματικά: για την πλήρη περιγραφή ενός ηλεκτρονίου το οποίο βρίσκεται σε ένα τροχιακό απαιτείται μία τετράδα κβαντικών αριθμών: n, l, m_l, m_s .



Απαγορευτική αρχή του Pauli

- Το 1925 ο Αυστριακός Φυσικός Wolfgang Pauli (1900-1958, βραβείο Nobel Φυσικής 1945) διατύπωσε την παρακάτω αρχή, γνωστή ως **απαγορευτική αρχή του Pauli (Pauli exclusion principle)**:
- **Δεν είναι δυνατόν να υπάρχουν δύο ηλεκτρόνια τα οποία να έχουν ίδιους και τους τέσσερις κβαντικούς τους αριθμούς.**
- **Ως εκ τούτου, σε κάθε τροχιακό μπορούν να τοποθετηθούν το πολύ δύο ηλεκτρόνια.**





Απαγορευτική αρχή του Pauli

- Έστω ότι έχουμε το 1s τροχιακό με κβαντικούς αριθμούς:
- $n = 1, l = 0, m_l = 0$.
- Αν τοποθετήσουμε ένα ηλεκτρόνιο στο τροχιακό αυτό, τότε το ηλεκτρόνιο θα έχει την εξής τετράδα κβαντικών αριθμών:
- $n = 1, l = 0, m_l = 0$ και $m_s = +1/2$.
- Αν τοποθετήσουμε ένα ακόμα ηλεκτρόνιο, τότε αυτό θα έχει την εξής τετράδα κβαντικών αριθμών:
- $n = 1, l = 0, m_l = 0$ και $m_s = -1/2$.
- **Δεν υπάρχει δυνατότητα να τοποθετηθεί άλλο ηλεκτρόνιο στο τροχιακό αυτό!!!**



Απαγορευτική αρχή του Pauli

- Το ίδιο ισχύει για οποιοδήποτε τροχιακό, δηλαδή δεν μπορούμε να τοποθετήσουμε περισσότερα από δύο ηλεκτρόνια σε ένα τροχιακό.
- Συνέπεια: ο μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων σε ένα τροχιακό είναι δύο.
- Τα δύο αυτά ηλεκτρόνια θα έχουν υποχρεωτικά αντι-παράλληλο (αντίθετο) spin.



Απαγορευτική αρχή του Pauli

- Σε κάθε υποστιβάδα μπορεί να τοποθετηθεί διπλάσιος αριθμός ηλεκτρονίων από τον αριθμό των τροχιακών της υποστιβάδας:

Υποστιβάδα	Αριθμός τροχιακών $2l + 1$	Μέγιστος αριθμός ηλεκτρονίων $2(2l + 1)$
$s (l = 0)$	1	2
$p (l = 1)$	3	6
$d (l = 2)$	5	10
$f (l = 3)$	7	14

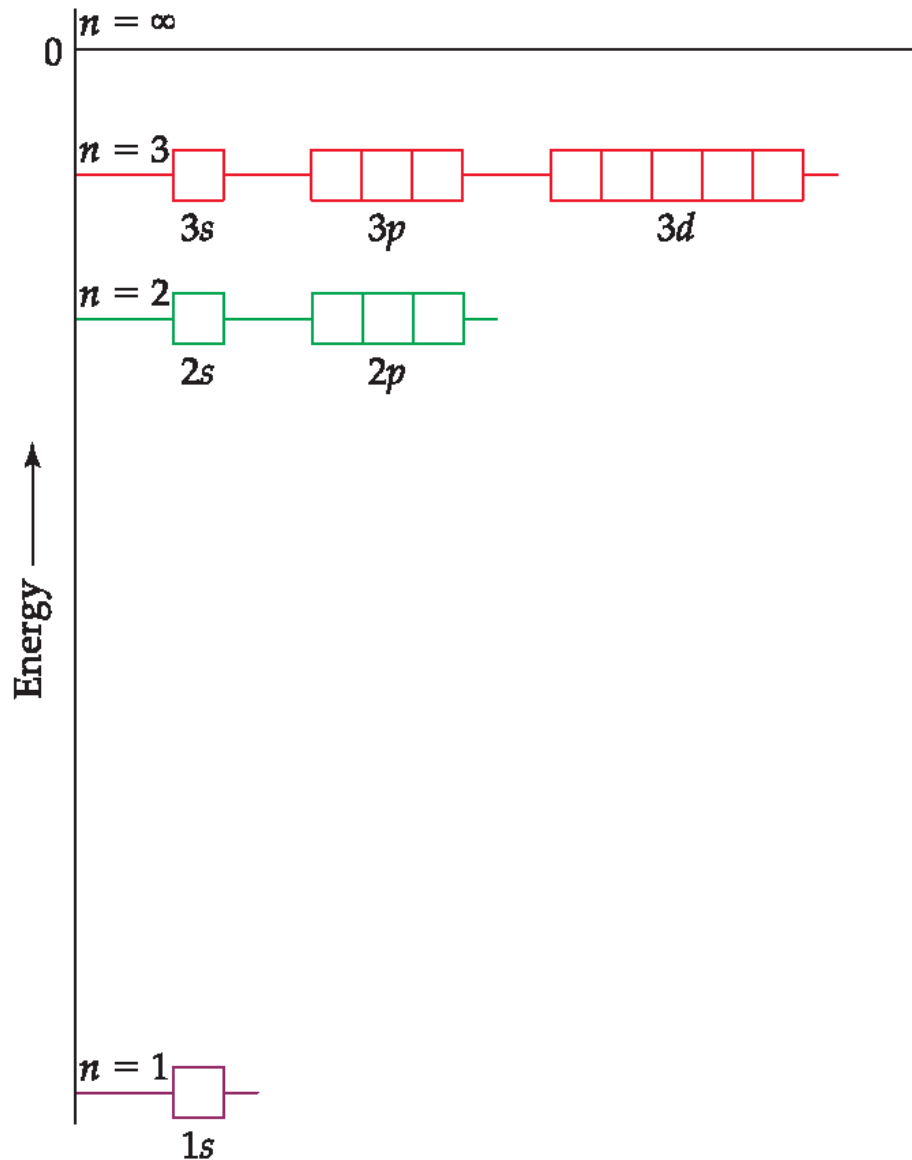


Τα τροχιακά και οι ενέργειες τους

- Στα πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα, τα τροχιακά είναι τα ίδια με αυτά του ατόμου του υδρογόνου:
 - ✓ έχουν την ίδια φύση, π.χ. $1s$, $2p$, $3d$, ...
 - ✓ έχουν το ίδιο σχήμα και τον ίδιο προσανατολισμό
 - ✓ έχουν όμως διαφορετικές σχετικές ενέργειες!!!



Σχετικές ενέργειες των τροχιακών στο υδρογόνο



➤ Σε αντίθεση με το υδρογόνο και τα υδρογονοειδή ιόντα (He^+ , Li^{2+}), στα πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα τα τροχιακά $2s$ και $2p$ (και, γενικά, όλες οι υποστιβάδες μίας δεδομένης στιβάδας, π.χ. $3s$, $3p$, $3d$) δεν έχουν την ίδια ενέργεια!!!



Πολυ-ηλεκτρονικά άτομα

- Οι ενεργειακές διαφορές των τροχιακών στα πολύ-ηλεκτρονικά άτομα προκύπτουν από τη συσχέτιση τριών παραγόντων:
 - i. την έλξη του πυρήνα προς τα ηλεκτρόνια
 - ii. τις απωστικές δυνάμεις μεταξύ των ηλεκτρονίων
 - iii. το σχήμα των τροχιακών (δηλαδή την κατανομή της ακτινικής πυκνότητας πιθανότητας).



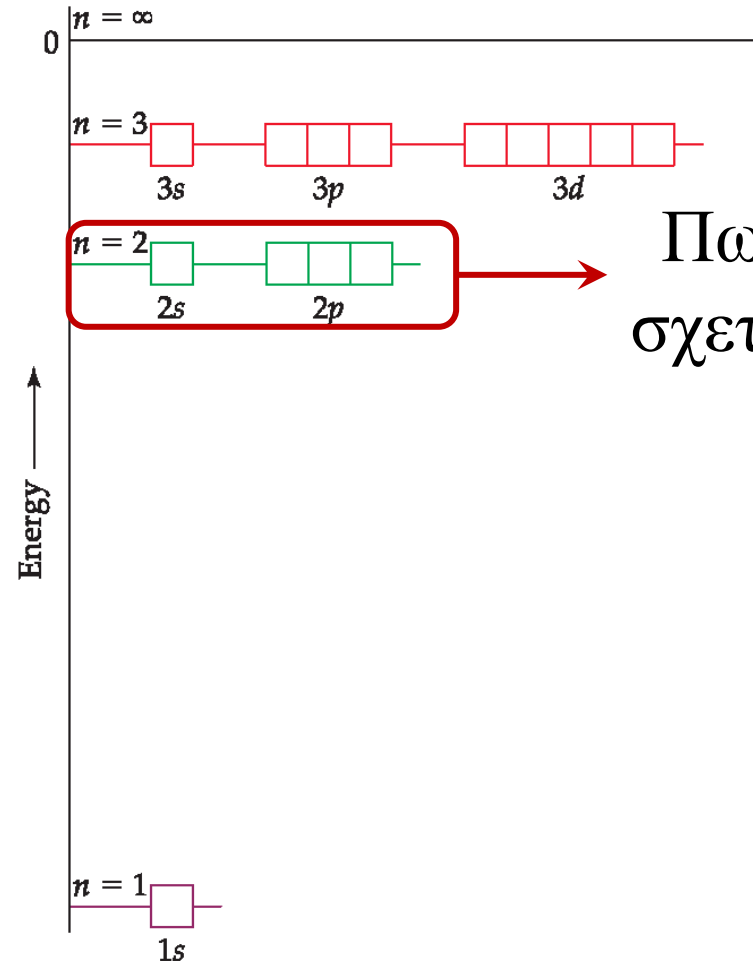
Πολυ-ηλεκτρονικά άτομα

- Η αλληλεπίδραση των παραπάνω παραγόντων οδηγεί σε δύο φαινόμενα τα οποία λαμβάνουν χώρα σε όλα τα άτομα εκτός από το άτομο του υδρογόνου:
 - i.** προστασία ή προάσπιση ή θωράκιση (screening ή shielding)
 - ii.** διείσδυση (penetration) του ηλεκτρονικού νέφους



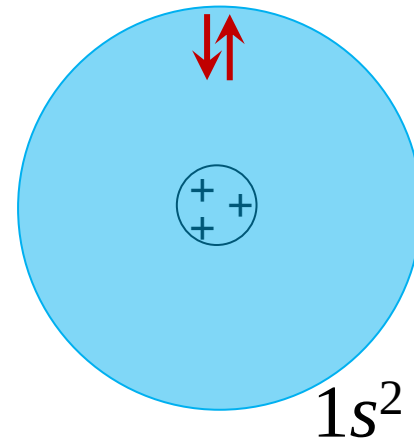
Άτομο του λιθίου, ${}_3\text{Li}$

- Η ηλεκτρονική διάταξη του ατόμου του λιθίου, ${}_3\text{Li}$, είναι:
- $1s^2 \dots$ και μετά?!?!?!?
- $2s^1$ ή $2p^1$????



Πως μεταβάλλεται η
σχετική τους θέση????

Άτομο του λιθίου, ${}_3\text{Li}$





Άτομο του λιθίου, ${}_3\text{Li}$

- Το εξωτερικό ηλεκτρόνιο αισθάνεται μειωμένη έλξη από τον πυρήνα λόγω της παρουσίας των 2 ηλεκτρονίων στο τροχιακό 1s.
- Το εξωτερικό ηλεκτρόνιο βλέπει τον πυρήνα να είναι καλυμμένος ή περιτυλιγμένος από ένα «νέφος» 2 άλλων ηλεκτρονίων τα οποία θωρακίζουν ή εξουδετερώνουν εν μέρει το φορτίο του πυρήνα και ταυτόχρονα απωθούν το εξωτερικό ηλεκτρόνιο.
- Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **προστασία** ή **προάσπιση** ή **θωράκιση** (screening ή shielding).
- Εναλλακτικά προτείνεται ο όρος παρεμπόδιση, αφού το εξωτερικό ηλεκτρόνιο επιθυμεί την πλήρη έλξη του πυρήνα προκείμενου να μειώσει την ενέργειά του!!!

Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα, Z_{eff}



- Στην ιδανική περίπτωση, τα 2 εσωτερικά ηλεκτρόνια στο τροχιακό 1s εξουδετερώνουν πλήρως τα αντίστοιχα 2 θετικά φορτία που προέρχονται από τα πρωτόνια του πυρήνα.
- Άρα, στην ιδανική περίπτωση, το εξωτερικό ηλεκτρόνιο αισθάνεται την έλξη από 1 μόνο πρωτόνιο του πυρήνα.
- Στην πραγματικότητα όμως, τα 2 εσωτερικά ηλεκτρόνια δεν εξουδετερώνουν πλήρως αλλά εν μέρει τα 2 θετικά φορτία του πυρήνα.
- Στο άτομο του λιθίου, το **δραστικό ή ενεργό ή αποτελεσματικό** φορτίο του πυρήνα είναι $Z_{\text{eff}} = 1,28 e$ (μονάδες στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου), δηλαδή ελαφρώς μεγαλύτερο από 1.

Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα, Z_{eff}



- Δηλαδή τα 2 εσωτερικά ηλεκτρόνια στο τροχιακό $1s$ εξουδετερώνουν $2 - 0,28 = 1,72$ μονάδες στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου του πυρήνα που τους αντιστοιχεί ή 86%.
- Συμπερασματικά, στο άτομο του λιθίου, τα 2 εσωτερικά ηλεκτρόνια στο τροχιακό $1s$ εξουδετερώνουν το 86% του φορτίου του πυρήνα που τους αντιστοιχεί.

Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα, Z_{eff}

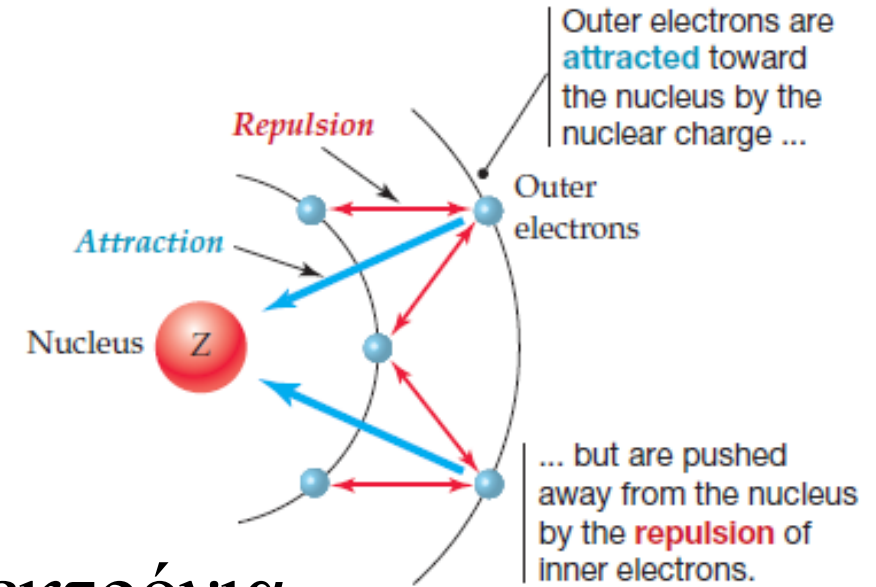


- Σε όλα τα πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα, κάθε ηλεκτρόνιο αισθάνεται ταυτόχρονα:
 - ✓ την έλξη του πυρήνα λόγω του θετικού φορτίου του πυρήνα $+Ze$, όπου Z είναι ο ατομικός αριθμός του στοιχείου και e είναι το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο ($1,6022 \times 10^{-19}$ C).
 - ✓ την άπωση λόγω των υπολοίπων ηλεκτρονίων.
- Αυτές οι απώσεις μεταξύ των ηλεκτρονίων ακυρώνουν ή εξουδετερώνουν εν μέρει την έλξη του πυρήνα προς τα ηλεκτρόνια.

Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα, Z_{eff}



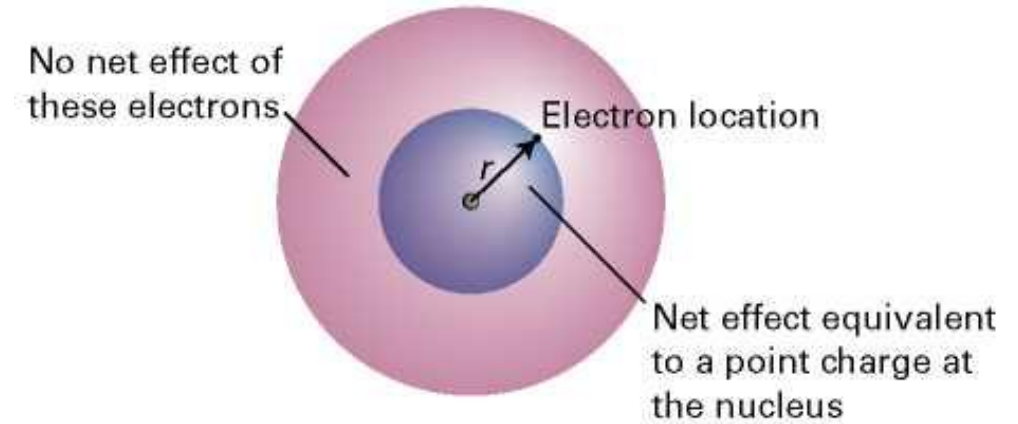
- Άρα, το κάθε ηλεκτρόνιο αισθάνεται μειωμένη έλξη από τον πυρήνα από ότι θα αισθανόταν αν δεν υπήρχαν τα άλλα ηλεκτρόνια και κατά συνέπεια είναι πιο εύκολο να απομακρυνθεί.
- Η ελκτική δύναμη του πυρήνα προς τα ηλεκτρόνια παρεμποδίζεται από την παρουσία των υπολοίπων ηλεκτρονίων.
- Επί της ουσίας, τα ηλεκτρόνια απωθούν το ένα το άλλο, βοηθώντας έτσι την απομάκρυνσή τους.





Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα, Z_{eff}

- Το κάθε ηλεκτρόνιο αισθάνεται μία συνολική έλξη η οποία είναι το αποτέλεσμα της έλξης του πυρήνα μειωμένη από τις απώσεις μεταξύ των ηλεκτρονίων.
- Εάν το ηλεκτρόνιο βρίσκεται σε απόσταση r από τον πυρήνα, δέχεται μία μέση άπωση από τα υπόλοιπα ηλεκτρόνια.
- Η μέση αυτή άπωση μπορεί να αναπαρασταθεί από ένα σημειακό αρνητικό φορτίο τοποθετημένο στον πυρήνα με απόλυτη τιμή ίση με το συνολικό φορτίο των ηλεκτρονίων που περιέχονται σε μία σφαίρα ακτίνας r .





Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα, Z_{eff}

- Η ιδιότητα αυτή προκύπτει από την κλασική ηλεκτροστατική θεωρία, σύμφωνα με την οποία μία σφαιρική κατανομή φορτίου αναπαρίσταται από ένα σημειακό φορτίο του ίδιου μεγέθους που βρίσκεται στο κέντρο της σφαίρας.
- Το αποτέλεσμα του σημειακού αυτού αρνητικού φορτίου είναι η μείωση του φορτίου του πυρήνα από το πραγματικό φορτίο Ze στο λεγόμενο **δραστικό ή αποτελεσματικό ή ενεργό φορτίο του πυρήνα (effective nuclear charge) $Z_{\text{eff}}e$** .
- Συχνά (ή σχεδόν πάντα!) για λόγους απλότητας, το ίδιο το Z_{eff} αναφέρεται ως το **δραστικό ή αποτελεσματικό ή ενεργό φορτίο του πυρήνα (effective nuclear charge)**.



Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα, Z_{eff}

- Επειδή η πλήρης έλξη του πυρήνα έχει μειωθεί λόγω των απωστικών δυνάμεων μεταξύ των ηλεκτρονίων, πάντα ισχύει ότι $Z_{\text{eff}} < Z$.
- Το δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

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

- Η σταθερά S (με $S > 0$) ονομάζεται **σταθερά προστασίας ή θωράκισης (screening constant)** και υπολογίζεται είτε με βάση τους εμπειρικούς κανόνες του Salter, είτε με κατάλληλες κβαντοχημικές υπολογιστικές μεθόδους.

Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα, Z_{eff}

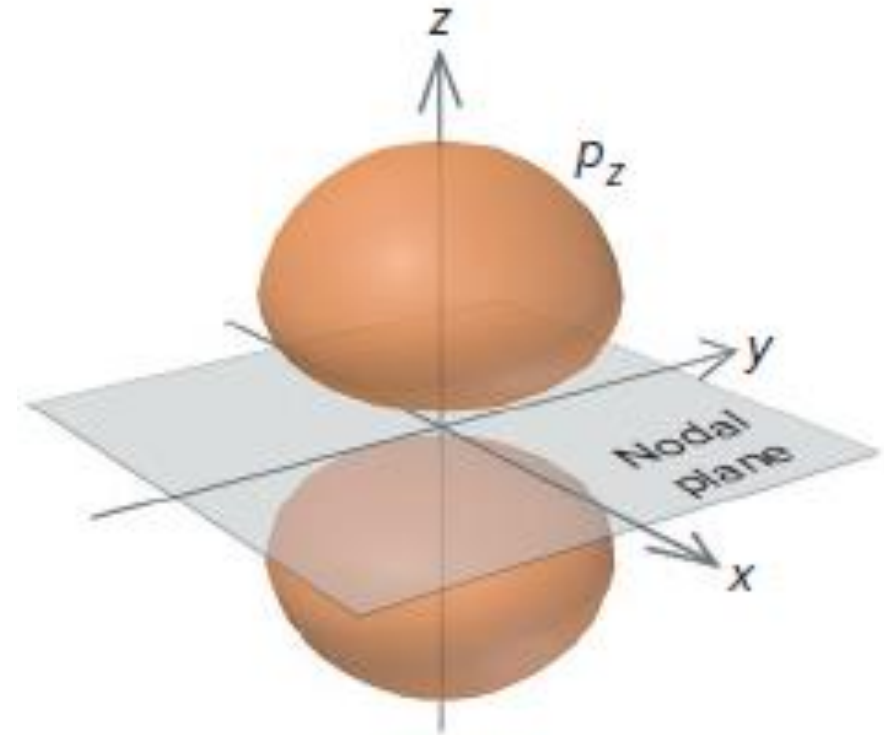
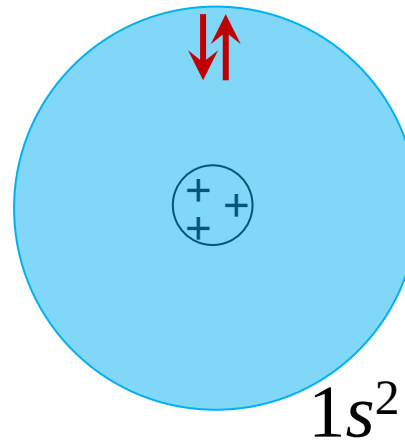
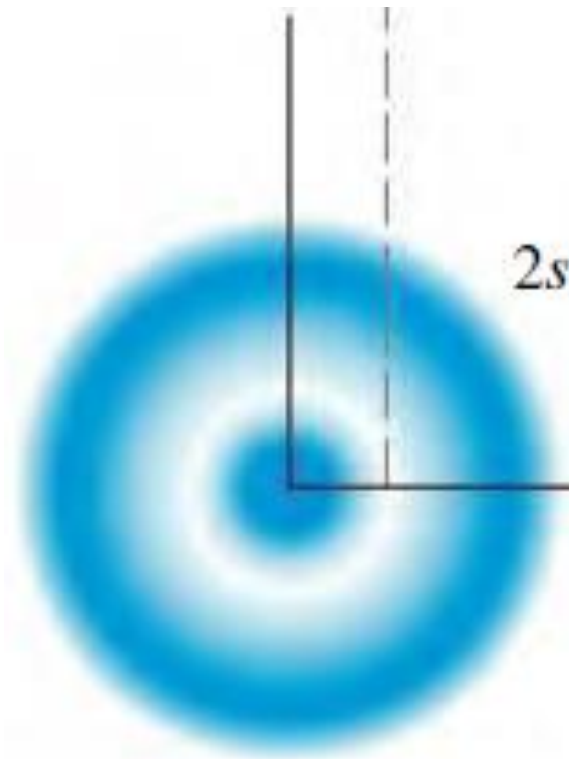


- Στην πραγματικότητα, τα ηλεκτρόνια δεν «μπλοκάρουν» την πλήρη έλξη του πυρήνα.
- Η σταθερά θωράκισης είναι ένας πολύ βολικός τρόπος έκφρασης του συνολικού αποτελέσματος:
- ✓ αφενός της έλξης μεταξύ του πυρήνα και των ηλεκτρονίων
- ✓ αφετέρου, των απωστικών δυνάμεων μεταξύ των ηλεκτρονίων χρησιμοποιώντας την έννοια ενός ισοδύναμου αρνητικού σημειακού φορτίου τοποθετημένου στο κέντρο του ατόμου.

Άτομο του λιθίου, ${}_3\text{Li}$



- Ποιο τροχιακό θα επιλέξει το εξωτερικό ηλεκτρόνιο προκειμένου να μειώσει την ενέργειά του, το $2s$ ή ένα από τα $2p$???

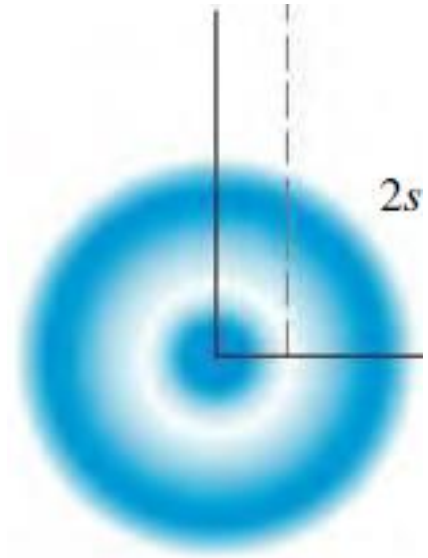


$2s$ ή $2p$???
Ιδού η απορία!!!

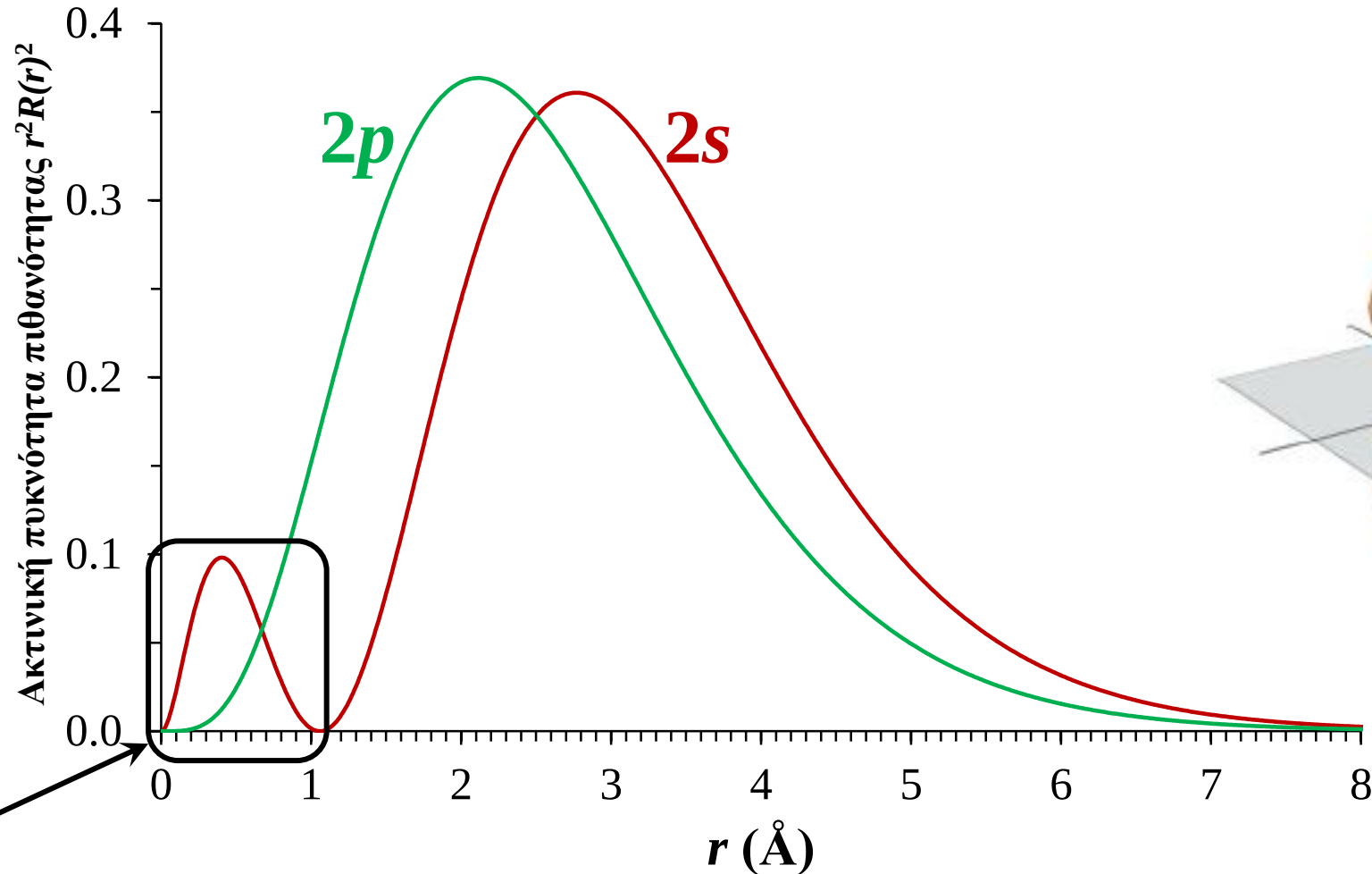


Σχετικές ενέργειες των τροχιακών

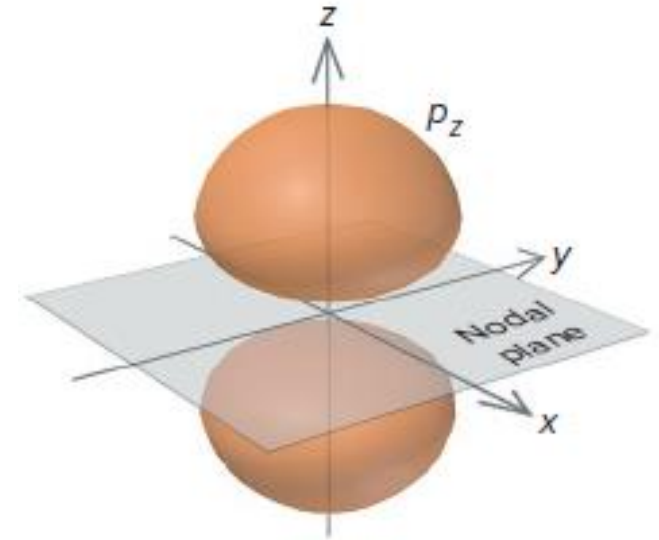
- Ποιο τροχιακό θα επιλέξει το εξωτερικό ηλεκτρόνιο προκειμένου να μειώσει την ενέργειά του, το $2s$ ή το $2p$???



$2s$



Η απάντηση
βρίσκεται εδώ!!!

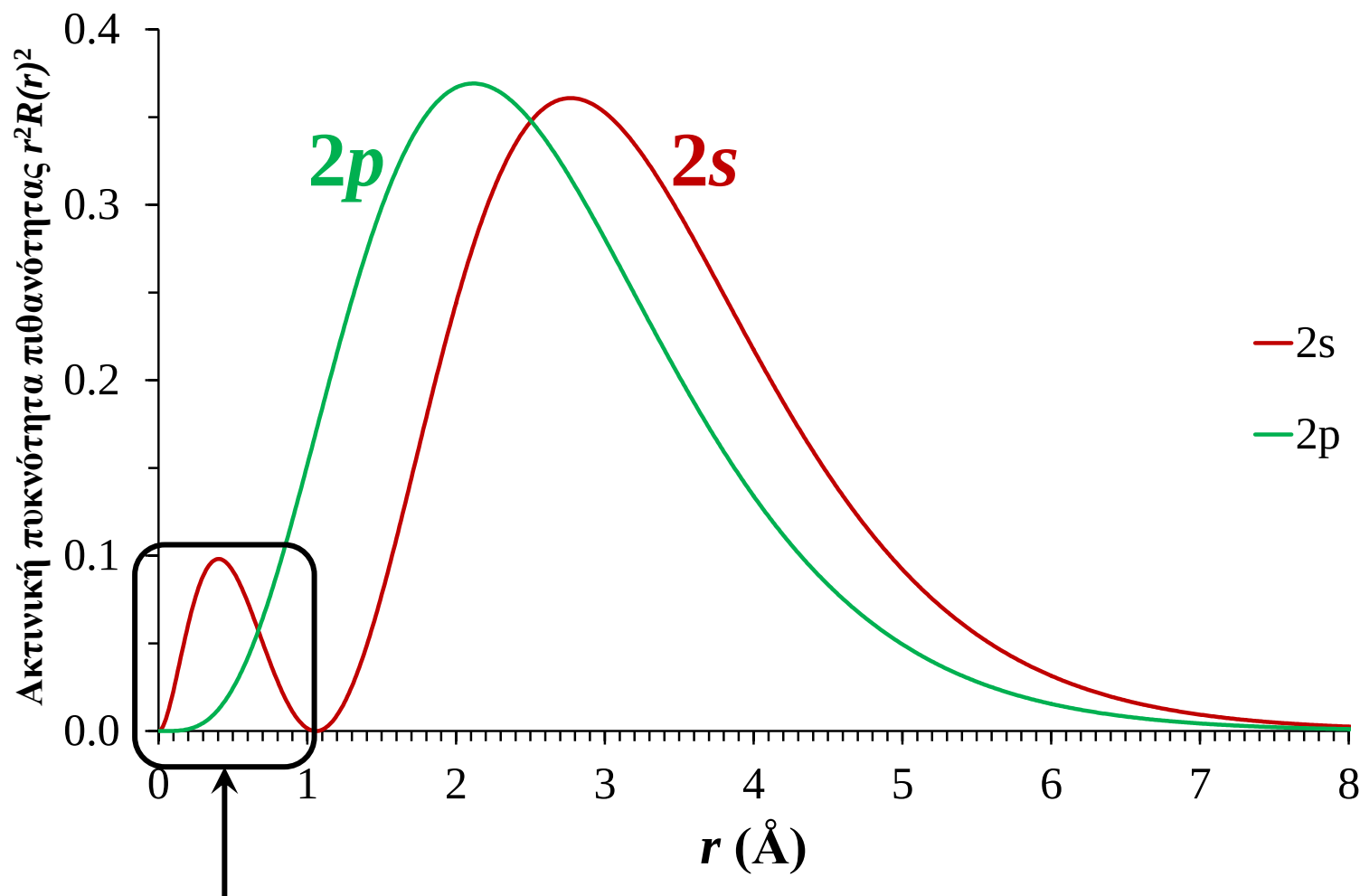




Σχετικές ενέργειες των τροχιακών

- Ένα ηλεκτρόνιο το οποίο βρίσκεται στο τροχιακό $2s$ έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να βρεθεί κοντά στον πυρήνα σε σύγκριση με ένα ηλεκτρόνιο το οποίο βρίσκεται στο τροχιακό $2p$.
- Άρα, ένα ηλεκτρόνιο το οποίο βρίσκεται στο τροχιακό $2s$ εμφανίζει μεγαλύτερη **διείσδυση (penetration)** κοντά στον πυρήνα σε σύγκριση με ένα ηλεκτρόνιο το οποίο βρίσκεται στο τροχιακό $2p$.
- Η κυματοσυνάρτηση του τροχιακού $2s$ έχει μεγαλύτερη **διεισδυτική ικανότητα** και μπορεί να πλησιάσει κοντά στον πυρήνα, εν αντιθέσει με την κυματοσυνάρτηση του τροχιακού $2p$.

Σχετικές ενέργειες των τροχιακών



- Η ακτινική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του τροχιακού 2s έχει ένα τοπικό μέγιστο σε μικρή απόσταση από τον πυρήνα.



Σχετικές ενέργειες των τροχιακών

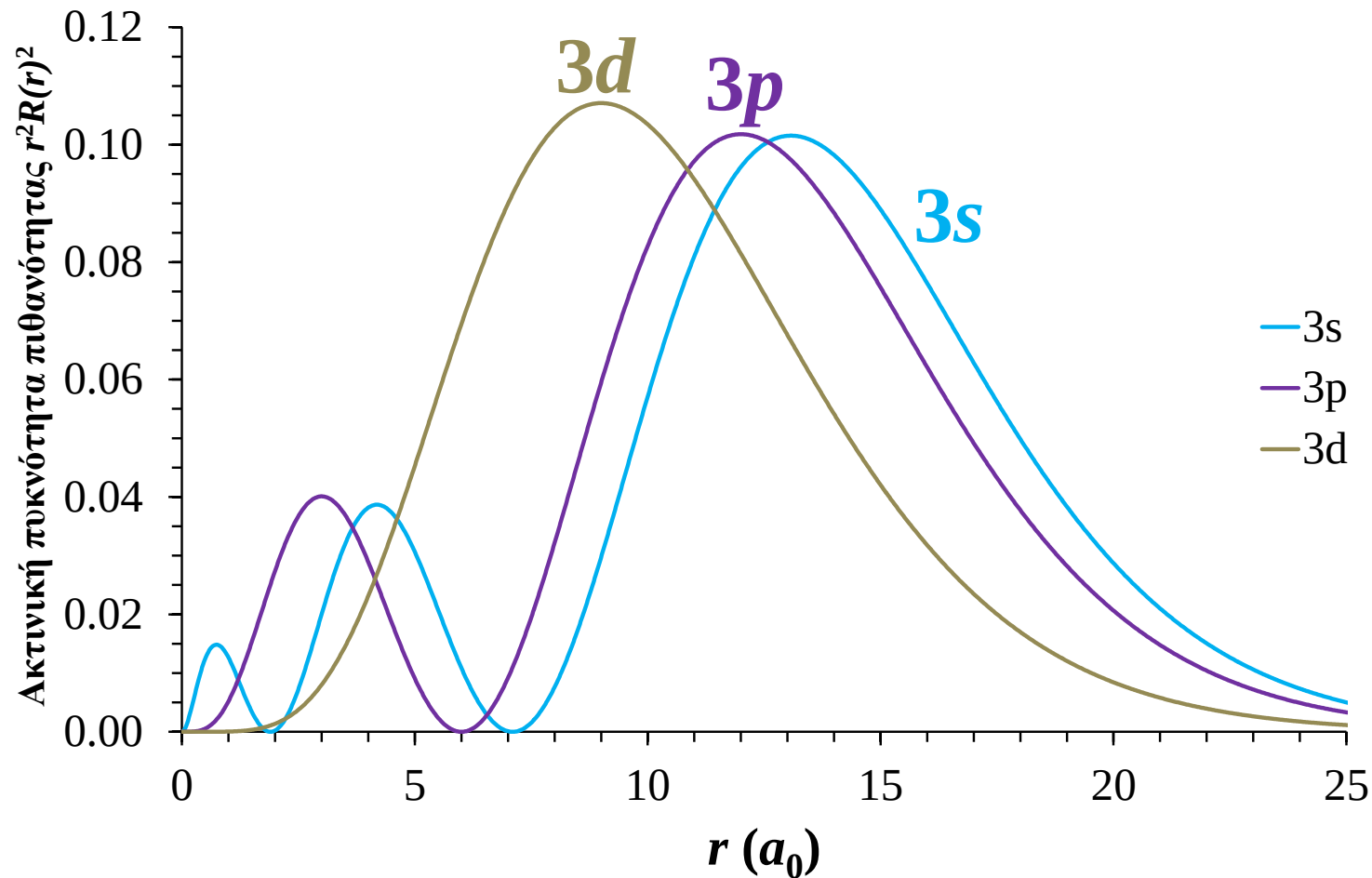
- Αντίθετα, ένα ηλεκτρόνιο το οποίο βρίσκεται στο τροχιακό $2p$ περνά τον περισσότερο χρόνο του μακριά από τον πυρήνα και ως εκ τούτου έλκεται λιγότερο αποτελεσματικά από τον πυρήνα.
- Κατά συνέπεια, ένα ηλεκτρόνιο το οποίο βρίσκεται στο τροχιακό $2s$ έλκεται πιο αποτελεσματικά από τον πυρήνα σε σύγκριση με ένα ηλεκτρόνιο το οποίο βρίσκεται στο τροχιακό $2p$.



Σχετικές ενέργειες των τροχιακών

- Η διείσδυση έχει ταυτόχρονα δύο αποτελέσματα:
 - i. Αυξάνει την έλξη του πυρήνα προς το ηλεκτρόνιο που βρίσκεται στο τροχιακό $2s$ σε σύγκριση με το ηλεκτρόνιο που βρίσκεται στο τροχιακό $2p$.
 - ii. Μειώνει την θωράκιση του ηλεκτρονίου στο τροχιακό $2s$ από τα εσωτερικά ηλεκτρόνια που βρίσκονται στο τροχιακό $1s$.
- Άρα, η ενέργεια του τροχιακού $2s$ είναι μικρότερη από την ενέργεια των τροχιακών $2p$!!!
- Το ίδιο συμβαίνει και με τις υποστιβάδες $3s$, $3p$ και $3d$, καθώς και με τις υποστιβάδες όλων των υπολοίπων στοιβάδων.

Σχετικές ενέργειες των τροχιακών



Ένα d ηλεκτρόνιο διεισδύει λιγότερο από ένα p ή s ηλεκτρόνιο της ίδιας στιβάδας. Άρα βιώνει περισσότερη θωράκιση και αυξάνεται η ενέργειά του.



Σχετικές ενέργειες των τροχιακών

- Η σταθερά θωράκισης είναι διαφορετική για τα ηλεκτρόνια s , p , d και f επειδή έχουν διαφορετικές ακτινικές συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας.
- Η διεισδυτική ικανότητα των ηλεκτρονίων μειώνεται με την εξής σειρά: $s > p > d > f$.
- Δηλαδή, τα s ηλεκτρόνια έχουν μεγαλύτερη διεισδυτική ικανότητα στις εσωτερικές στιβάδες, ακολουθούμενα από τα p , d και f ηλεκτρόνια.
- Η πιθανότητα εύρεσης ενός ηλεκτρονίου κοντά στον πυρήνα λόγω της διείσδυσης του μειώνεται με την εξής σειρά: $s > p > d > f$.



Σχετικές ενέργειες των τροχιακών

- Σε ένα πολυ-ηλεκτρονιακό άτομο, ο συνδυασμός των φαινομένων της διείσδυσης και της θωράκισης προκαλούν διαχωρισμό των ενεργειακών επιπέδων των διαφόρων υποστιβάδων.
- Για μία συγκεκριμένη στιβάδα με κύριο κβαντικό αριθμό n , όσο μικρότερη είναι η τιμή του l μίας υποστιβάδας, τόσο περισσότερο διεισδύουν τα ηλεκτρόνια της κοντά στον πυρήνα.
- Κατά συνέπεια, τόσο μεγαλύτερη είναι η έλξη τους προς τον πυρήνα και ως εκ τούτου μειώνεται η ενέργεια τους.
- Δηλαδή, για μία δεδομένη τιμή του n , όσο μικρότερος είναι ο κβαντικός αριθμός l τόσο μικρότερη είναι η ενέργεια της υποστιβάδας.



Σχετικές ενέργειες των τροχιακών

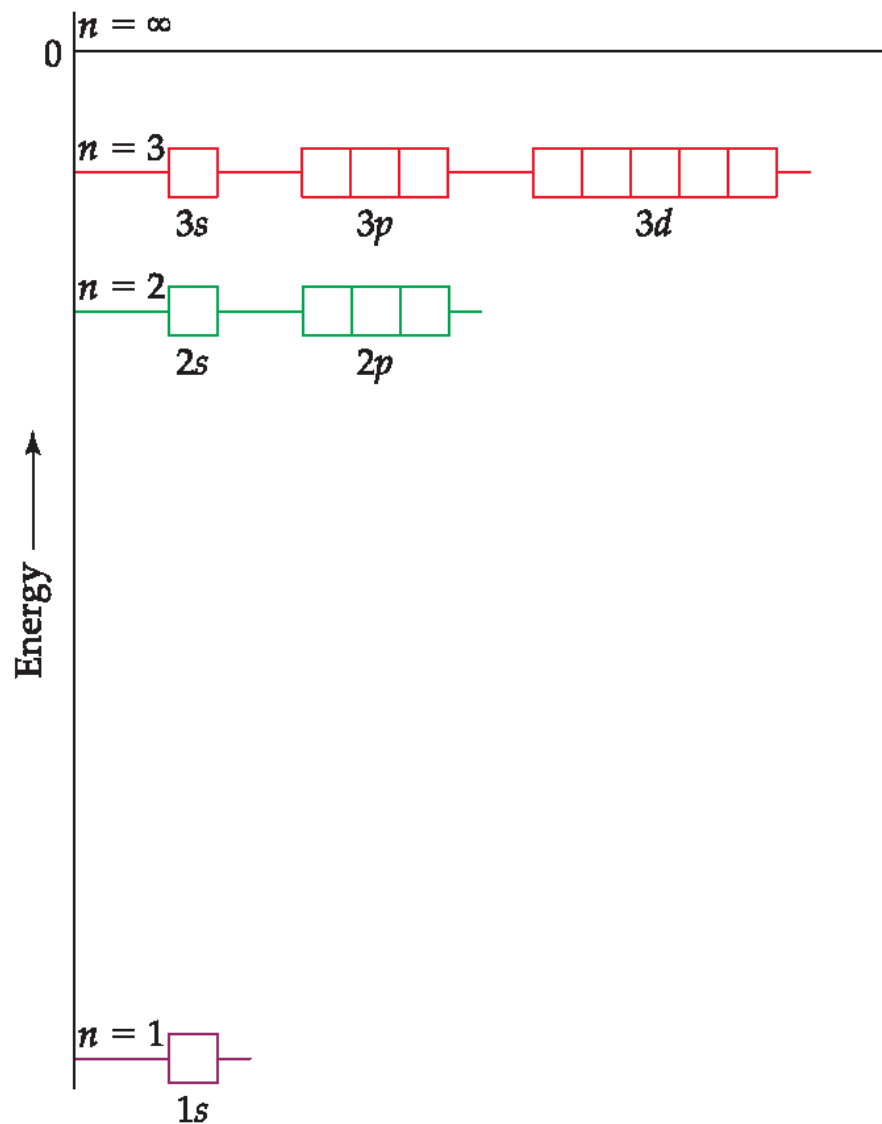
- Άρα, οι ενέργειες των υποστιβάδων μίας στιβάδας (αυτές με την ίδια τιμή του n αλλά διαφορετικές τιμές του l) διατάσσονται γενικά με την εξής σειρά: $s < p < d < f$.
- Τα επιμέρους τροχιακά μίας δεδομένης υποστιβάδας (αυτά με την ίδια τιμή του l αλλά με διαφορετικές τιμές του m_l) παραμένουν εκφυλισμένα επειδή έχουν όλα τα ίδια ακτινικά χαρακτηριστικά και έτσι αισθάνονται το ίδιο αποτελεσματικό πυρηνικό φορτίο.



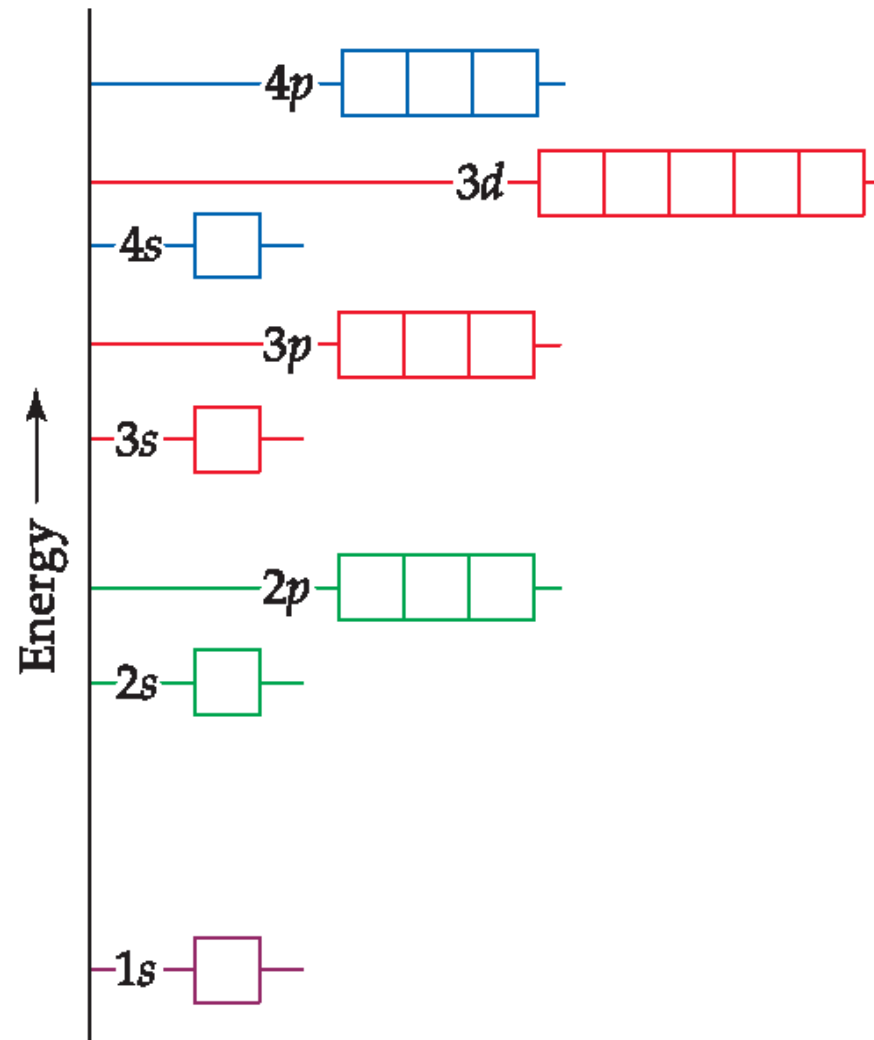
Άτομο του λιθίου, ${}_3\text{Li}$

- Το τροχιακό $2s$ έχει χαμηλότερη ενέργεια από τα τρία εκφυλισμένα τροχιακά $2p$.
- Άρα, το τρίτο ηλεκτρόνιο του ατόμου του λιθίου καταλαμβάνει το τροχιακό $2s$.
- Οπότε, η ηλεκτρονιακή διαμόρφωση του ατόμου στη θεμελιώδη του κατάσταση είναι: $1s^2 2s^1$.
- Τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας ενός ατόμου στη θεμελιώδη του κατάσταση ονομάζονται **ηλεκτρόνια σθένους (valence electrons)** επειδή είναι σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνα για το σχηματισμό χημικών δεσμών στα άτομα.

Σχετικές ενέργειες των τροχιακών

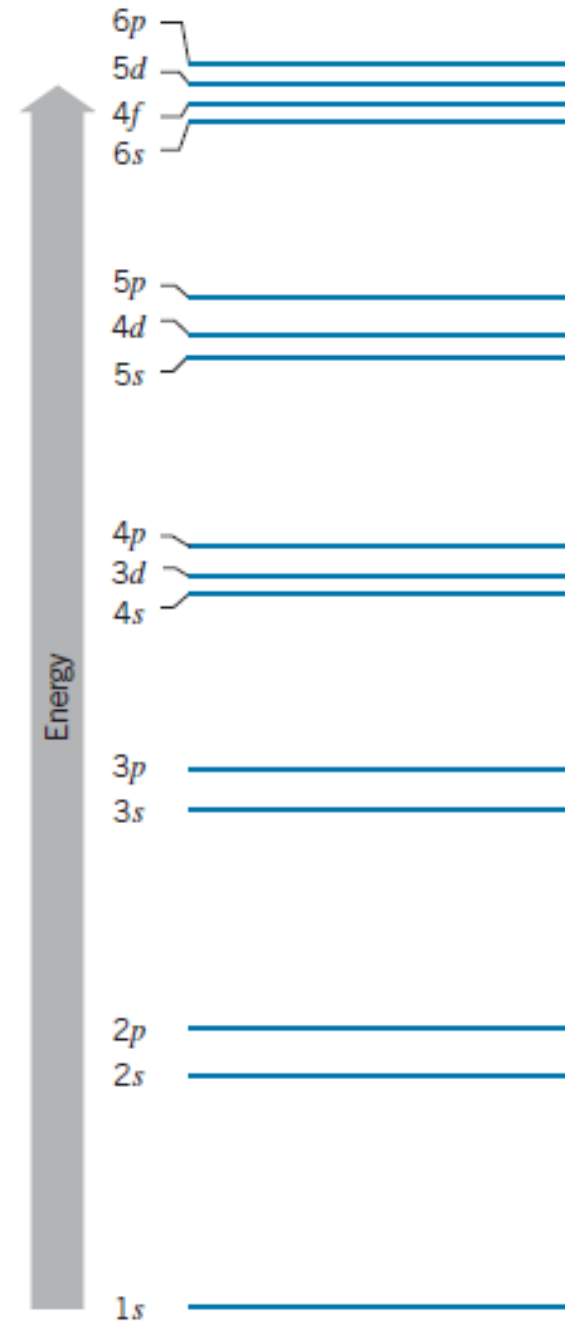
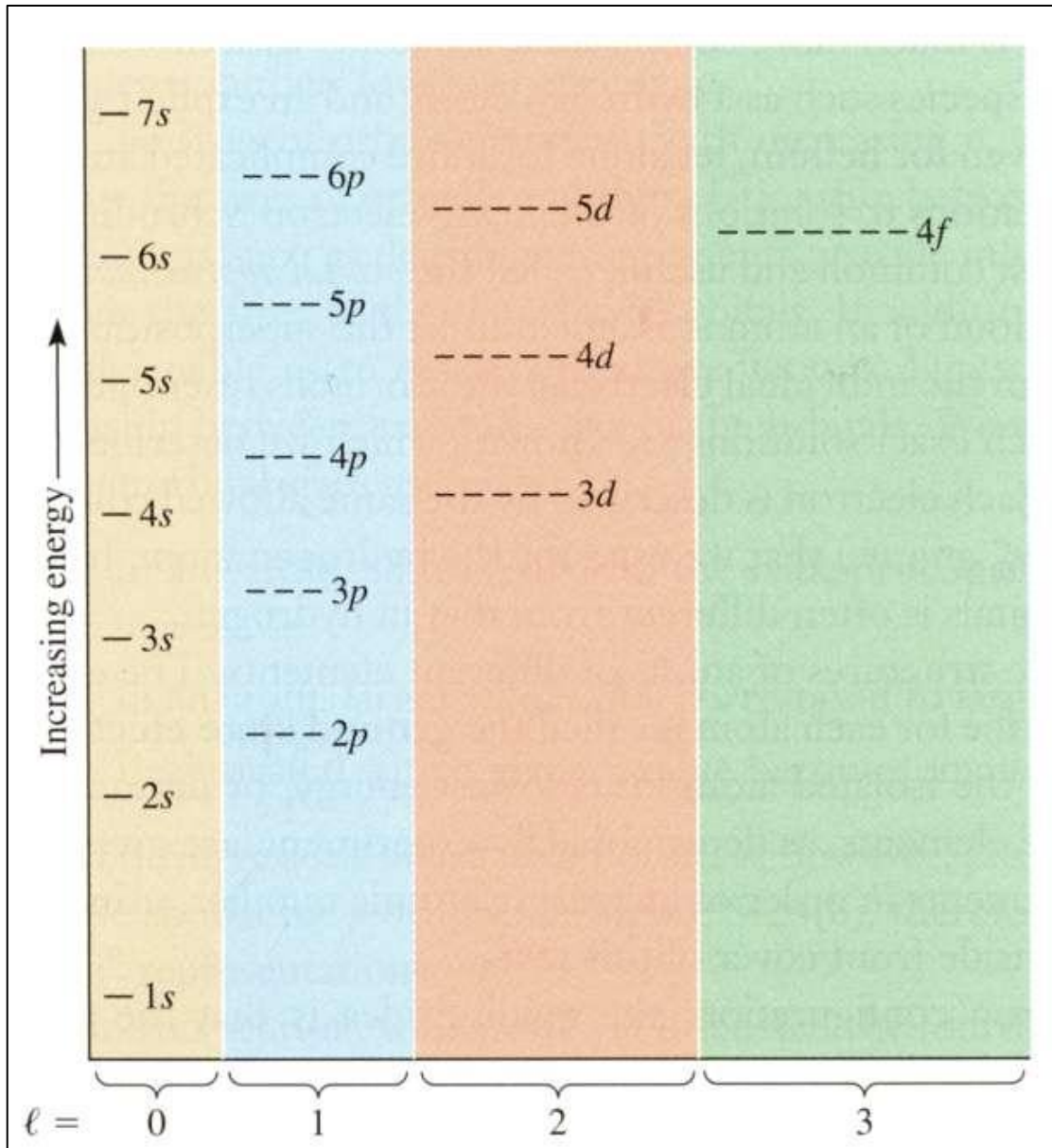


Άτομο του υδρογόνου

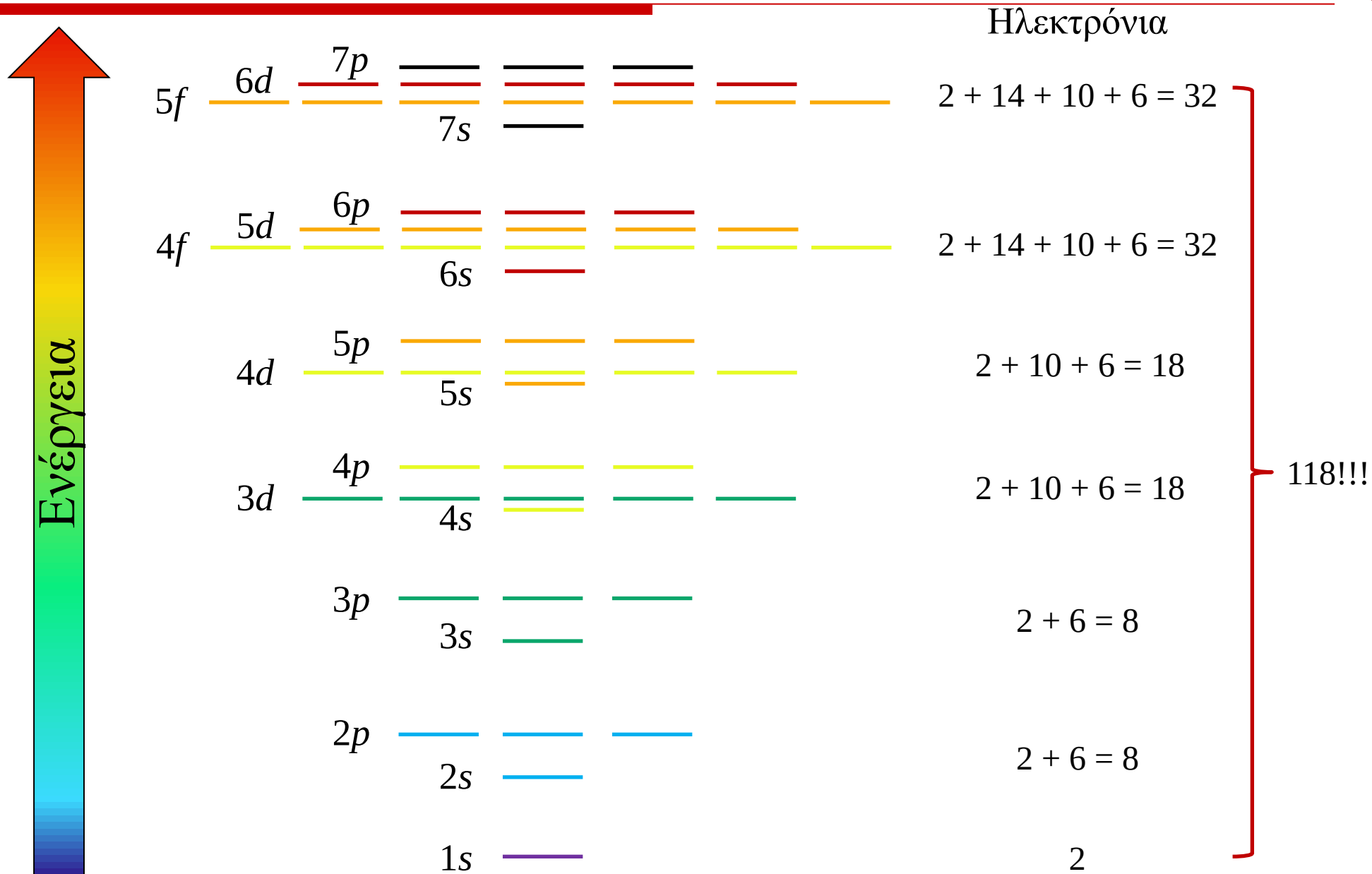


Πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα

Σχετικές ενέργειες των τροχιακών



Σχετικές ενέργειες των τροχιακών



Περιοδικός Πίνακας των Στοιχείων



	I _A 1																	VIII _A 18
1	1 H 1,008 Υδρογόνο	II _A 2																2 He 4,002602 Ήλιο
2	3 Li 6,94 Λίθιο	4 Be 9,012183 Βηρύλλιο											5 B 10,81 Βόριο	6 C 12,011 Ανθρακας	7 N 14,007 Αζωτο	8 O 15,999 Οξυγόνο	9 F 18,998403 Φθόριο	10 Ne 20,1797 Νέο
3	11 Na 22,989769 Νάτριο	12 Mg 24,305 Μαγνήσιο											13 Al 26,981539 Αργίλιο	14 Si 28,085 Πυρίτιο	15 P 30,973762 Φωσφόρος	16 S 32,06 Θείο	17 Cl 35,45 Χλώριο	18 Ar 39,95 Αργό
4	19 K 39,0983 Κάλιο	20 Ca 40,078 Ασβέστιο	21 Sc 44,955908 Σκάνδιο	22 Ti 47,867 Τιτάνιο	23 V 50,9415 Βανάδιο	24 Cr 51,9961 Χρώμιο	25 Mn 54,938043 Μαγγάνιο	26 Fe 55,845 Σίδηρος	27 Co 58,933194 Κοβάλτιο	28 Ni 58,6934 Νικέλιο	29 Cu 63,546 Χαλκός	30 Zn 65,38 Ψευδάργυρος	31 Ga 69,723 Γάλλιο	32 Ge 72,630 Γερμάνιο	33 As 74,921595 Αρσενικό	34 Se 78,971 Σελήνιο	35 Br 79,904 Βρώμιο	36 Kr 83,798 Κρυπτό
5	37 Rb 85,4678 Ρουβίδιο	38 Sr 87,62 Στρόντιο	39 Y 88,90584 Ύτριο	40 Zr 91,224 Ζιρκόνιο	41 Nb 92,90637 Νιόβιο	42 Mo 95,95 Μολυβδαίνιο	43 Tc [98] Τεχνητό	44 Ru 101,07 Ρουθίνιο	45 Rh 102,90549 Ρόδιο	46 Pd 106,42 Παλλάδιο	47 Ag 107,8682 Αργυρος	48 Cd 112,414 Κάδμιο	49 In 114,818 Ινδίο	50 Sn 118,710 Κασσίτερος	51 Sb 121,760 Αντιμόνιο	52 Te 127,60 Τελουρίο	53 I 126,90447 Ιώδιο	54 Xe 131,293 Ξένο
6	55 Cs 132,90545 Καίσιο	56 Ba 137,327 Βάριο	57 La* 138,90547 Λανθάνιο	72 Hf 178,49 Αφνιο	73 Ta 180,94788 Ταντάλιο	74 W 183,84 Βολφράμιο	75 Re 186,207 Ρήνιο	76 Os 190,23 Οσμιο	77 Ir 192,217 Ιρίδιο	78 Pt 195,084 Λευκόχρυσος	79 Au 196,96657 Χρυσός	80 Hg 200,592 Υδράργυρος	81 Tl 204,38 Θάλλιο	82 Pb 207,2 Μόλυβδος	83 Bi 208,98040 Βισμούθιο	84 Po [208,98] Πολόνιο	85 At [209,99] Αστάτιο	86 Rn [222,02] Ραδόνιο
7	87 Fr [223,02] Φράγκιο	88 Ra [226,03] Ράδιο	89 Ac** [227,03] Ακτίνιο	104 Rf [267,1] Ραφερφόριο	105 Db [268,1] Ντούμπνιο	106 Sg [269,1] Σημπόργκιο	107 Bh [270,1] Μπόριο	108 Hs [269,1] Χάσσιο	109 Mt [278,2] Μεϊντέρτιο	110 Ds [281,2] Νταρμστάντιο	111 Rg [282,2] Ρεντγκένιο	112 Cn [285,2] Κοπερνίκιο	113 Nh [286,2] Νιχόνιο	114 Fl [289,2] Φλερόβιο	115 Mc [289,2] Μοσχόβιο	116 Lv [293,2] Λιβερμόριο	117 Ts [293,2] Τεννессίνιο	118 Og [294,2] Ογκάνεσσον

* Λανθανίδες

** Ακτινίδες

58 Ce 140,116 Διμήτριο	59 Pr 140,90766 Προσεόδομιο	60 Nd 144,242 Νεοδόμιο	61 Pm [145] Προμήθειο	62 Sm 150,36 Σαμάριο	63 Eu 151,964 Ευρώπιο	64 Gd 157,25 Γαδολίνιο	65 Tb 158,92535 Τέρβιο	66 Dy 162,500 Δυσπρόσιο	67 Ho 164,93033 Όλμιο	68 Er 167,259 Έρβιο	69 Tm 168,93422 Θούλιο	70 Yb 173,045 Υττέριο	71 Lu 174,9668 Λουτέτιο
90 Th 232,0377 Θόριο	91 Pa 231,03588 Πρωτακτίνιο	92 U 238,02891 Ουράνιο	93 Np [237,05] Ποσειδώνιο	94 Pu [244,06] Πλουτώνιο	95 Am [243,06] Αμερίκιο	96 Cm [247,07] Κιούριο	97 Bk [247,07] Μπερκέλιο	98 Cf [251,08] Καλιφόρνιο	99 Es [252,08] Αϊνστάινιο	100 Fm [257,10] Φέρμιο	101 Md [258,10] Μεντελέβιο	102 No [259,10] Νομπέλιο	103 Lr [262,11] Λωρέντζιο

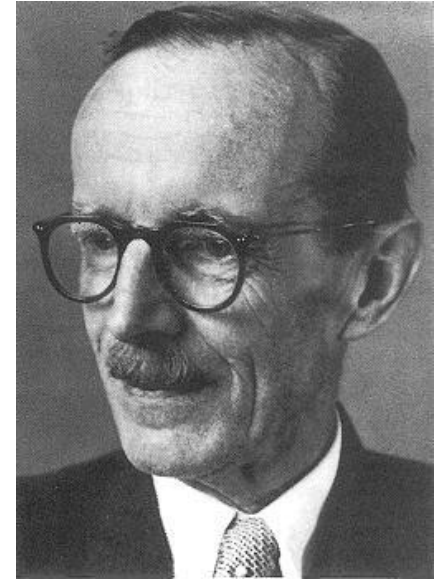


Σχετικές ενέργειες των τροχιακών

- Στα πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα, για μια δοσμένη τιμή του n η ενέργεια των τροχιακών αυξάνεται όσο αυξάνεται η τιμή του l .
- Τα τροχιακά της ίδια υποστιβάδας (π.χ. τα τρία $2p$ τροχιακά, τα πέντε $3d$ τροχιακά) έχουν την ίδια ενέργεια μεταξύ τους.
- Τροχιακά με την ίδια ενέργεια ονομάζονται **εκφυλισμένα (degenerate)** τροχιακά.
- Τα προηγούμενα διαγράμματα είναι **ποιοτικά**. Οι ακριβείς ενέργειες των τροχιακών και οι σχετικές αποστάσεις μεταξύ τους διαφέρουν από το ένα άτομο στο άλλο.
- Τα διαγράμματα δείχνουν τη σειρά με την οποία συμπληρώνονται τα τροχιακά στα πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα.

Σχετικές ενέργειες των τροχιακών

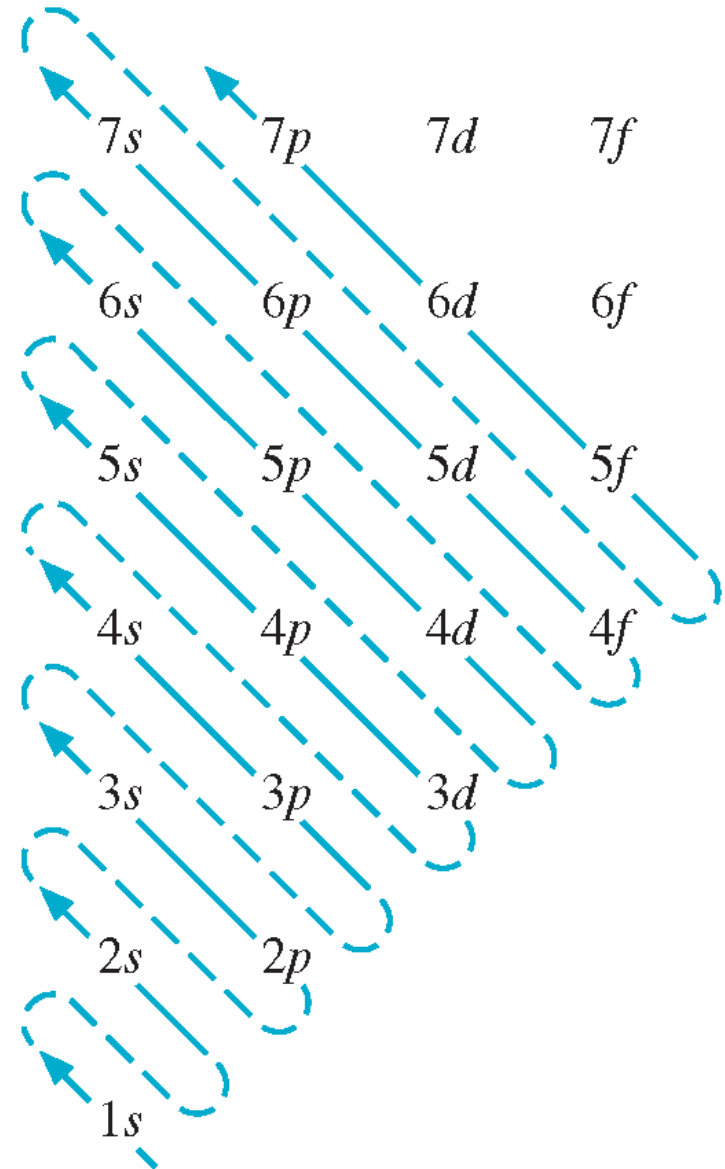
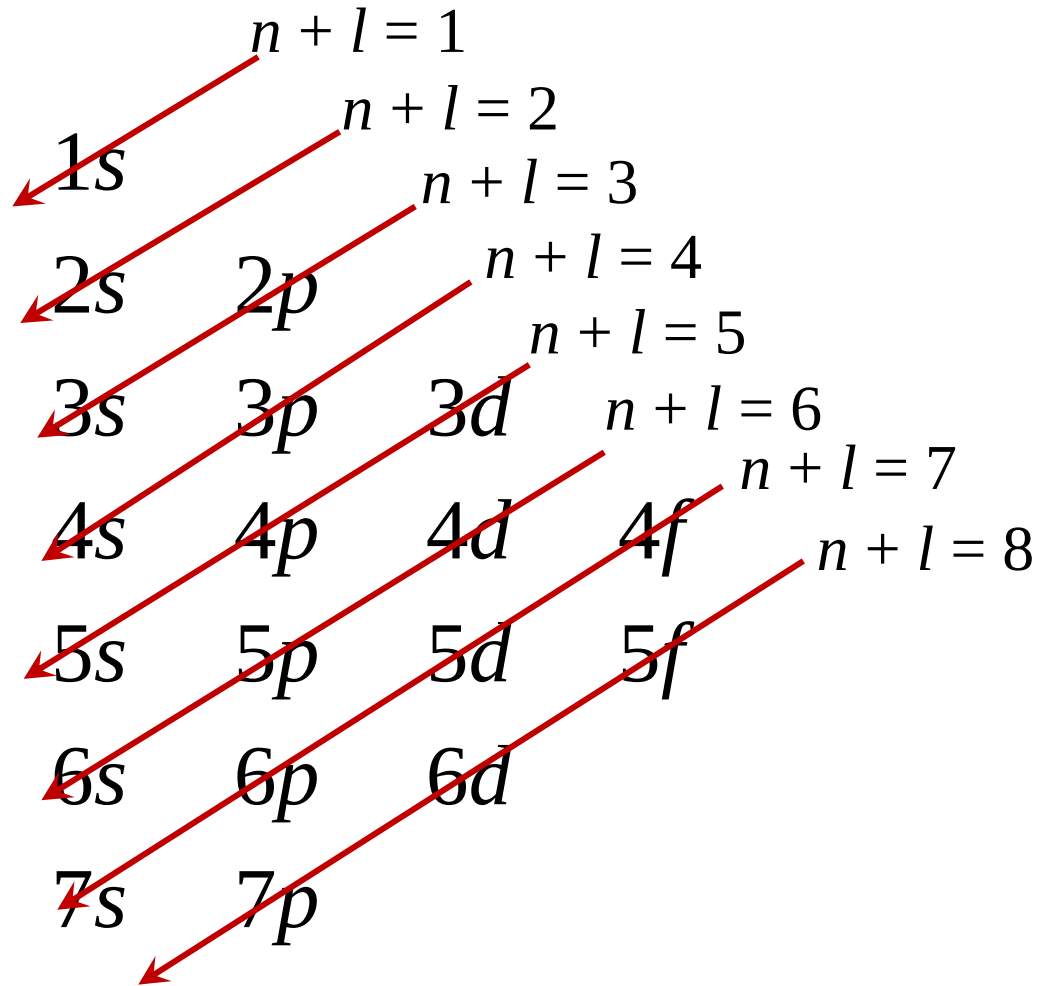
- Το 1936 διατυπώθηκαν από το Γερμανό Φυσικό Erwin Madelung (1881-1972) οι παρακάτω εμπειρικοί κανόνες για την εύρεση της ενέργειας των τροχιακών:
 1. Η ενέργεια των τροχιακών αυξάνεται όσο αυξάνεται το άθροισμα των δύο πρώτων κβαντικών αριθμών ($n + l$).
 2. Στην περίπτωση που το άθροισμα ($n + l$) είναι το ίδιο, τότε μικρότερη ενέργεια έχει το τροχιακό με τον μικρότερο κύριο κβαντικό αριθμό n .





Σειρά συμπλήρωσης των τροχιακών

➤ Σειρά συμπλήρωσης των τροχιακών:

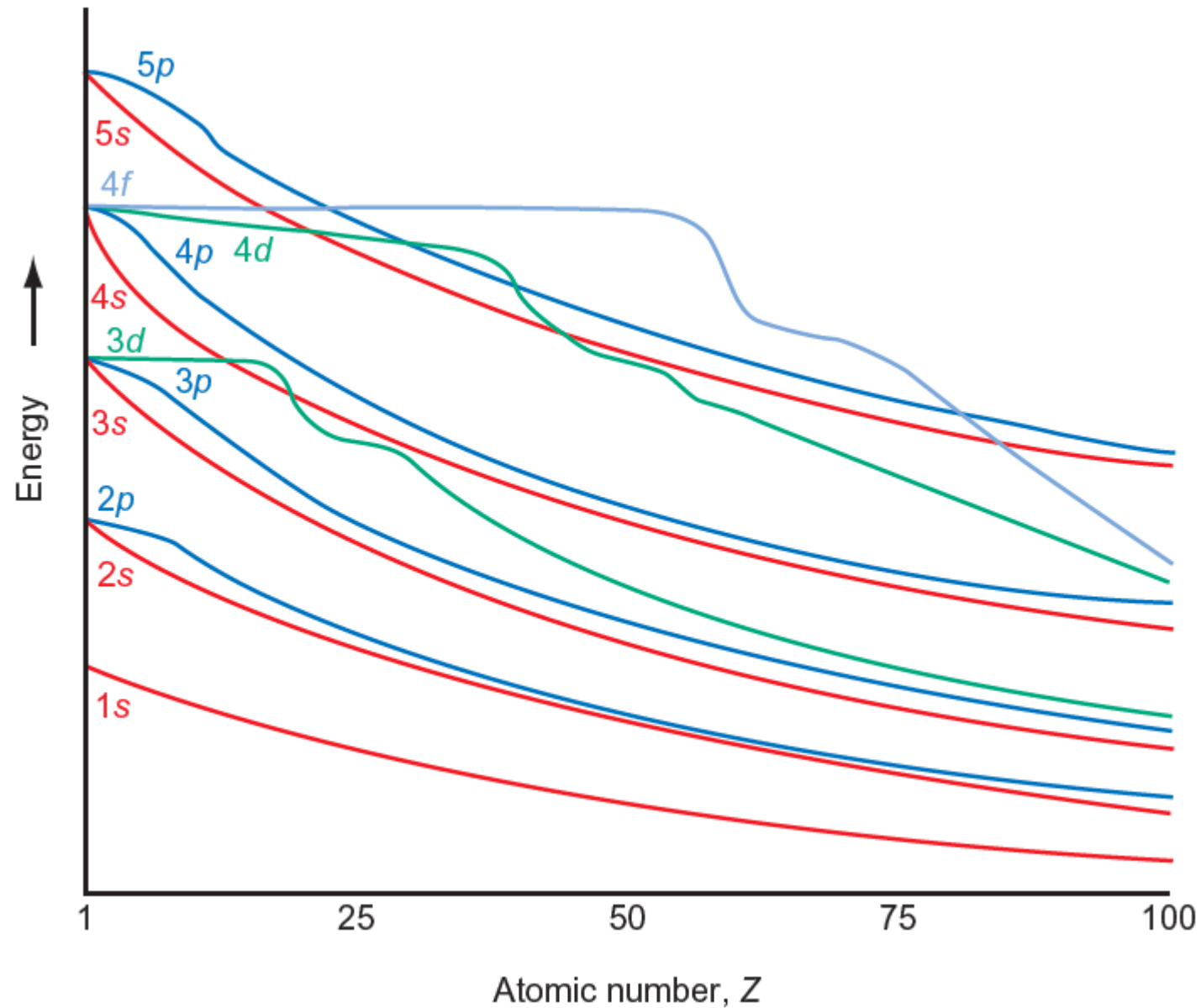




Σχετικές ενέργειες των τροχιακών

- Υπάρχουν αρκετές εξαιρέσεις στους κανόνες του Madelung.
- Οι σχετικές ενέργειες των τροχιακών εξαρτώνται από:
 - ✓ τον ατομικό αριθμό του στοιχείου
 - ✓ τον αριθμό των ηλεκτρονίων που βρίσκονται στο κάθε τροχιακό.
- Οι κανόνες του Madelung δείχνουν τη σειρά συμπλήρωσης των τροχιακών στα πολυ-ηλεκτρονικά άτομα.
- Η σειρά αυτή δεν ταυτίζεται απόλυτα με τις σχετικές ενέργειες των τροχιακών.

Σχετικές ενέργειες των τροχιακών





Ηλεκτρονιακή διάταξη

- Ηλεκτρονιακή διάταξη ή διαμόρφωση ή δομή (**electron configuration**) ενός ατόμου είναι μια συγκεκριμένη κατανομή των ηλεκτρονίων του σε στιβάδες, υποστιβάδες και τροχιακά.
- Οι ηλεκτρονιακές διατάξεις γράφονται δίνοντας το σύμβολο της κατειλημμένης υποστιβάδας, ενώ ο αριθμός των ηλεκτρονίων γράφεται ως εκθέτης:

$2s^2$, διαβάζεται: δύο s δύο

$3p^4$, διαβάζεται: τρία p τέσσερα

$4d^6$, διαβάζεται: τέσσερα d έξι

$5f^7$, διαβάζεται: πέντε f επτά

Ηλεκτρονιακή διάταξη



δηλώνει τον αριθμό των ηλεκτρονίων
στην υποστιβάδα ή το τροχιακό

$1s^1$

δηλώνει τον κύριο
κβαντικό αριθμό n

δηλώνει τον τροχιακό
κβαντικό αριθμό l



Ηλεκτρονιακή διάταξη

- Για την απεικόνιση μιας ηλεκτρονιακής διάταξης γράφουμε τα σύμβολα των υποστιβάδων το ένα δίπλα στο άλλο, με έναν εκθέτη ο οποίος δίνει τον αριθμό των ηλεκτρονίων στην αντίστοιχη υποστιβάδα, π.χ.
- ✓ ${}_1\text{H}: 1s^1$
 - ✓ ${}_2\text{He}: 1s^2$
 - ✓ ${}_3\text{Li}: 1s^2 2s^1$
 - ✓ ${}_4\text{Be}: 1s^2 2s^2$
 - ✓ ${}_5\text{B}: 1s^2 2s^2 2p^1$



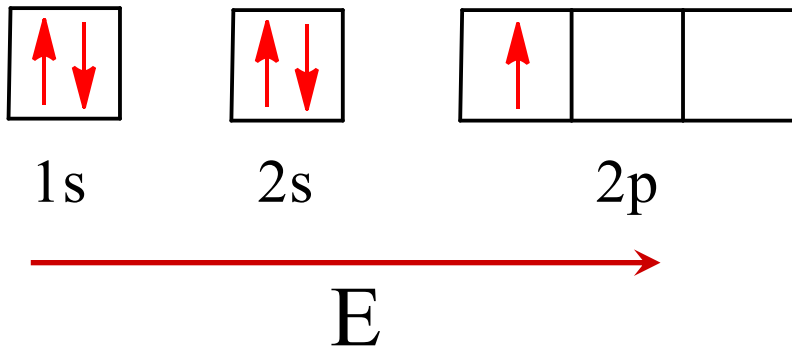
Ηλεκτρονιακή διάταξη

- Για να δείξουμε πως καταλαμβάνονται τα τροχιακά μιας υποστιβάδας με ηλεκτρόνια χρησιμοποιούμε ένα διάγραμμα, το οποίο ονομάζεται **διάγραμμα τροχιακών (orbital diagram)**.
- Κάθε τροχιακό παριστάνεται με ένα κύκλο ή ένα τετράγωνο.
- Ένα ηλεκτρόνιο συμβολίζεται με ένα βέλος, το οποίο κατευθύνεται προς τα επάνω όταν $m_s = +1/2$, ή προς τα κάτω όταν $m_s = -1/2$.

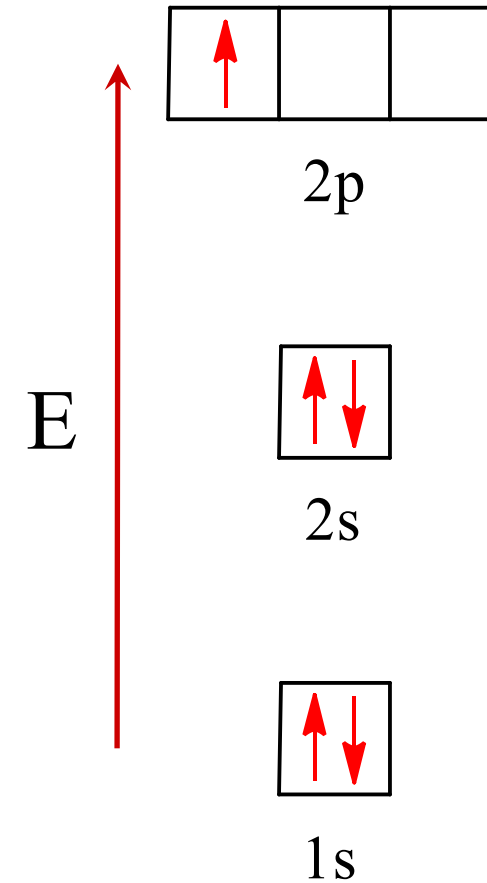


Ηλεκτρονιακή διάταξη

- Για παράδειγμα, το διάγραμμα τροχιακών του $_5\text{B}$, με ηλεκτρονιακή διάταξη $1s^2 2s^2 2p^1$, είναι:



ή





Αρχή ηλεκτρονιακής δόμησης

- Σε ένα άτομο υπάρχουν θεωρητικά άπειρες πιθανές ηλεκτρονιακές διατάξεις.
- Η ηλεκτρονιακή διάταξη η οποία έχει τη χαμηλότερη ενέργεια ονομάζεται **βασική ή θεμελιώδης κατάσταση (ground state)**
- Όλες οι άλλες ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις οι οποίες έχουν υψηλότερη ενέργεια ονομάζονται **διεγερμένες καταστάσεις (excited states)**.
- Ένα σύστημα είναι τόσο πιο σταθερό όσο μικρότερη είναι η ενέργεια του.
- Τα άτομα έχουν την τάση να αποκτήσουν τη μικρότερη δυνατή ενέργεια, άρα και τη μέγιστη δυνατή ευστάθεια.



Αρχή ηλεκτρονιακής δόμησης

- Τα ηλεκτρόνια τοποθετούνται στα τροχιακά των ατόμων με τη χαμηλότερη δυνατή ενέργεια: **αρχή ηλεκτρονιακής δόμησης** (Aufbau principle).
- Διατυπώθηκε από τον Niels Bohr και τον Wolfgang Pauli
- Αρχικά θεωρούμε τον πυρήνα του ατόμου με ατομικό αριθμό Z απογυμνωμένο από ηλεκτρόνια.
- Στη συνέχεια, συμπληρώνονται διαδοχικά Z ηλεκτρόνια στα τροχιακά κατά σειρά αυξανόμενης ενέργειας, δηλαδή ξεκινώντας από το τροχιακό με τη μικρότερη ενέργεια προς τα τροχιακά υψηλότερης ενέργειας.





Κανόνας του Hund

- Ο Γερμανός Φυσικός Friedrich Hund (1896-1997) διατύπωσε τον παρακάτω κανόνα:
- Σε εκφυλισμένα τροχιακά, η χαμηλότερη ενέργεια επιτυγχάνεται όταν ο αριθμός των ηλεκτρονίων με το ίδιο spin είναι ο μέγιστος δυνατός.
- Εκφυλισμένα τροχιακά: τροχιακά με την ίδια ενέργεια, π.χ. τα τρία τροχιακά p , τα πέντε τροχιακά d , τα επτά τροχιακά f .
- Δηλαδή όπου είναι δυνατόν, τα ηλεκτρόνια διευθετούνται στα τροχιακά με παράλληλο spin.



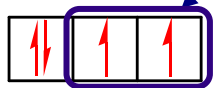


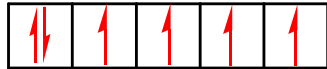
Ηλεκτρονιακές διατάξεις

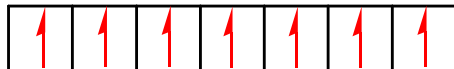
➤ Μερικά παραδείγματα ηλεκτρονιακών διατάξεων:

$2s^1$  ← μονήρη ή μη συζευγμένα ή ασύζευκτα

$2s^2$  (unpaired) ηλεκτρόνια

$3p^4$  ← συζευγμένα (paired) ηλεκτρόνια

$4d^6$ 

$5f^7$ 

Περιοδικός πίνακας των στοιχείων



	I _A 1																VIII _A 18		
1	1 H 1,008 Υδρογόνο	II _A 2											III _A 13	IV _A 14	V _A 15	VI _A 16	VII _A 17	2 He 4,002602 Ήλιο	
2	3 Li 6,94 Λίθιο	4 Be 9,012183 Βηρύλλιο											5 B 10,81 Βόριο	6 C 12,011 Ανθρακας	7 N 14,007 Αζωτο	8 O 15,999 Οξυγόνο	9 F 18,998403 Φθόριο	10 Ne 20,1797 Νέο	
3	11 Na 22,989769 Νάτριο	12 Mg 24,305 Μαγνήσιο	III _B 3	IV _B 4	V _B 5	VI _B 6	VII _B 7	VIII _B 8 9 10				IB 11	II _B 12	13 Al 26,981539 Αργίλιο	14 Si 28,085 Πυρίτιο	15 P 30,973762 Φωσφόρος	16 S 32,06 Θείο	17 Cl 35,45 Χλώριο	18 Ar 39,95 Αργό
4	19 K 39,0983 Κάλιο	20 Ca 40,078 Ασβέστιο	21 Sc 44,955908 Σκάνδιο	22 Ti 47,867 Τιτάνιο	23 V 50,9415 Βανάδιο	24 Cr 51,9961 Χρώμιο	25 Mn 54,938043 Μαγγάνιο	26 Fe 55,845 Σίδηρος	27 Co 58,933194 Κοβάλτιο	28 Ni 58,6934 Νικέλιο	29 Cu 63,546 Χαλκός	30 Zn 65,38 Ψευδάργυρος	31 Ga 69,723 Γάλλιο	32 Ge 72,630 Γερμάνιο	33 As 74,921595 Αρσενικό	34 Se 78,971 Σελήνιο	35 Br 79,904 Βρώμιο	36 Kr 83,798 Κρυπτό	
5	37 Rb 85,4678 Ρουβίδιο	38 Sr 87,62 Στρόντιο	39 Y 88,90584 Ύτριο	40 Zr 91,224 Ζιρκόνιο	41 Nb 92,90637 Νιόβιο	42 Mo 95,95 Μολυβδαίνιο	43 Tc [98] Τεχνητό	44 Ru 101,07 Ρουθήνιο	45 Rh 102,90549 Ρόδιο	46 Pd 106,42 Παλλάδιο	47 Ag 107,8682 Αργυρος	48 Cd 112,414 Κάδμιο	49 In 114,818 Ινδίο	50 Sn 118,710 Κασσίτερος	51 Sb 121,760 Αντιμόνιο	52 Te 127,60 Τελουρίο	53 I 126,90447 Ιώδιο	54 Xe 131,293 Ξένο	
6	55 Cs 132,90545 Καίσιο	56 Ba 137,327 Βάριο	57 La* 138,90547 Λανθάνιο	72 Hf 178,49 Αφνιο	73 Ta 180,94788 Ταντάλιο	74 W 183,84 Βολφράμιο	75 Re 186,207 Ρήνιο	76 Os 190,23 Οσμιο	77 Ir 192,217 Ιρίδιο	78 Pt 195,084 Λευκόχρυσος	79 Au 196,96657 Χρυσός	80 Hg 200,592 Υδράργυρος	81 Tl 204,38 Θάλλιο	82 Pb 207,2 Μόλυβδος	83 Bi 208,98040 Βισμούθιο	84 Po [208,98] Πολόνιο	85 At [209,99] Αστάτιο	86 Rn [222,02] Ραδόνιο	
7	87 Fr [223,02] Φράγκιο	88 Ra [226,03] Ράδιο	89 Ac** [227,03] Ακτίνιο	104 Rf [267,1] Ραδεφφόριο	105 Db [268,1] Ντούμπνιο	106 Sg [269,1] Σημπόργκιο	107 Bh [270,1] Μπόριο	108 Hs [269,1] Χάσσιο	109 Mt [278,2] Μεϊντέρτιο	110 Ds [281,2] Νταρμστάνιο	111 Rg [282,2] Ρεντγκένιο	112 Cn [285,2] Κοπερνίκιο	113 Nh [286,2] Νιχόνιο	114 Fl [289,2] Φλερόβιο	115 Mc [289,2] Μοσχόβιο	116 Lv [293,2] Λιβερμόριο	117 Ts [293,2] Τεννессίνιο	118 Og [294,2] Ογκάνεσσον	

* Λανθανίδες

** Ακτινίδες

58 Ce 140,116 Διμήτριο	59 Pr 140,90766 Προσεόδομιο	60 Nd 144,242 Νεοδόμιο	61 Pm [145] Προμήθειο	62 Sm 150,36 Σαμάριο	63 Eu 151,964 Ευρώπιο	64 Gd 157,25 Γαδολίνιο	65 Tb 158,92535 Τέρβιο	66 Dy 162,500 Δυσπρόσιο	67 Ho 164,93033 Όλμιο	68 Er 167,259 Έρβιο	69 Tm 168,93422 Θούλιο	70 Yb 173,045 Υττέριο	71 Lu 174,9668 Λουτέτιο
90 Th 232,0377 Θόριο	91 Pa 231,03588 Πρωτακτίνιο	92 U 238,02891 Ουράνιο	93 Np [237,05] Ποσειδώνιο	94 Pu [244,06] Πλουτώνιο	95 Am [243,06] Αμερίκιο	96 Cm [247,07] Κιούριο	97 Bk [247,07] Μπερκέλιο	98 Cf [251,08] Καλιφόρνιο	99 Es [252,08] Αϊνστάινιο	100 Fm [257,10] Φέρμιο	101 Md [258,10] Μεντελέβιο	102 No [259,10] Νομπέλιο	103 Lr [262,11] Λωρέντζιο



- | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| H | | | | | | | | | | | | | | | | | He |
| Li | Be | | | | | | | | | | | B | C | N | O | F | Ne |
| Na | Mg | | | | | | | | | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar |
| K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr |
| Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe |
| Cs | Ba | La | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |
| Fr | Ra | Ac | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | Cn | Nh | Fl | Mc | Lv | Ts | Og |
| | | | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | |
| | | | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr | |
- Αρχαιότητα

Μεσαίωναs-1700

1735-1843

1843-1886

1894-1918

1923-1961

1965-σήμερα

Περιοδικός πίνακας των στοιχείων



Glenn Seaborg (1912 – 1999)
Βραβείο Nobel Χημείας 1951
Σημπόργκιο, $_{106}\text{Sg}$



Yuri Oganessian
(1933)
Ογκάνεσσον $_{118}\text{Og}$



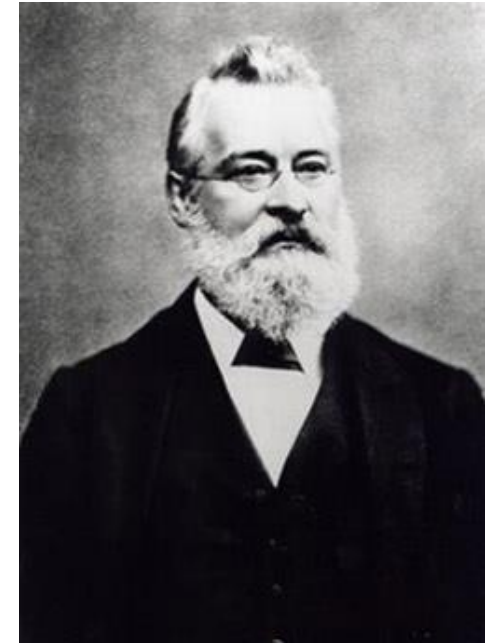
Περιοδικός πίνακας των στοιχείων

- Οι πρώτες προσπάθειες ομαδοποίησης των στοιχείων βασίστηκαν στο γεγονός ότι κάποια στοιχεία εμφάνιζαν παρόμοιες χημικές ιδιότητες.
- Τα στοιχεία ταξινομήθηκαν σε σειρές και στήλες, υπό μορφή **πίνακα**.
- Ο πίνακας αυτός ονομάστηκε **Περιοδικός Πίνακας των Στοιχείων (Periodic Table of the Elements)**.
- Η ταξινόμηση αυτή αποσκοπεί να τονίσει ότι οι ιδιότητες των στοιχείων επαναλαμβάνονται ακολουθώντας μία κανονικότητα.



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων

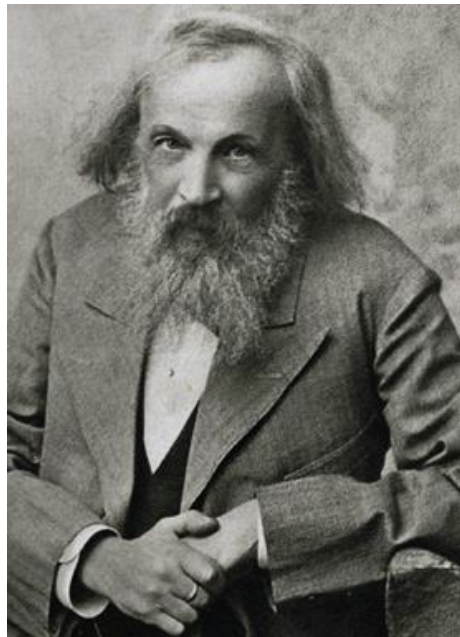
- Μια από τις πρώτες προσπάθειες ομαδοποίησης των στοιχείων έγινε την περίοδο 1863-1866 από τον Άγγλο Χημικό John Newlands (1837-1898).
- Ο Newlands διατύπωσε τη θεωρία ότι τα στοιχεία (56 γνωστά στοιχεία) τα οποία διαφέρουν κατά 8 μονάδες ως προς το ατομικό τους βάρος έχουν παρόμοια χημική συμπεριφορά.
- Ο νόμος αυτός ονομάστηκε νόμος των οκτάβων (the law of octaves).





Περιοδικός πίνακας των στοιχείων

- Το 1869 ο Ρώσος Χημικός Dmitri Mendeleev (1837-1907) και ο Γερμανός Χημικός Lothar Meyer (1830-1895), ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο δημοσίευσαν σχεδόν ίδιους περιοδικούς πίνακες των στοιχείων.



Ο Mendeleev
στηρίχθηκε κυρίως
στις χημικές
ιδιότητες των
στοιχείων

Dmitri Mendeleev



Ο Meyer
στηρίχθηκε κυρίως
στις φυσικές
ιδιότητες των
στοιχείων

Lothar Meyer



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων

- Ο Mendeleev ταξινόμησε τα 62 γνωστά για την εποχή στοιχεία **κατά σειρά αυξανόμενου ατομικού βάρους**, έτσι ώστε τα στοιχεία με παρόμοιες χημικές ιδιότητες να βρίσκονται στην ίδια στήλη του πίνακα.
- Παρατήρησε ότι οι φυσικές και χημικές ιδιότητες των στοιχείων επαναλαμβάνονται περιοδικά κατά την αύξηση του ατομικού βάρους.
- Την εποχή εκείνη δεν ήταν ακόμα γνωστή η έννοια του ατομικού αριθμού.
- Κατά κανόνα, το ατομικό βάρος αυξάνεται με την αύξηση του ατομικού αριθμού.



Περιοδικός πίνακας του Mendeleev του 1872

REIHEN	GRUPPE I – R ² O	GRUPPE II – RO	GRUPPE III – R ² O ³	GRUPPE IV RH ⁴ RO ²	GRUPPE V RH ³ R ² O ⁵	GRUPPE VI RH ² RO ³	GRUPPE VII RH R ² O ⁷	GRUPPE VIII – RO ⁴
1	H = 1							
2	Li = 7	Be = 9,4	B = 11	C = 12	N = 14	O = 16	F = 19	
3	Na = 23	Mg = 24	Al = 27,3	Si = 28	P = 31	S = 32	Cl = 35,5	
4	K = 39	Ca = 40	– = 44	Ti = 48	V = 51	Cr = 52	Mn = 55	Fe = 56, Co = 59, Ni = 59, Cu = 63.
5	(Cu = 63)	Zn = 65	– = 68	– = 72	As = 75	Se = 78	Br = 80	
6	Rb = 85	Sr = 87	?Yt = 88	Zr = 90	Nb = 94	Mo = 96	– = 100	Ru = 104, Rh = 104, Pd = 106, Ag = 108.
7	(Ag = 108)	Cd = 112	In = 113	Sn = 118	Sb = 122	Te = 125	J = 127	
8	Cs = 133	Ba = 137	?Di = 138	?Ce = 140	–	–	–	– – – –
9	(–)	–	–	–	–	–	–	
10	–	–	?Er = 178	?La = 180	Ta = 182	W = 184	–	Os = 195, Ir = 197, Pt = 198, Au = 199.
11	(Au = 199)	Hg = 200	Tl = 204	Pb = 207	Bi = 208	–	–	
12	–	–	–	Th = 231	–	U = 240	–	– – – –

- Ο Mendeleev άφησε κενά για τα άγνωστα στοιχεία, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις προέβλεψε τις ιδιότητές τους.
- Λίγα χρόνια αργότερα η ανακάλυψη κάποιων εξ αυτών επιβεβαίωσε την ορθότητα των προβλέψεών του.



Περιοδικός πίνακας του Mendeleev

- Σύγκριση των ιδιοτήτων μεταξύ του στοιχείου eka-aluminum όπως το ονόμασε ο Mendeleev και του γαλλίου (Ga).

Ιδιότητα	Πρόβλεψη του Mendeleev	Πραγματικές τιμές
Ατομική μάζα	Περίπου 68 amu	69,723 amu
Σημείο τήξης	χαμηλό	29,8 °C
Πυκνότητα	5,9 g/cm ³	5,90 g/cm ³
Χημικός τύπος του οξειδίου	X ₂ O ₃	Ca ₂ O ₃
Χημικός τύπος του χλωριδίου	XCl ₃	GaCl ₃



Περιοδικός πίνακας του Mendeleev

- Σύγκριση των ιδιοτήτων μεταξύ του στοιχείου eka-silicon όπως το ονόμασε ο Mendeleev και του γερμανίου (Ge).

TABLE 7.1 Comparison of the Properties of Eka-Silicon Predicted by Mendeleev with the Observed Properties of Germanium

Property	Mendeleev's Predictions for Eka-Silicon (made in 1871)	Observed Properties of Germanium (discovered in 1886)
Atomic weight	72	72.59
Density (g/cm ³)	5.5	5.35
Specific heat (J/g-K)	0.305	0.309
Melting point (°C)	High	947
Color	Dark gray	Grayish white
Formula of oxide	XO ₂	GeO ₂
Density of oxide (g/cm ³)	4.7	4.70
Formula of chloride	XCl ₄	GeCl ₄
Boiling point of chloride (°C)	A little under 100	84

Σύγχρονος περιοδικός πίνακας των στοιχείων

- Το 1913 ο Άγγλος Φυσικός Henry Moseley (1887-1915) διατύπωσε το **νόμο της περιοδικότητας (periodic law)**:
- Οι ιδιότητες των στοιχείων είναι **περιοδική συνάρτηση του ατομικού τους αριθμού**.
- Ο Moseley ήταν ο πρώτος ο οποίος μπόρεσε πειραματικά να μετρήσει άμεσα τον ατομικό αριθμό των στοιχείων μελετώντας τα φάσματα εκπομπής ακτίνων X των τότε γνωστών ατόμων.





Σύγχρονος περιοδικός πίνακας των στοιχείων

- Μέχρι τότε τα στοιχεία ήταν τοποθετημένα στον περιοδικό πίνακα κατά αυξανόμενο ατομικό βάρος.
- Ο Moseley βρήκε ότι μερικά στοιχεία δεν ήταν τοποθετημένα στη σωστή σειρά στον περιοδικό πίνακα γιατί ενώ είχαν μεγαλύτερο ατομικό αριθμό είχαν μικρότερο ατομικό βάρος, π.χ. Ar και K, Co και Ni, καθώς και Te και I.
- Βρήκε επίσης ότι υπήρχαν κενά στο περιοδικό πίνακα από στοιχεία που δεν είχαν ακόμη ανακαλυφθεί.
- Με βάση τα πειράματα του Moseley, στο σύγχρονο περιοδικό πίνακα των στοιχείων, **τα στοιχεία κατατάσσονται κατά αυξανόμενο ατομικό αριθμό, Z .**



Σύγχρονος περιοδικός πίνακας των στοιχείων

	I _A 1																	VIII _A 18
1	1 H 1,008 Υδρογόνο	2 He 4,002602 Ήλιο																
2	3 Li 6,94 Λίθιο	4 Be 9,012183 Βηρύλλιο										5 B 10,81 Βόριο	6 C 12,011 Ανθρακας	7 N 14,007 Αζωτο	8 O 15,999 Οξυγόνο	9 F 18,998403 Φθόριο	10 Ne 20,1797 Νέο	
3	11 Na 22,989769 Νάτριο	12 Mg 24,305 Μαγνήσιο										13 Al 26,981539 Αργίλιο	14 Si 28,085 Πυρίτιο	15 P 30,973762 Φωσφόρος	16 S 32,06 Θείο	17 Cl 35,45 Χλώριο	18 Ar 39,95 Αργό	
4	19 K 39,0983 Κάλιο	20 Ca 40,078 Ασβέστιο	21 Sc 44,955908 Σκάνδιο	22 Ti 47,867 Τιτάνιο	23 V 50,9415 Βανάδιο	24 Cr 51,9961 Χρώμιο	25 Mn 54,938043 Μαγγάνιο	26 Fe 55,845 Σίδηρος	27 Co 58,933194 Κοβάλτιο	28 Ni 58,6934 Νικέλιο	29 Cu 63,546 Χαλκός	30 Zn 65,38 Ψευδάργυρος	31 Ga 69,723 Γάλλιο	32 Ge 72,630 Γερμάνιο	33 As 74,921595 Αρσενικό	34 Se 78,971 Σελήνιο	35 Br 79,904 Βρώμιο	36 Kr 83,798 Κρυπτό
5	37 Rb 85,4678 Ρουβίδιο	38 Sr 87,62 Στρόντιο	39 Y 88,90584 Ύτριο	40 Zr 91,224 Ζιρκόνιο	41 Nb 92,90637 Νιόβιο	42 Mo 95,95 Μολυβδαίνιο	43 Tc [98] Τεχνητό	44 Ru 101,07 Ρουθένιο	45 Rh 102,90549 Ρόδιο	46 Pd 106,42 Παλλάδιο	47 Ag 107,8682 Αργυρος	48 Cd 112,414 Κάδμιο	49 In 114,818 Ινδίο	50 Sn 118,710 Κασσίτερος	51 Sb 121,760 Αντιμόνιο	52 Te 127,60 Τελουρίο	53 I 126,90447 Ιώδιο	54 Xe 131,293 Ξένο
6	55 Cs 132,90545 Καίσιο	56 Ba 137,327 Βάριο	57 La* 138,90547 Λανθάνιο	72 Hf 178,49 Αφνιο	73 Ta 180,94788 Ταντάλιο	74 W 183,84 Βολφράμιο	75 Re 186,207 Ρήνιο	76 Os 190,23 Οσμιο	77 Ir 192,217 Ιρίδιο	78 Pt 195,084 Λευκόχρυσος	79 Au 196,96657 Χρυσός	80 Hg 200,592 Υδράργυρος	81 Tl 204,38 Θάλλιο	82 Pb 207,2 Μόλυβδος	83 Bi 208,98040 Βισμούθιο	84 Po [208,98] Πολόνιο	85 At [209,99] Αστάτιο	86 Rn [222,02] Ραδόνιο
7	87 Fr [223,02] Φράγκιο	88 Ra [226,03] Ράδιο	89 Ac** [227,03] Ακτίνιο	104 Rf [267,1] Ραφερφόριο	105 Db [268,1] Ντούμπνιο	106 Sg [269,1] Σημπόργκιο	107 Bh [270,1] Μπόριο	108 Hs [269,1] Χάσσιο	109 Mt [278,2] Μεϊντέρτιο	110 Ds [281,2] Νταρμστάντιο	111 Rg [282,2] Ρεντγκέντιο	112 Cn [285,2] Κοπερνίκιο	113 Nh [286,2] Νιχόνιο	114 Fl [289,2] Φλερόβιο	115 Mc [289,2] Μοσχόβιο	116 Lv [293,2] Λιβερμόριο	117 Ts [293,2] Τεννессίνιο	118 Og [294,2] Ογκάνεσσον

* Λανθανίδες

** Ακτινίδες

58 Ce 140,116 Διμήτριο	59 Pr 140,90766 Προσεόδομιο	60 Nd 144,242 Νεοδόμιο	61 Pm [145] Προμήθειο	62 Sm 150,36 Σαμάριο	63 Eu 151,964 Ευρώπιο	64 Gd 157,25 Γαδολίνιο	65 Tb 158,92535 Τέρβιο	66 Dy 162,500 Δυσπρόσιο	67 Ho 164,93033 Όλμιο	68 Er 167,259 Έρβιο	69 Tm 168,93422 Θούλιο	70 Yb 173,045 Υττέριο	71 Lu 174,9668 Λουτέτιο
90 Th 232,0377 Θόριο	91 Pa 231,03588 Πρωακτίνιο	92 U 238,02891 Ουράνιο	93 Np [237,05] Ποσειδώνιο	94 Pu [244,06] Πλουτώνιο	95 Am [243,06] Αμερίκιο	96 Cm [247,07] Κιούριο	97 Bk [247,07] Μπερκέλιο	98 Cf [251,08] Καλιφόρνιο	99 Es [252,08] Αϊνστάινιο	100 Fm [257,10] Φέρμιο	101 Md [258,10] Μεντελέβιο	102 No [259,10] Νομπέλιο	103 Lr [262,11] Λωρέντζιο

	I _A 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
--	---------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



Περίοδοι και ομάδες

- Ο περιοδικός πίνακας αποτελείται από:
 - ✓ 7 σειρές: ονομάζονται **περίοδοι (periods)** και αντιστοιχούν στις 7 στιβάδες K, L, M, N, O, P και Q.
 - ✓ 18 στήλες: ονομάζονται **ομάδες (groups)**
- Μία **περίοδος** αποτελείται από τα στοιχεία τα οποία υπάρχουν σε καθεμιά οριζόντια σειρά του περιοδικού πίνακα.
- Μία **ομάδα** αποτελείται από τα στοιχεία τα οποία υπάρχουν σε καθεμιά στήλη του περιοδικού πίνακα.



Περίοδοι και ομάδες

- Τα στοιχεία τα οποία ανήκουν στην ίδια ομάδα του περιοδικού πίνακα έχουν παρεμφερείς φυσικές και χημικές ιδιότητες.
- Τα στοιχεία τα οποία ανήκουν στην ίδια περίοδο έχουν ιδιότητες οι οποίες μεταβάλλονται προοδευτικά κατά την αύξηση του ατομικού αριθμού.



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 1^η περίοδος

- 1^η περίοδος: συμπληρώνεται με ηλεκτρόνια η 1^η στιβάδα (K) η οποία αποτελείται από ένα μόνο τροχιακό, συγκεκριμένα το τροχιακό 1s, το οποίο μπορεί να δεχθεί συνολικά 2 ηλεκτρόνια.
- Άρα η 1^η περίοδος αποτελείται από 2 στοιχεία, το υδρογόνο, ${}_1\text{H}$, και το ήλιο, ${}_2\text{He}$.
- ✓ ${}_1\text{H}: 1s^1$
- ✓ ${}_2\text{He}: 1s^2$



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 2^η περίοδος

- 2^η περίοδος: συμπληρώνεται με ηλεκτρόνια η 2^η στιβάδα (L), η οποία αποτελείται από τέσσερα τροχιακά:
 - ✓ τροχιακό 2s (ένα σε πλήθος)
 - ✓ τροχιακά 2p (τρία σε πλήθος)
- Τα τροχιακά αυτά μπορούν να δεχθούν συνολικά 8 ηλεκτρόνια.
- Άρα η 2^η περίοδος αποτελείται από 8 στοιχεία, από το λίθιο, ${}_3\text{Li}$, έως το νέο, ${}_{10}\text{Ne}$.



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 1^η και 2^η περίοδος

Στοιχείο	Ηλεκτρονιακή διαμόρφωση	1s	2s	2p
₁ H	1s ¹	↑		
₂ He	1s ²	↑↓		
₃ Li	1s ² 2s ¹	↑↓	↑	
₄ Be	1s ² 2s ²	↑↓	↑↓	
₅ B	1s ² 2s ² 2p ¹	↑↓	↑↓	↑
₆ C	1s ² 2s ² 2p ²	↑↓	↑↓	↑ ↑
₇ N	1s ² 2s ² 2p ³	↑↓	↑↓	↑ ↑ ↑
₈ O	1s ² 2s ² 2p ⁴	↑↓	↑↓	↑↓ ↑ ↑
₉ F	1s ² 2s ² 2p ⁵	↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑
₁₀ Ne	1s ² 2s ² 2p ⁶	↑↓	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων

- Η τελευταία στιβάδα στην οποία τοποθετούνται ηλεκτρόνια ονομάζεται **εξωτερική στιβάδα**.
- Τα ευγενή αέρια (ομάδα VIII_A ή 18 του περιοδικού πίνακα) He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn έχουν συμπληρωμένα s και p τροχιακά στην εξωτερική τους στιβάδα ($ns^2 np^6$), γεγονός το οποίο τους προσδίδει ιδιαίτερη χημική σταθερότητα.
- Η ηλεκτρονιακή διάταξη των στοιχείων μπορεί να γραφτεί και ως εξής:
- Έστω για παράδειγμα το άτομο του αζώτου, N:
 ${}_7\text{N}: 1s^2 2s^2 2p^3$ ή $[\text{He}] 2s^2 2p^3$



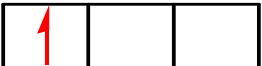
Ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις των ατόμων

- Ο συμβολισμός [He] αντιστοιχεί στην ηλεκτρονιακή διαμόρφωση του ηλίου.
- **Συμπυκνωμένες ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις των ατόμων:**
γράφεται μέσα σε αγκύλες το σύμβολο του πιο κοντινού ευγενούς αερίου με μικρότερο ατομικό αριθμό (ο συμβολισμός αυτός αναπαριστά την ηλεκτρονιακή διαμόρφωση του ευγενούς αερίου) ακολουθούμενο από τα υπόλοιπα τροχιακά.
- Παραδείγματα:
 - ✓ ${}_3\text{Li}: [\text{He}] 2s^1,$
 - ✓ ${}_8\text{O}: [\text{He}] 2s^2 2p^4$



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 2^η περίοδος

➤ 2^η περίοδος του περιοδικού πίνακα

Στοιχείο	Ηλεκτρονιακή διαμόρφωση		1s	2s	2p
₃ Li	$1s^2 2s^1$	[He] $2s^1$			
₄ Be	$1s^2 2s^2$	[He] $2s^2$			
₅ B	$1s^2 2s^2 2p^1$	[He] $2s^2 2p^1$			
₆ C	$1s^2 2s^2 2p^2$	[He] $2s^2 2p^2$			
₇ N	$1s^2 2s^2 2p^3$	[He] $2s^2 2p^3$			
₈ O	$1s^2 2s^2 2p^4$	[He] $2s^2 2p^4$			
₉ F	$1s^2 2s^2 2p^5$	[He] $2s^2 2p^5$			
₁₀ Ne	$1s^2 2s^2 2p^6$	[He] $2s^2 2p^6$			



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 3^η περίοδος

- 3^η περίοδος: συμπληρώνονται με ηλεκτρόνια κατά σειρά τα εξής τροχιακά:
 - ✓ τροχιακό 3s (ένα σε πλήθος)
 - ✓ τροχιακά 3p (τρία σε πλήθος) } 3^η στιβάδα (M)
- Συνολικά μπορούν να δεχθούν 8 ηλεκτρόνια.
- Άρα η 3^η περίοδος αποτελείται επίσης από οκτώ στοιχεία, από το νάτριο, $_{11}\text{Na}$, έως το αργό, $_{18}\text{Ar}$.



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 3^η περίοδος

➤ 3^η περίοδος του περιοδικού πίνακα:

Στοιχείο	Ηλεκτρονιακή διαμόρφωση	3s	3p
₁₁ Na	[Ne] 3s ¹	↑	
₁₂ Mg	[Ne] 3s ²	↑↓	
₁₃ Al	[Ne] 3s ² 3p ¹	↑↓	↑
₁₄ Si	[Ne] 3s ² 3p ²	↑↓	↑ ↑
₁₅ P	[Ne] 3s ² 3p ³	↑↓	↑ ↑ ↑
₁₆ S	[Ne] 3s ² 3p ⁴	↑↓	↑↓ ↑ ↑
₁₇ Cl	[Ne] 3s ² 3p ⁵	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑
₁₈ Ar	[Ne] 3s ² 3p ⁶	↑↓	↑↓ ↑↓ ↑↓



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 4^η περίοδος

- 4^η περίοδος: συμπληρώνονται με ηλεκτρόνια κατά σειρά τα εξής τροχιακά:
 - ✓ τροχιακό 4s (ένα σε πλήθος) της 4^{ης} στιβάδας (N)
 - ✓ τροχιακά 3d (πέντε σε πλήθος) της 3^{ης} στιβάδας (M)
 - ✓ τροχιακά 4p (τρία σε πλήθος) της 4^{ης} στιβάδας (N).
- Συνολικά μπορούν να δεχθούν 18 ηλεκτρόνια.
- Άρα η 4^η περίοδος αποτελείται από 18 στοιχεία, από το κάλιο, $_{19}\text{K}$, έως το κρυπτό, $_{36}\text{Kr}$.



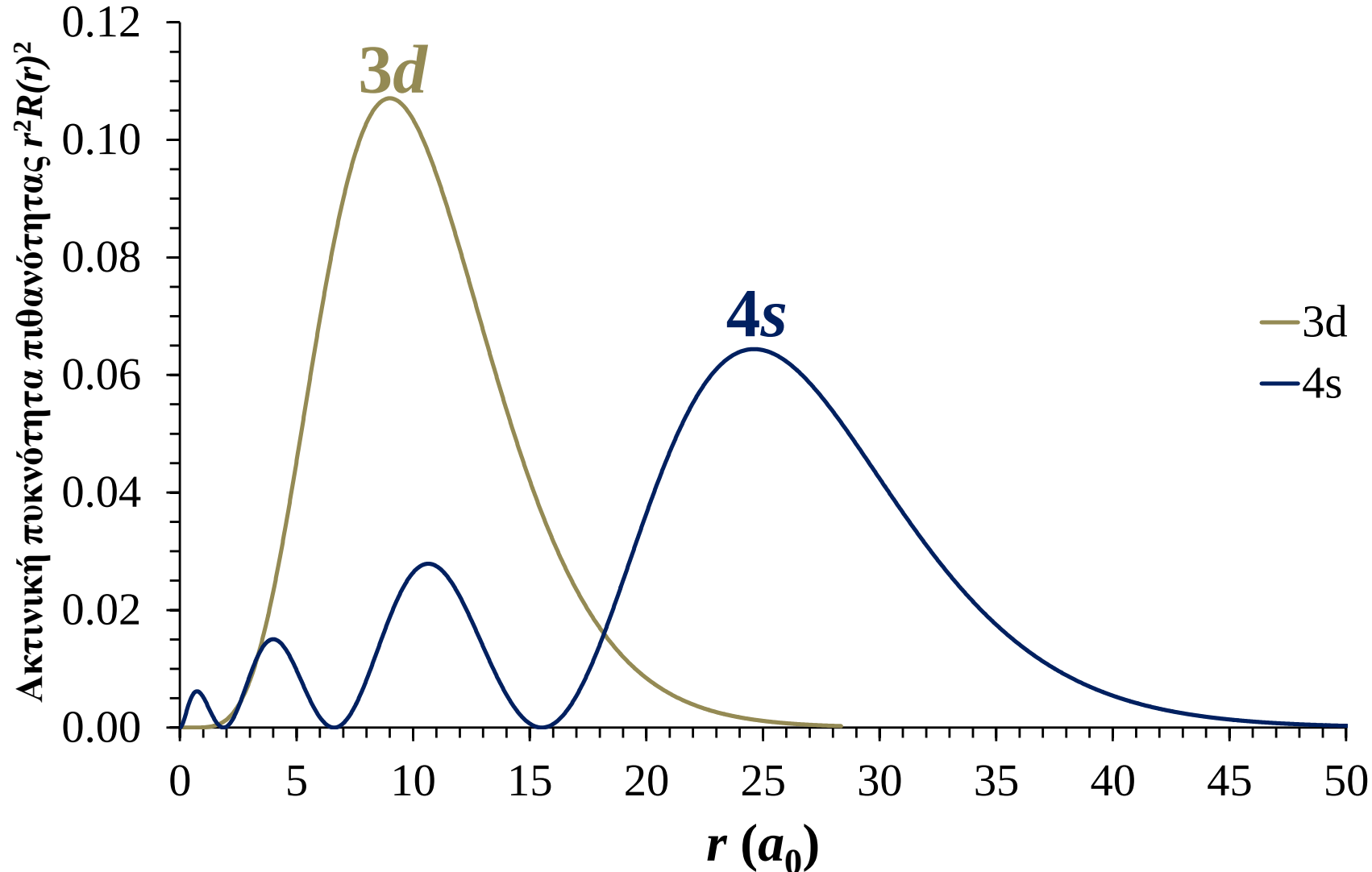
Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 4^η περίοδος

- Η τέταρτη περίοδος ξεκινάει με το στοιχείο κάλιο, $_{19}\text{K}$.
- Τα πρώτα 18 ηλεκτρόνια τοποθετούνται σε τροχιακά ως εξής: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$
- Για το 19^ο ηλεκτρόνιο υπάρχουν δύο επιλογές:
 - ✓ το τροχιακό $4s$
 - ✓ τα τροχιακά $3d$.
- Τα τροχιακά $4s$ και $3d$ έχουν παραπλήσια ενέργεια.
- Σε ποιο τροχιακό θα τοποθετηθεί το 19^ο ηλεκτρόνιο του καλίου, K: στο $4s$ ή στο $3d$???



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 4^η περίοδος

- Σε ποιο τροχιακό θα τοποθετηθεί το 19^ο ηλεκτρόνιο: στο 4s ή στο 3d???





Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 4^η περίοδος

- Στο άτομο του καλίου, K, το τροχιακό 4s έχει μικρότερη ενέργεια από το τροχιακό 3d λόγω της μεγαλύτερης διεισδυτικής ικανότητας του τροχιακού 4s σε σύγκριση με τα τροχιακά 3d.
- Κατά συνέπεια, η ηλεκτρονιακή διαμόρφωση του καλίου θα είναι:
 $_{19}\text{K}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$ ή $[\text{Ar}] 4s^1$.
- Ομοίως, στο ασβέστιο $_{20}\text{Ca}$ θα έχουμε:
- $_{20}\text{Ca}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$ ή $[\text{Ar}] 4s^2$.
- Το επόμενο στοιχείο του περιοδικού πίνακα είναι το σκάνδιο, $_{21}\text{Sc}$.



Μεταβατικά στοιχεία

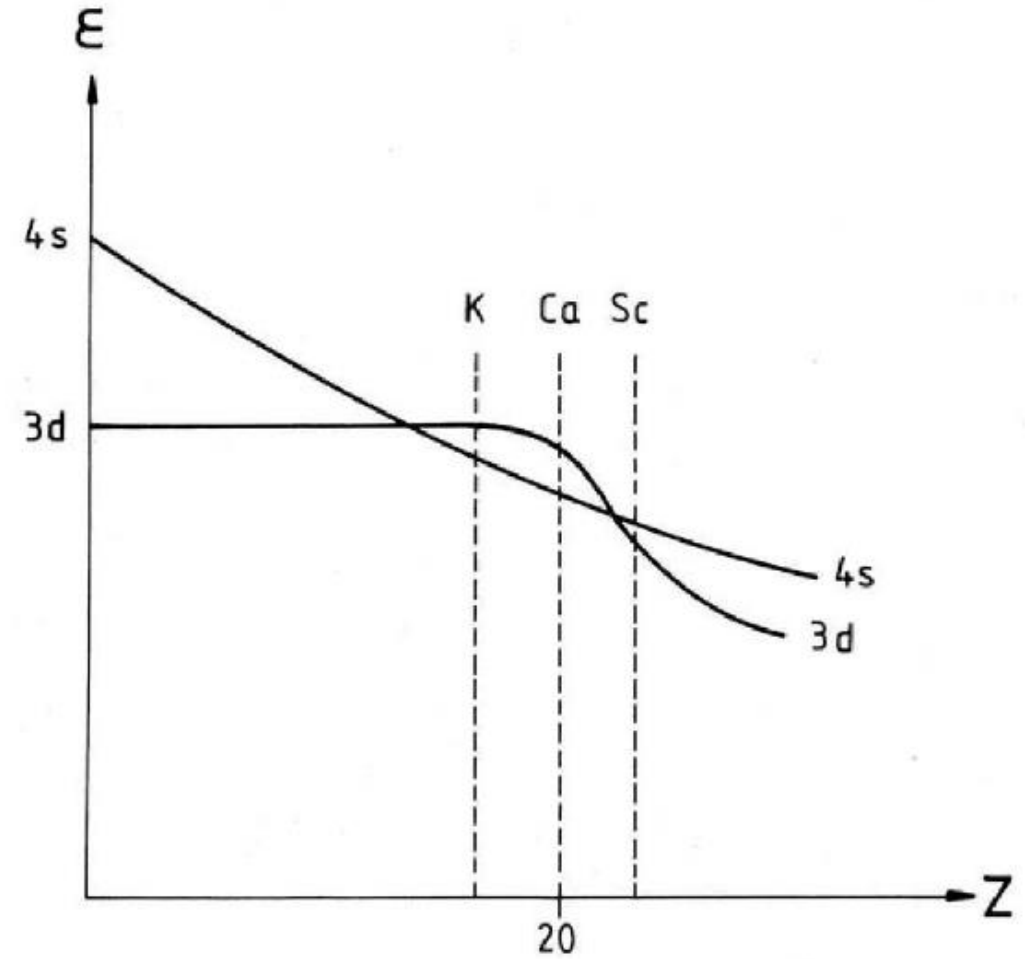
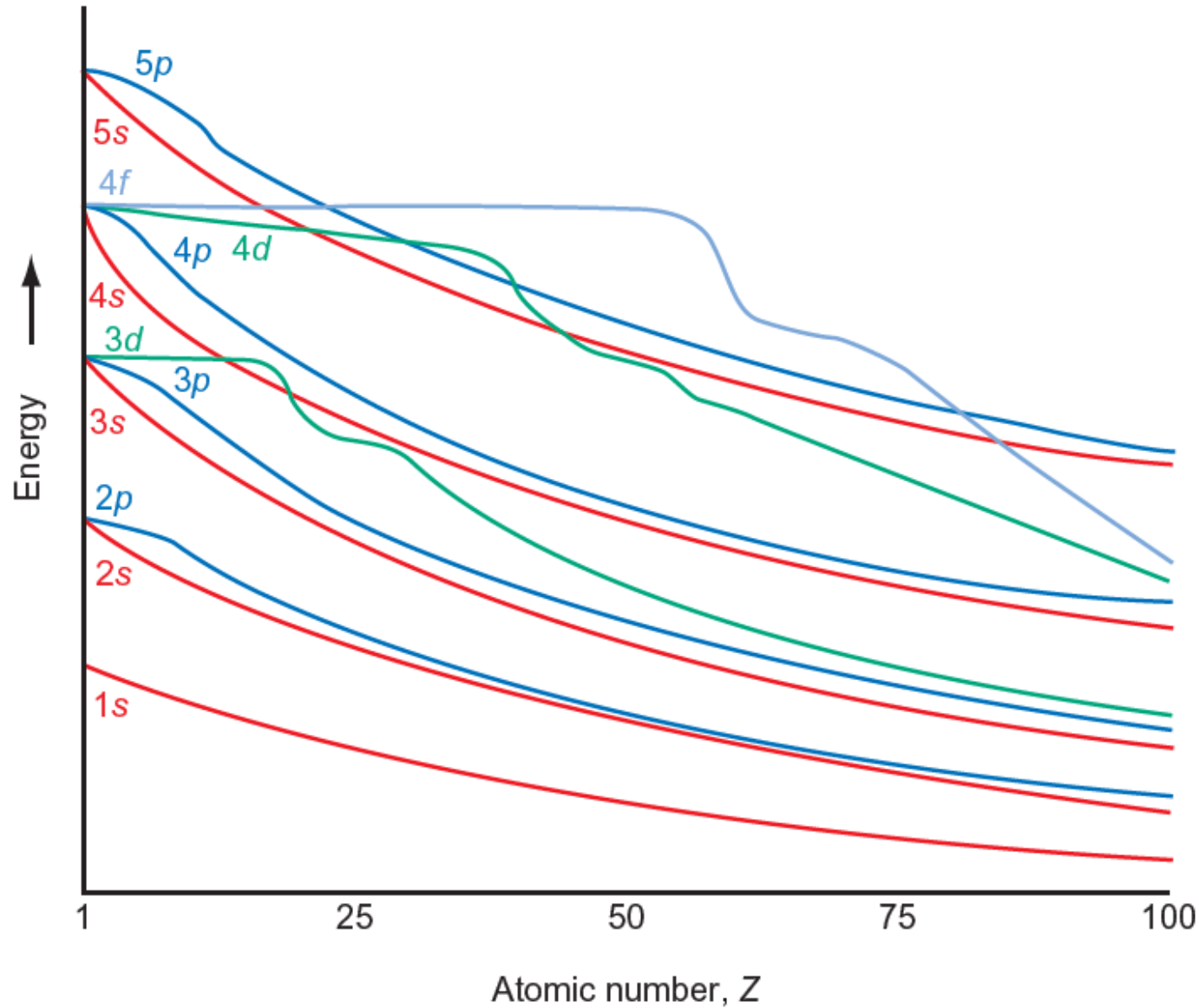
- Τα στοιχεία των οποίων συμπληρώνονται τα d τροχιακά ονομάζονται **μεταβατικά στοιχεία ή μέταλλα** (transition elements or metals).
- Ανήκουν στις ομάδες 3 έως 12 του περιοδικού πίνακα.
- Η πρώτη σειρά των μεταβατικών στοιχείων βρίσκεται στην 4^η περίοδο του περιοδικού πίνακα και περιλαμβάνει 10 στοιχεία: από το σκάνδιο, $_{21}\text{Sc}$, έως τον ψευδάργυρο $_{30}\text{Zn}$.
- Ποια είναι η ηλεκτρονιακή διαμόρφωση του σκανδίου?



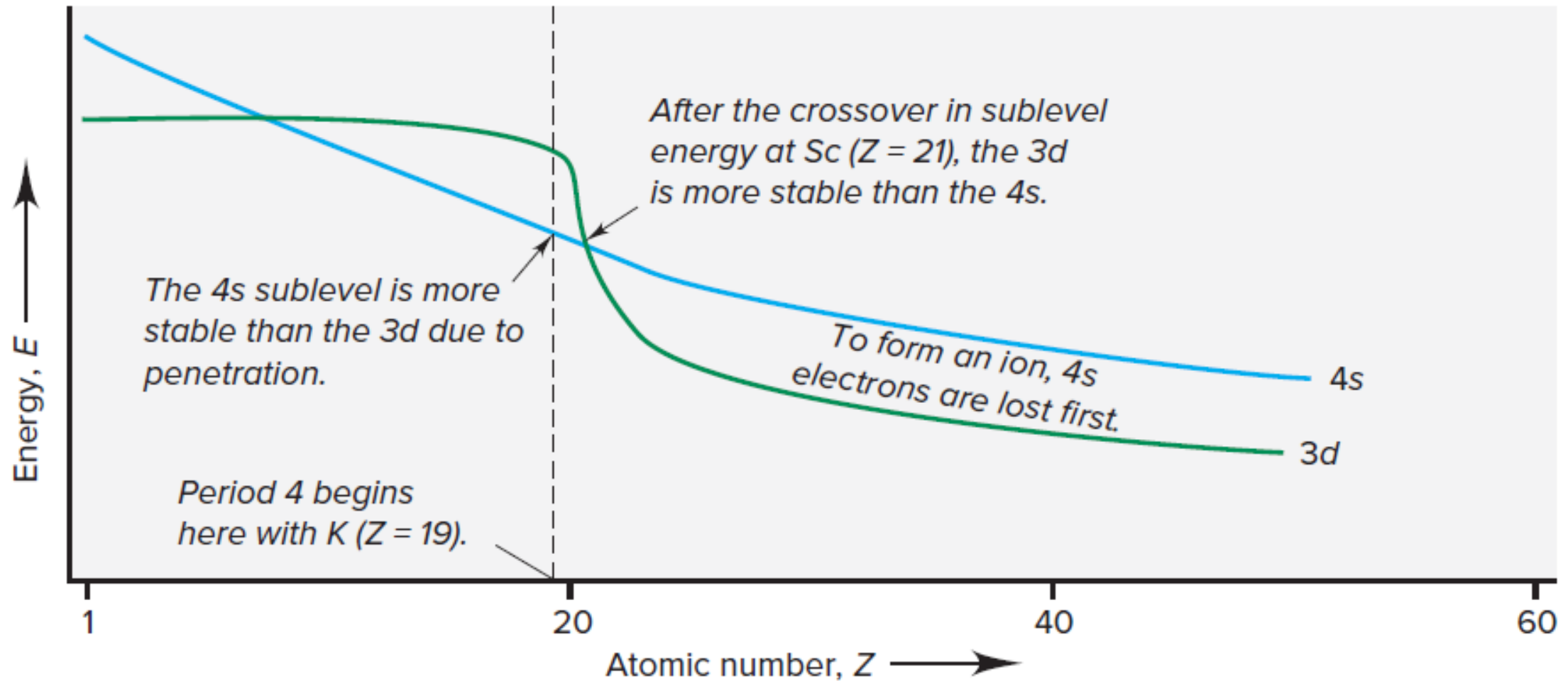
Μεταβατικά στοιχεία

- Στο άτομο του σκανδίου, το 21^ο ηλεκτρόνιο τοποθετείται στο 3d τροχιακό.
- Κατά συνέπεια, η ηλεκτρονιακή διαμόρφωση του σκανδίου θα είναι: $_{21}\text{Sc}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1 4s^2$ ή $[\text{Ar}] 3d^1 4s^2$.
- Ωστόσο, στο σκάνδιο, η ενέργεια των τροχιακών 3d είναι μικρότερη από την ενέργεια του τροχιακού 4s!!!
- Αυτό συμβαίνει παρά το γεγονός ότι το τροχιακό 4s έχει μεγαλύτερη διεισδυτική ικανότητα σε σύγκριση με τα τροχιακά 3d.
- Το ίδιο ισχύει και για τα υπόλοιπα μεταβατικά στοιχεία της 4^{ης} περιόδου, δηλαδή μέχρι και τον ψευδάργυρο, Zn.

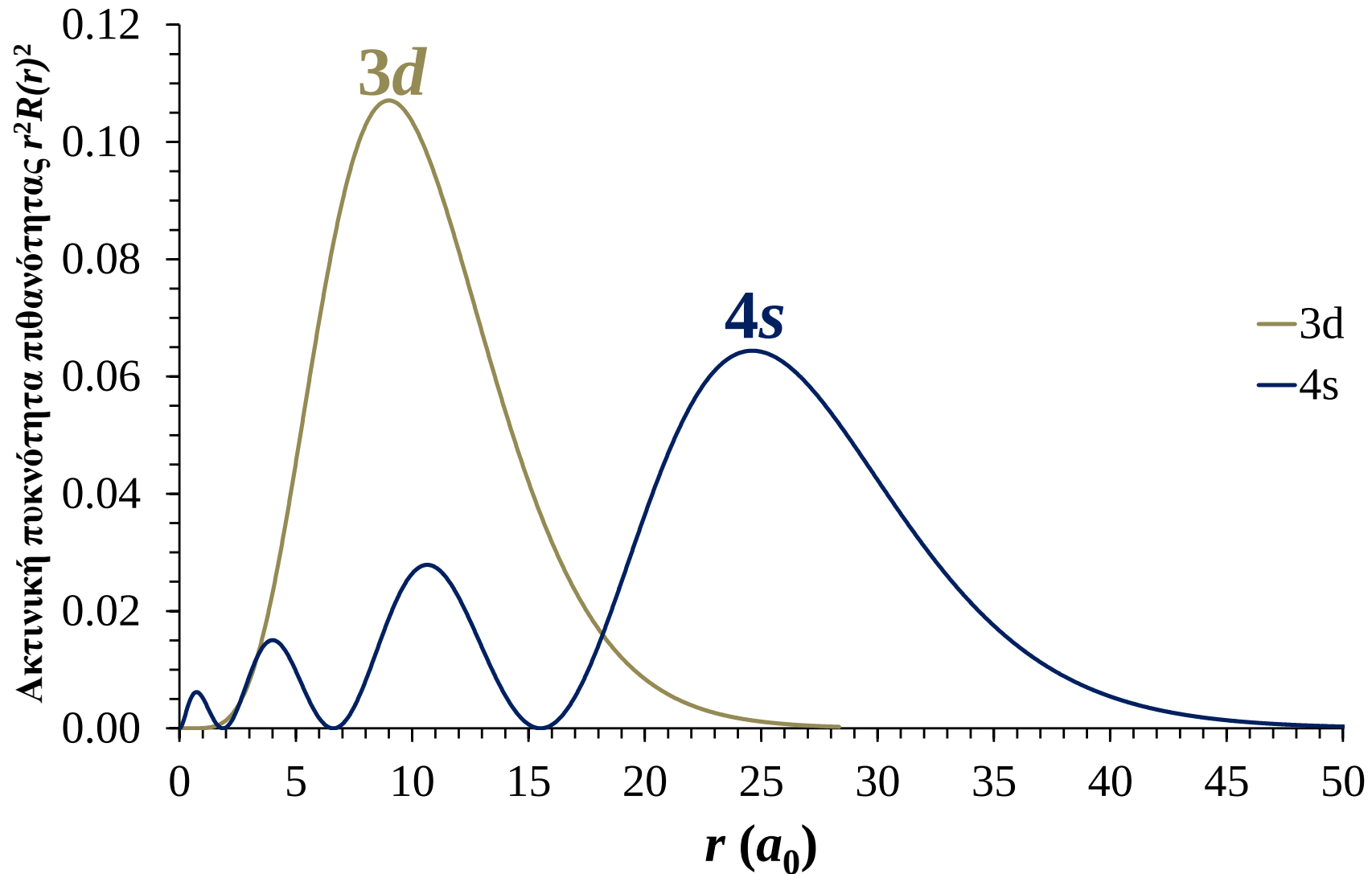
Σχετικές ενέργειες των τροχιακών



Σχετικές ενέργειες των τροχιακών



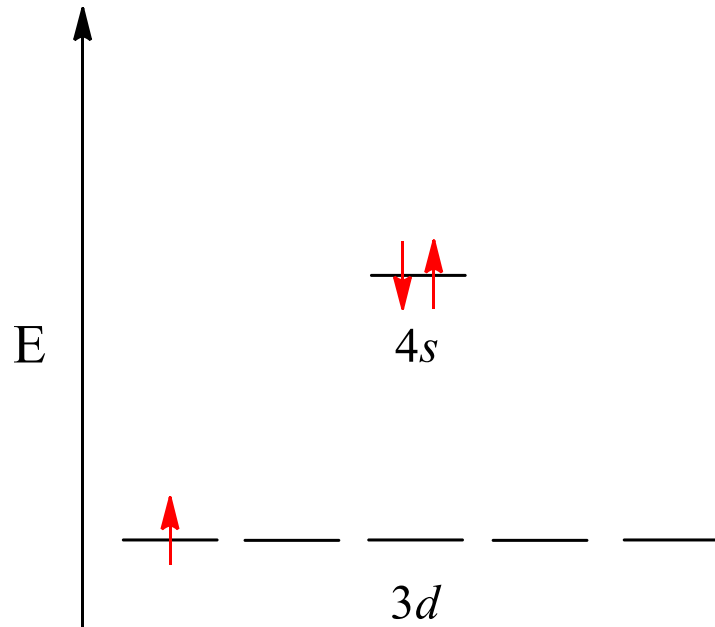
Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 4^η περίοδος



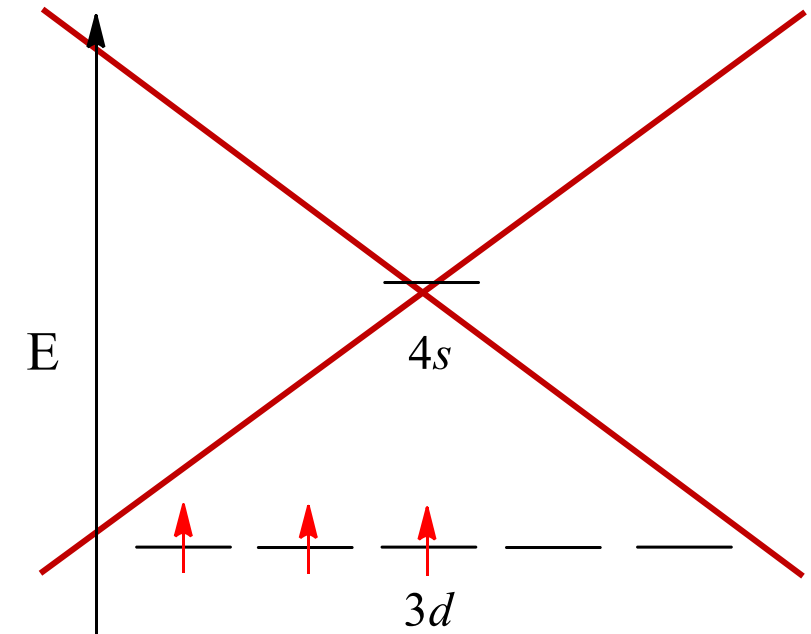


Σχετικές ενέργειες των τροχιακών $3d$ και $4s$

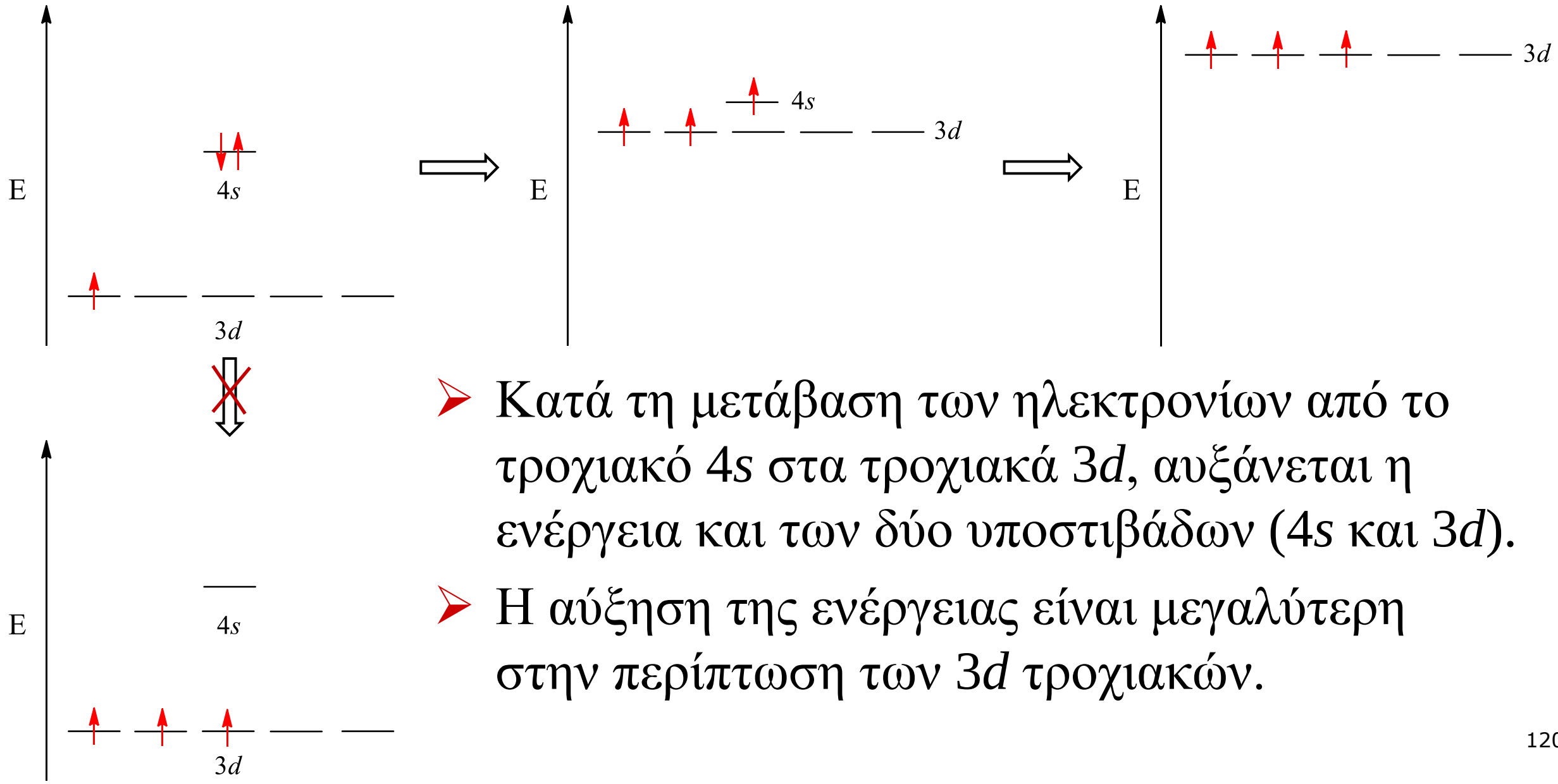
- Αφού τα τροχιακά $3d$ έχουν μικρότερη ενέργεια από το $4s$, τότε γιατί τα 3 ηλεκτρόνια δεν τοποθετούνται όλα στα τροχιακά $3d$???
- Δηλαδή, γιατί η ηλεκτρονιακή διαμόρφωση του σκανδίου είναι $_{21}\text{Sc}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 \mathbf{3d^1 4s^2}$ ή $[\text{Ar}] \mathbf{3d^1 4s^2}$ και όχι $_{21}\text{Sc}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 \mathbf{3d^3}$ ή $[\text{Ar}] \mathbf{3d^3}$???



γιατί όχι???



Σχετικές ενέργειες των τροχιακών $3d$ και $4s$

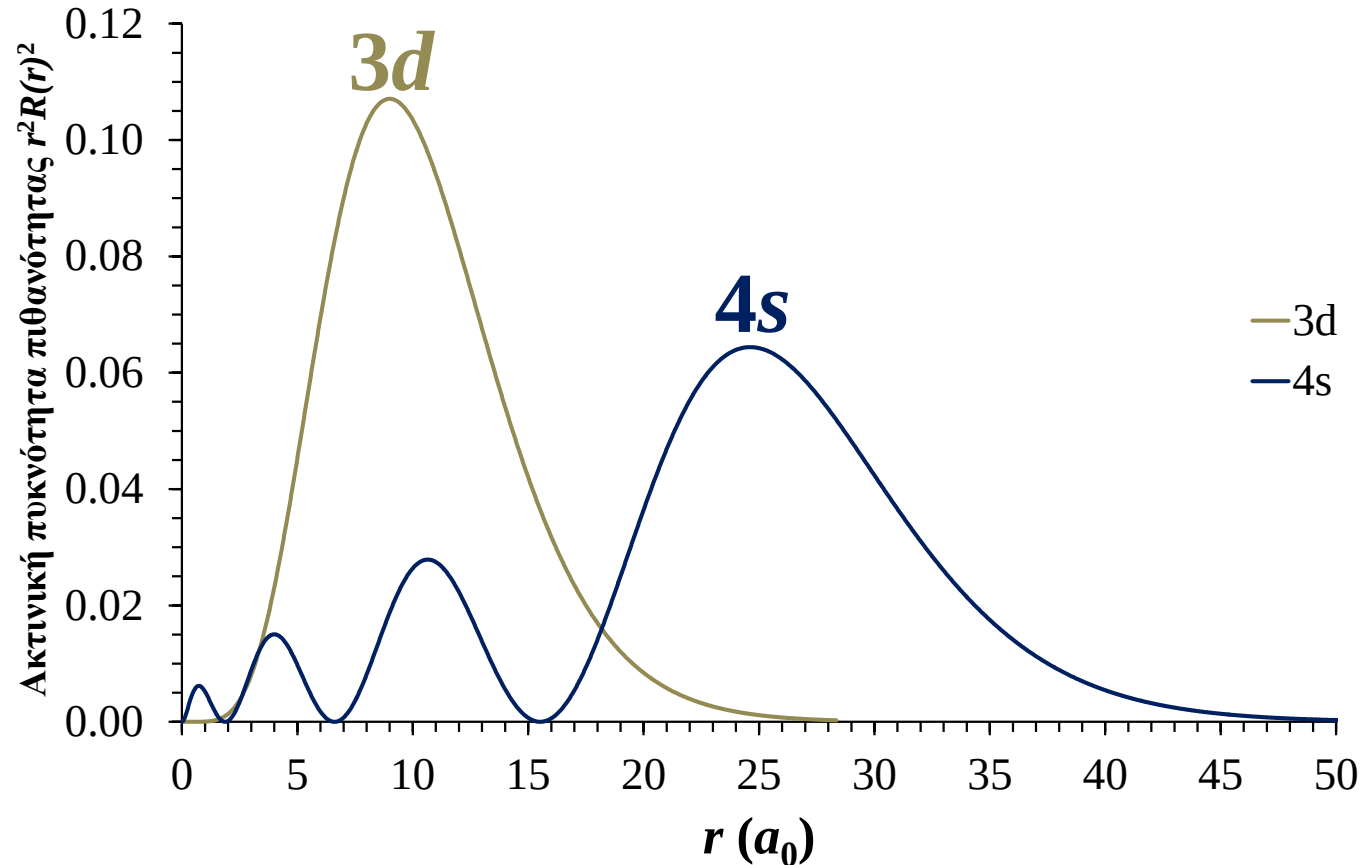


- Κατά τη μετάβαση των ηλεκτρονίων από το τροχιακό $4s$ στα τροχιακά $3d$, αυξάνεται η ενέργεια και των δύο υποστιβάδων ($4s$ και $3d$).
- Η αύξηση της ενέργειας είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση των $3d$ τροχιακών.



Σχετικές ενέργειες των τροχιακών $3d$ και $4s$

- Κατά συνέπεια, η συνολική ενέργεια του ατόμου του σκανδίου αυξάνεται ως εξής: $[\text{Ar}] 3d^1 4s^2 < [\text{Ar}] 3d^2 4s^1 < [\text{Ar}] 3d^3$.
- Γιατί συμβαίνει αυτό?





Σχετικές ενέργειες των τροχιακών $3d$ και $4s$

- Για να γίνει κατανοητή αυτή η συμπεριφορά, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι απωστικές δυνάμεις μεταξύ των ηλεκτρονίων στα $3d$ και $4s$ τροχιακά.
- Τα τροχιακά $3d$ είναι πιο «συμπαγή» ενώ το τροχιακό $4s$ εκτείνεται σε μεγαλύτερη απόσταση από τον πυρήνα.
- Συνεπώς, η μέση απόσταση από τον πυρήνα ενός $3d$ ηλεκτρονίου είναι μικρότερη από εκείνη ενός $4s$ ηλεκτρονίου.
- Άρα, δύο ηλεκτρόνια τοποθετημένα σε τροχιακά $3d$ βρίσκονται πιο κοντά μεταξύ τους σε σύγκριση με δύο ηλεκτρόνια τοποθετημένα σε τροχιακά $4s$.



Σχετικές ενέργειες των τροχιακών $3d$ και $4s$

- Οπότε, οι απωστικές δυνάμεις μεταξύ των ηλεκτρονίων στα τροχιακά $3d$ είναι πιο ισχυρές σε σύγκριση με τις απωστικές δυνάμεις μεταξύ των ηλεκτρονίων στα τροχιακά $4s$.
- Με βάση όλα τα παραπάνω, προκύπτει ότι η ηλεκτρονιακή διαμόρφωση $[\text{Ar}] 3d^1 4s^2$ έχει μικρότερη ενέργεια σε σύγκριση με τις ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις $[\text{Ar}] 3d^2 4s^1$ και $[\text{Ar}] 3d^3$.
- Άρα, η ενεργειακά ευνοϊκή ηλεκτρονιακή διαμόρφωση του σκανδίου είναι $[\text{Ar}] 3d^1 4s^2$ γιατί ελαχιστοποιούνται οι ισχυρές απωστικές δυνάμεις μεταξύ των $3d$ ηλεκτρονίων.
- Η ολική ενέργεια του ατόμου είναι μικρότερη παρά το ότι βρίσκονται ηλεκτρόνια στο υψηλότερης ενέργειας τροχιακό $4s$.



Σχετικές ενέργειες των τροχιακών $3d$ και $4s$

- Όλα τα παραπάνω συμπεράσματα ισχύουν για όλα τα μεταβατικά στοιχεία της 4^{ης} περιόδου.
- Οι ηλεκτρονικές διαμορφώσεις των μεταβατικών στοιχείων της 4^{ης} περιόδου είναι της μορφής $[\text{Ar}] 3d^k 4s^2$, όπου $k = 1$ για το σκάνδιο και $k = 10$ για τον ψευδάργυρο, Zn.
- Ωστόσο, υπάρχουν δύο αξιοσημείωτες εξαιρέσεις, συγκεκριμένα το χρώμιο, Cr, με ηλεκτρονική διαμόρφωση $[\text{Ar}] 3d^5 4s^1$, και ο χαλκός Cu, με ηλεκτρονική διαμόρφωση $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^1$.



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 4^η περίοδος

➤ 4^η περίοδος του περιοδικού πίνακα:

		3d	4s
¹⁹ K	[Ar] 4s ¹		↑
²⁰ Ca	[Ar] 4s ²		↑↓
²¹ Sc	[Ar] 3d ¹ 4s ²	↑	↑↓
²² Ti	[Ar] 3d ² 4s ²	↑ ↑	↑↓
²³ V	[Ar] 3d ³ 4s ²	↑ ↑ ↑	↑↓
²⁴ Cr	[Ar] 3d ⁵ 4s ¹	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	↑
²⁵ Mn	[Ar] 3d ⁵ 4s ²	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	↑↓
²⁶ Fe	[Ar] 3d ⁶ 4s ²	↑↓ ↑ ↑ ↑ ↑	↑↓
²⁷ Co	[Ar] 3d ⁷ 4s ²	↑↓ ↑↓ ↑ ↑ ↑	↑↓

Εξαίρεση!!!



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 4^η περίοδος

➤ 4^η περίοδος του περιοδικού πίνακα:

		3d	4s	4p
²⁸ Ni	[Ar] 3d ⁸ 4s ²			
²⁹ Cu	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹			<u>Εξάιρεση!!!</u>
³⁰ Zn	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ²			
³¹ Ga	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹			
³² Ge	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ²			
³³ As	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ³			
³⁴ Se	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴			
³⁵ Br	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵			
³⁶ Kr	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶			



Ημισυμπληρωμένα d τροχιακά

- Στο χρώμιο, $_{24}\text{Cr}$, εξακολουθεί η ενέργεια των τροχιακών $3d$ να είναι μικρότερη από την ενέργεια των τροχιακών $4s$.
- Ωστόσο, οι ενέργειες των τροχιακών αυτών είναι σχεδόν παραπλήσιες.
- Η πιο ευσταθής ηλεκτρονιακή διαμόρφωση προκύπτει κατά την τοποθέτηση 6 ηλεκτρονίων με παράλληλο spin (κανόνας του Hund) σε 6 τροχιακά της ίδιας περίπου ενέργειας.
- Άρα η διαμόρφωση $[\text{Ar}] 3d^5 4s^1$ είναι χαμηλότερης ενέργειας από την διαμόρφωση $[\text{Ar}] 3d^4 4s^2$.



Συμπληρωμένα d τροχιακά

- Ομοίως, στο χαλκό, $_{29}\text{Cu}$, οι ενέργειες των τροχιακών $3d$ και $4s$ είναι παραπλήσιες, ενώ εξακολουθεί η ενέργεια των $3d$ τροχιακών να είναι μικρότερη από την ενέργεια του $4s$ τροχιακού.
- Η διαμόρφωση $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^1$ έχει χαμηλότερη ενέργεια και είναι πιο σταθερή σε σύγκριση με την διαμόρφωση $[\text{Ar}] 3d^9 4s^2$.
- Η ηλεκτρονιακή αυτή διαμόρφωση χαρακτηρίζεται από συμπληρωμένα d τροχιακά.
- Οι ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις με ημι-συμπληρωμένα ή συμπληρωμένα d τροχιακά εμφανίζουν σχετική σταθερότητα έναντι άλλων ηλεκτρονιακών διαμορφώσεων παραπλήσιας ενέργειας.



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 5^η περίοδος

- 5^η περίοδος: συμπληρώνονται με ηλεκτρόνια κατά σειρά τα εξής τροχιακά:
 - ✓ τροχιακό $5s$ (ένα σε πλήθος) της 5^{ης} στιβάδας (O)
 - ✓ τροχιακά $4d$ (πέντε σε πλήθος) της 4^{ης} στιβάδας (N)
 - ✓ τροχιακά $5p$ (τρία σε πλήθος) της 5^{ης} στιβάδας (O).
- Συνολικά μπορούν να δεχθούν 18 ηλεκτρόνια.
- Άρα η 5^η περίοδος αποτελείται επίσης από 18 στοιχεία, από το ρουβίδιο, $_{37}\text{Rb}$, έως το ξένο, $_{54}\text{Xe}$.



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 5^η περίοδος

- Η 5^η περίοδος ξεκινάει με το στοιχείο ρουβίδιο, $_{37}\text{Rb}$.
- Η ηλεκτρονιακή διαμόρφωση του ρουβιδίου είναι: $[\text{Kr}] 5s^1$.
- Ακολουθεί το στοιχείο στρόντιο, $_{38}\text{Sr}$, με ηλεκτρονιακή διαμόρφωση $[\text{Kr}] 5s^2$.
- Στη συνέχεια, από το ύτριο, $_{39}\text{Y}$, έως το κάδμιο $_{48}\text{Cd}$, (10 στοιχεία) συμπληρώνονται τα τροχιακά $4d$ και προκύπτει η δεύτερη σειρά των μεταβατικών στοιχείων.
- Οι ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις των στοιχείων της δεύτερης σειράς των μεταβατικών μετάλλων είναι της μορφής $[\text{Kr}] 4d^k 5s^2$, όπου $k = 1$ για το ύτριο και $k = 10$ για το κάδμιο, Cd , αλλά με αρκετές εξαιρέσεις!!!



Δεύτερη σειρά των μεταβατικών στοιχείων

- ✓ Ύτριο, $_{39}\text{Y}$: $[\text{Kr}] 4d^1 5s^2$
- ✓ Ζιρκόνιο, $_{40}\text{Zr}$: $[\text{Kr}] 4d^2 5s^2$
- ✓ Νιόβιο, $_{41}\text{Nb}$: $*[\text{Kr}] 4d^4 5s^1$
- ✓ Μολυβδαίνιο $_{42}\text{Mo}$: $*[\text{Kr}] 4d^5 5s^1$ (ημισυμπληρωμένα d τροχιακά)
- ✓ Τεχνητίο, $_{43}\text{Tc}$: $[\text{Kr}] 4d^5 5s^2$
- ✓ Ρουθήνιο $_{44}\text{Ru}$: $*[\text{Kr}] 4d^7 5s^1$
- ✓ Ρόδιο, $_{45}\text{Rh}$: $*[\text{Kr}] 4d^8 5s^1$
- ✓ Παλλάδιο, $_{46}\text{Pd}$: $*[\text{Kr}] 4d^{10}$
- ✓ Άργυρος, $_{47}\text{Ag}$: $*[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^1$ (συμπληρωμένα d τροχιακά).
- ✓ Κάδμιο, $_{48}\text{Cd}$: $[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^2$

132



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 5^η περίοδος

- Μετά την συμπλήρωση των τροχιακών $4d$, συμπληρώνονται με ηλεκτρόνια τα τροχιακά $5p$, από τα στοιχεία ίνδιο, $_{49}\text{In}$, έως ξένο, $_{54}\text{Xe}$:
- ✓ Ίνδιο, $_{49}\text{Y}$: $[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^2 5p^1$
 - ✓ Κασσίτερος, $_{50}\text{Sn}$: $[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^2 5p^2$
 - ✓ Αντιμόνιο, $_{51}\text{Sb}$: $[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^2 5p^3$
 - ✓ Τελλούριο, $_{52}\text{Te}$: $[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^2 5p^4$
 - ✓ Ιώδιο, $_{53}\text{I}$: $[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^2 5p^5$
 - ✓ Ξένο $_{54}\text{Xe}$: $[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^2 5p^6$



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 6^η περίοδος

- 6^η περίοδος: συμπληρώνονται με ηλεκτρόνια κατά σειρά τα εξής τροχιακά:
 - ✓ τροχιακό $6s$ (ένα σε πλήθος) της 6^{ης} στιβάδας (P)
 - ✓ τροχιακά $4f$ (επτά σε πλήθος) της 4^{ης} στιβάδας (N)
 - ✓ τροχιακά $5d$ (πέντε σε πλήθος) της 5^{ης} στιβάδας (O)
 - ✓ τροχιακά $6p$ (τρία σε πλήθος) της 6^{ης} στιβάδας (P).
- Συνολικά μπορούν να δεχθούν 32 ηλεκτρόνια.
- Άρα η 6^η περίοδος αποτελείται από 32 στοιχεία, από το καίσιο, ${}_{55}\text{Cs}$, έως το ραδόνιο, ${}_{86}\text{Rn}$.



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 6^η περίοδος

- Στο $_{55}\text{Cs}$ και στο $_{56}\text{Ba}$ τα επιπλέον ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν το τροχιακό $6s$.
- $_{55}\text{Cs}$: $[\text{Xe}] 6s^1$
- $_{56}\text{Ba}$: $[\text{Xe}] 6s^2$
- Στο επόμενο στοιχείο, το λανθάνιο $_{57}\text{La}$, το επιπλέον ηλεκτρόνιο καταλαμβάνει το τροχιακό $5d$: $_{57}\text{La} : [\text{Xe}] 5d^1 6s^2$
- Από το δημήτριο, $_{58}\text{Ce}$, έως το λουτέτσιο, $_{71}\text{Lu}$, (14 στοιχεία) τα επιπλέον ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν τα κενά $4f$ τροχιακά.

	I _A 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
--	---------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 6^η περίοδος

- Τα στοιχεία αυτά έχουν παρόμοιες χημικές ιδιότητες με το λανθάνιο και στη φύση απαντώνται συνήθως μαζί.
- Για αυτούς τους λόγους ονομάζονται **λανθανίδες (lanthanide elements)**.
- Στη συνέχεια, από το άφνιο, $_{72}\text{Hf}$, έως τον υδράργυρο, $_{80}\text{Hg}$, συμπληρώνονται τα τροχιακά $5d$ και προκύπτει η τρίτη σειρά των μεταβατικών στοιχείων.
- Κατόπιν, συμπληρώνονται τα τροχιακά $6p$, από το θάλλιο, $_{81}\text{Tl}$, έως το ραδόνιο, $_{86}\text{Rn}$.

138



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 7^η περίοδος

- 7^η περίοδος: συμπληρώνονται με ηλεκτρόνια κατά σειρά τα εξής τροχιακά:
 - ✓ τροχιακό $7s$ (ένα σε πλήθος) της 7^{ης} στιβάδας (Q)
 - ✓ τροχιακά $5f$ (επτά σε πλήθος) της 5^{ης} στιβάδας (O)
 - ✓ τροχιακά $6d$ (πέντε σε πλήθος) της 6^{ης} στιβάδας (P)
 - ✓ τροχιακά $7p$ (τρία σε πλήθος) της 7^{ης} στιβάδας (Q).
- Συνολικά μπορούν να δεχθούν 32 ηλεκτρόνια.
- Άρα η 7^η περίοδος αποτελείται επίσης από 32 στοιχεία, από το φράγκιο, $_{87}\text{Fr}$, έως το ογκάνεσσον $_{118}\text{Og}$.



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 7^η περίοδος

- Στο $_{87}\text{Fr}$ και στο $_{88}\text{Ra}$ τα επιπλέον ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν το τροχιακό $7s$.
- $_{87}\text{Fr}$: $[\text{Rn}] 7s^1$
- $_{88}\text{Ra}$: $[\text{Rn}] 7s^2$
- Στο επόμενο στοιχείο, το ακτίνιο, $_{89}\text{Ac}$, το επιπλέον ηλεκτρόνιο καταλαμβάνει το τροχιακό $6d$: $_{89}\text{Ac}$: $[\text{Rn}] 6d^1 7s^2$
- Από το θόριο, $_{90}\text{Th}$, έως το λωρέντσιο, $_{103}\text{Lr}$, (14 στοιχεία) τα επιπλέον ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν τα κενά $5f$ τροχιακά.
- Τα στοιχεία αυτά έχουν παρόμοιες χημικές ιδιότητες με το ακτίνιο και για αυτό το λόγο ονομάζονται **ακτινίδες (actinide elements)**.



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων: 7^η περίοδος

- Στη συνέχεια, από το ραδερφόρδιο, $_{104}\text{Rf}$, έως το κοπερνίκιο, $_{112}\text{Cn}$, συμπληρώνονται τα τροχιακά $6d$ και προκύπτει η τέταρτη σειρά των μεταβατικών στοιχείων.
- Τέλος, συμπληρώνονται τα τροχιακά $7p$, από το νιχόνιο, $_{113}\text{Nh}$, έως το ογκάνεσσον, $_{118}\text{Og}$.



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων

- Τα στοιχεία του περιοδικού πίνακα από το υδρογόνο μέχρι το ουράνιο $_{92}\text{U}$, εκτός από το τεχνητό $_{43}\text{Tc}$, δηλαδή συνολικά 91 στοιχεία απαντώνται στη φύση.
- Το τεχνητό $_{43}\text{Tc}$, καθώς και τα στοιχεία από το ποσειδώνιο $_{93}\text{Np}$ έως το ογκάνεσσον $_{118}\text{Og}$, δηλαδή συνολικά 27 στοιχεία, είναι τεχνητά και έχουν παρασκευαστεί σε επιταχυντές σωματιδίων.
- Τα περισσότερα τεχνητά στοιχεία είναι ραδιενεργά και βραχύβια.
- Ραδιενεργά είναι επίσης και μερικά από τα φυσικά στοιχεία όπως μεταξύ άλλων το πολώνιο $_{84}\text{Po}$, το ράδιο $_{88}\text{Ra}$, και το ουράνιο $_{92}\text{U}$.

Περιοδικός πίνακας των στοιχείων



																		VIII _A 18			
I _A 1																		2			
1 H 1s ¹		II _A 2														III _A 13	IV _A 14	V _A 15	VI _A 16	VII _A 17	10 Ne 1s ²
[He]		3 Li 2s ¹	4 Be 2s ²													5 B 2s ² 2p ¹	6 C 2s ² 2p ²	7 N 2s ² 2p ³	8 O 2s ² 2p ⁴	9 F 2s ² 2p ⁵	10 Ne 2s ² 2p ⁶
[Ne]		11 Na 3s ¹	12 Mg 3s ²	VIII _B												13 Al 3s ² 3p ¹	14 Si 3s ² 3p ²	15 P 3s ² 3p ³	16 S 3s ² 3p ⁴	17 Cl 3s ² 3p ⁵	18 Ar 3s ² 3p ⁶
				III _B 3	IV _B 4	V _B 5	VI _B 6	VII _B 7	8	9	10	I _B 11	II _B 12								
[Ar]		19 K 4s ¹	20 Ca 4s ²	21 Sc 3d ¹ 4s ²	22 Ti 3d ² 4s ²	23 V 3d ³ 4s ²	24 Cr 3d ⁵ 4s ¹	25 Mn 3d ⁵ 4s ²	26 Fe 3d ⁶ 4s ²	27 Co 3d ⁷ 4s ²	28 Ni 3d ⁸ 4s ²	29 Cu 3d ¹⁰ 4s ¹	30 Zn 3d ¹⁰ 4s ²	31 Ga 3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹	32 Ge 3d ¹⁰ 4s ² 4p ²	33 As 3d ¹⁰ 4s ² 4p ³	34 Se 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴	35 Br 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵	36 Kr 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶		
[Kr]		37 Rb 5s ¹	38 Sr 5s ²	39 Y 4d ¹ 5s ²	40 Zr 4d ² 5s ²	41 Nb 4d ⁴ 5s ¹	42 Mo 4d ⁵ 5s ¹	43 Tc 4d ⁵ 5s ²	44 Ru 4d ⁷ 5s ¹	45 Rh 4d ⁸ 5s ¹	46 Pd 4d ¹⁰	47 Ag 4d ¹⁰ 5s ¹	48 Cd 4d ¹⁰ 5s ²	49 In 4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹	50 Sn 4d ¹⁰ 5s ² 5p ²	51 Sb 4d ¹⁰ 5s ² 5p ³	52 Te 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴	53 I 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵	54 Xe 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶		
[Xe]		55 Cs 6s ¹	56 Ba 6s ²	57 La* 5d ¹ 6s ²	72 Hf 4f ¹⁴ 5d ² 6s ²	73 Ta 4f ¹⁴ 5d ³ 6s ²	74 W 4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ²	75 Re 4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ²	76 Os 4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ²	77 Ir 4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ²	78 Pt 4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹	79 Au 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹	80 Hg 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²	81 Tl 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹	82 Pb 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²	83 Bi 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³	84 Po 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴	85 At 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁵	86 Rn 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶		
[Rn]		87 Fr 7s ¹	88 Ra 7s ²	89 Ac** 6d ¹ 7s ²	104 Rf 5f ¹⁴ 6d ² 7s ²	105 Db 5f ¹⁴ 6d ³ 7s ²	106 Sg 5f ¹⁴ 6d ⁴ 7s ²	107 Bh 5f ¹⁴ 6d ⁵ 7s ²	108 Hs 5f ¹⁴ 6d ⁶ 7s ²	109 Mt 5f ¹⁴ 6d ⁷ 7s ²	110 Ds 5f ¹⁴ 6d ⁹ 7s ¹	111 Rg 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ¹	112 Cn 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ²	113 Nh 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ¹	114 Fl 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ²	115 Mc 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ³	116 Lv 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁴	117 Ts 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁵	118 Og 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁶		
						58 Ce 4f ¹ 5d ¹ 6s ²	59 Pr 4f ³ 6s ²	60 Nd 4f ⁴ 6s ²	61 Pm 4f ⁵ 6s ²	62 Sm 4f ⁶ 6s ²	63 Eu 4f ⁷ 6s ²	64 Gd 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	65 Tb 4f ⁹ 6s ²	66 Dy 4f ¹⁰ 6s ²	67 Ho 4f ¹¹ 6s ²	68 Er 4f ¹² 6s ²	69 Tm 4f ¹³ 6s ²	70 Yb 4f ¹⁴ 6s ²	71 Lu 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²		
[Xe]		*Λανθανίδες				90 Th 6d ² 7s ²	91 Pa 5f ² 6d ¹ 7s ²	92 U 5f ³ 6d ¹ 7s ²	93 Np 5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	94 Pu 5f ⁶ 7s ²	95 Am 5f ⁷ 7s ²	96 Cm 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	97 Bk 5f ⁹ 7s ²	98 Cf 5f ¹⁰ 7s ²	99 Es 5f ¹¹ 7s ²	100 Fm 5f ¹² 7s ²	101 Md 5f ¹³ 7s ²	102 No 5f ¹⁴ 7s ²	103 Lr 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²		
[Rn]		**Ακτινίδες																			



Τομείς του περιοδικού πίνακα

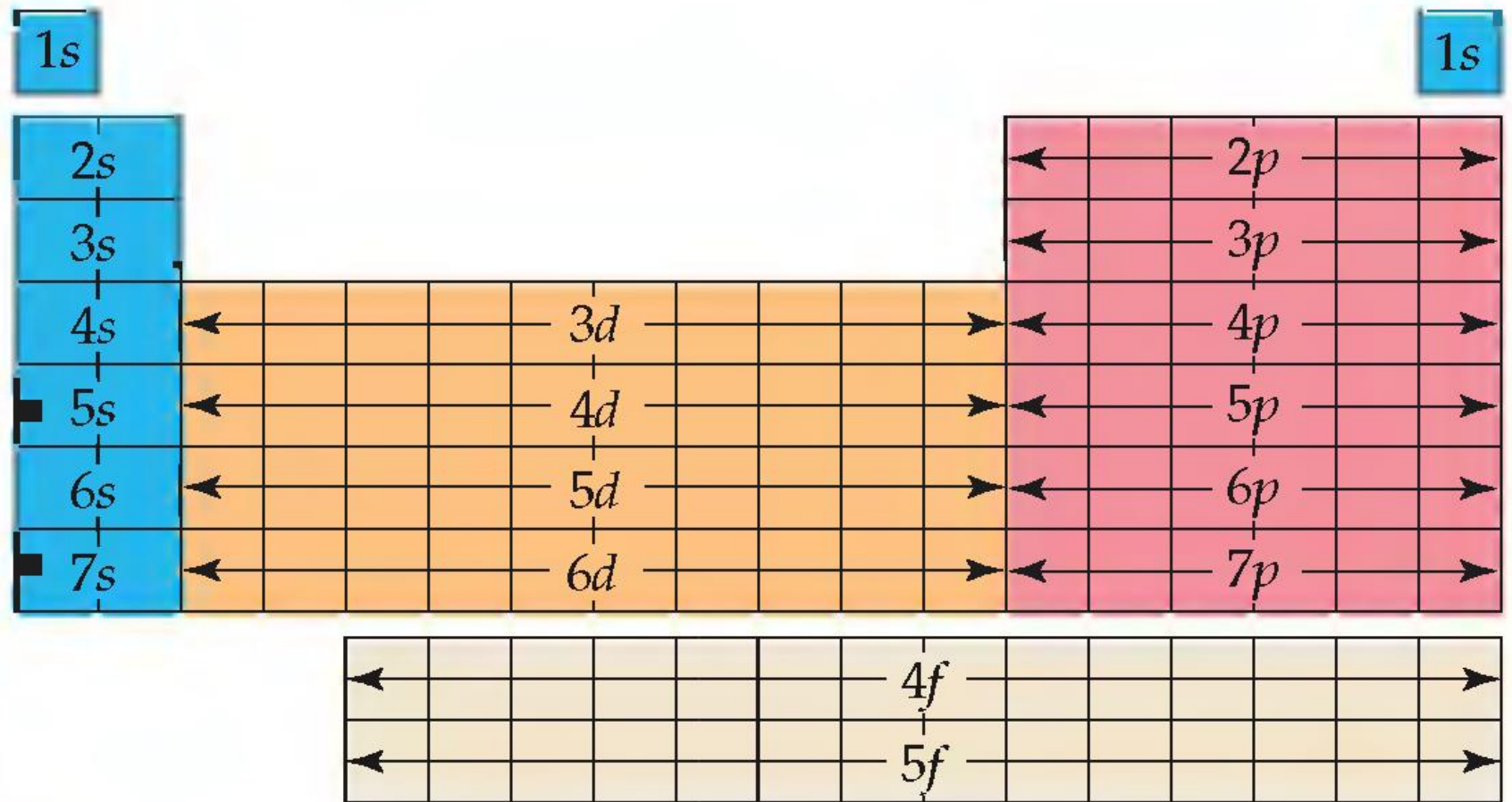
- Ο περιοδικός πίνακας χωρίζεται στους παρακάτω **τομείς** (blocks) βάσει των τροχιακών τα οποία συμπληρώνονται με ηλεκτρόνια:
 - ✓ s τομέας: συμπληρώνονται τα s τροχιακά
 - ✓ p τομέας: συμπληρώνονται τα p τροχιακά
 - ✓ d τομέας: συμπληρώνονται τα d τροχιακά
 - ✓ f τομέας: συμπληρώνονται τα f τροχιακά

Περιοδικός πίνακας των στοιχείων



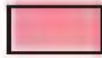
I_A 1		II_A 2											III_A 13	IV_A 14	V_A 15	VI_A 16	VII_A 17	$VIII_A$ 18			
s τομέας ↓																				p τομέας ↓	$1s^2$ 2 He
$n=1$	s^1 1 H	s^2																			
$n=2$	3 Li	4 Be	III_B 3		IV_B 4	V_B 5	VI_B 6	VII_B 7	8	9	10	I_B 11	II_B 12	$s^2 p^1$ 5 B	$s^2 p^2$ 6 C	$s^2 p^3$ 7 N	$s^2 p^4$ 8 O	$s^2 p^5$ 9 F	$s^2 p^6$ 10 Ne		
$n=3$	11 Na	12 Mg	$d^1 s^2$											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar		
$n=4$	19 K	20 Ca	21 Sc	f τομέας ↓	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		
$n=5$	37 Rb	38 Sr	39 Y		40 Zr	41 Nb $4d^4 5s^1$	42 Mo	43 Tc	44 Ru $d^7 s^1$	45 Rh $d^8 s^1$	46 Pd d^{10}	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe		
$n=6$	55 Cs	56 Ba	57 La	58-71 Ce-Lu	72 Hf	73 Ta	74 W $d^4 s^2$	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt $d^9 s^1$	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn		
$n=7$	87 Fr	88 Ra	89 Ac	90-103 Th- Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg $d^4 s^2$	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds $d^9 s^1$	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og		
$n=6$	Λανθανίδες			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				
$n=7$	Ακτινίδες			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				

Τομείς του περιοδικού πίνακα



 Representative s-block elements

 Transition metals

 Representative p-block elements

 f-Block metals



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων

- Τα στοιχεία τα οποία ανήκουν στην ίδια ομάδα του περιοδικού πίνακα έχουν την ίδια ηλεκτρονική διαμόρφωση στην εξωτερική τους στιβάδα.
- Κατά συνέπεια, τα στοιχεία τα οποία ανήκουν στην ίδια ομάδα του περιοδικού πίνακα έχουν παρόμοιες χημικές ιδιότητες.



Ομάδες του περιοδικού πίνακα

- **Κύριες ή αντιπροσωπευτικές ομάδες:** συμπληρώνονται με ηλεκτρόνια τα s και p τροχιακά, ενώ αν υπάρχουν d και f τροχιακά τότε αυτά είναι συμπληρωμένα.
- Ανήκουν στους s και p τομείς του περιοδικού πίνακα.
- **8 ομάδες:** οι δύο πρώτες και οι έξι τελευταίες του περιοδικού πίνακα.

149

Περιοδικός πίνακας των στοιχείων



I _A 1		II _A 2																		III _A 13		IV _A 14	V _A 15	VI _A 16	VII _A 17	VIII _A 18		
s τομέας ↓																						p τομέας ↓					1s ² 2 He	
s ¹		s ²																				s ² p ¹	s ² p ²	s ² p ³	s ² p ⁴	s ² p ⁵	s ² p ⁶	
n=1	1 H																					5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
n=2	3 Li	4 Be	III _B 3			IV _B 4	V _B 5	VI _B 6	VII _B 7	8	9	10	I _B 11	II _B 12														
n=3	11 Na	12 Mg	d ¹ s ²																									
n=4	19 K	20 Ca	21 Sc	f τομέας ↓		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								
n=5	37 Rb	38 Sr	39 Y			40 Zr	41 Nb 4d ⁴ 5s ¹	42 Mo	43 Tc	44 Ru d ⁷ s ¹	45 Rh d ⁸ s ¹	46 Pd d ¹⁰	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe								
n=6	55 Cs	56 Ba	57 La	58-71 Ce-Lu	72 Hf	73 Ta	74 W d ⁴ s ²	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt d ⁹ s ¹	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn									
n=7	87 Fr	88 Ra	89 Ac	90-103 Th- Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg d ⁴ s ²	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds d ⁹ s ¹	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og									
n=6	Λανθανίδες		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												
n=7	Ακτινίδες		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												



Κύριες ομάδες του περιοδικού πίνακα

➤ Συμβολίζονται:

- ✓ με λατινικούς αριθμούς με δείκτη A: I_A , II_A , III_A , IV_A , V_A , VI_A , VII_A , $VIII_A$
- ✓ με τους αριθμούς 1, 2 (οι δύο πρώτες) και 13-18 (οι έξι τελευταίες)



Κύριες ομάδες του περιοδικού πίνακα

- Κάποιες από τις κύριες ομάδες του περιοδικού πίνακα έχουν χαρακτηριστικές ονομασίες:
- ✓ I_A (εκτός του H): Αλκάλια ή αλκαλιμέταλλα (alkali metals)
- ✓ II_A : Μέταλλα των αλκαλικών γαιών (alkaline earth metals)
- ✓ V_A : Πνικτογόνα (pnictogens)
- ✓ VI_A : Χαλκογόνα (χαλκός + γεννώ, Αγγλικά: chalcogens, η σωστή ονομασία θα ήταν μεταλλευματογονά)
- ✓ VII_A : Αλογόνα (άλας + γεννώ, Αγγλικά: halogens)
- ✓ $VIII_A$: Ευγενή αέρια (noble gases)



Κύριες ομάδες του περιοδικού πίνακα

- Οι ηλεκτρονικές διαμορφώσεις των εξωτερικών στιβάδων των στοιχείων των κυρίων ομάδων είναι:
- ✓ $I_A: s^1$
- ✓ $II_A: s^2$
- ✓ $III_A: s^2 p^1$
- ✓ $IV_A: s^2 p^2$
- ✓ $V_A: s^2 p^3$
- ✓ $VI_A: s^2 p^4$
- ✓ $VII_A: s^2 p^5$
- ✓ $VIII_A: s^2 p^6$ (εκτός από το He: $1s^2$)

Κύριες ομάδες



I_A: s^1

III_A: $s^2 p^1$

$_1\text{H}$: $1s^1$

$_3\text{Li}$: $[\text{He}] 2s^1$

$_{11}\text{Na}$: $[\text{Ne}] 3s^1$

$_{19}\text{K}$: $[\text{Ar}] 4s^1$

$_{37}\text{Rb}$: $[\text{Kr}] 5s^1$

$_{55}\text{Cs}$: $[\text{Xe}] 6s^1$

$_{87}\text{Fr}$: $[\text{Rn}] 7s^1$

$_5\text{B}$: $[\text{He}] 2s^2 2p^1$

$_{13}\text{Al}$: $[\text{Ne}] 3s^2 3p^1$

$_{31}\text{Ga}$: $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2 4p^1$

$_{49}\text{In}$: $[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^2 5p^1$

$_{81}\text{Tl}$: $[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^1$



Ομάδες του περιοδικού πίνακα

- Ομάδες των μεταβατικών στοιχείων ή ομάδες των στοιχείων μετάπτωσης: συμπληρώνονται με ηλεκτρόνια τα d και f τροχιακά.
- Ανήκουν στους d και f τομείς του περιοδικού πίνακα.
- 10 ομάδες: οι ομάδες από 3 έως 12 του περιοδικού πίνακα.
- Συμβολίζονται με λατινικούς αριθμούς με δείκτη B: I_B , II_B , III_B , IV_B , V_B , VI_B , VII_B , $VIII_B$.
- Η $VIII_B$ ομάδα αποτελείται από τρεις υποομάδες.

Περιοδικός πίνακας των στοιχείων



I _A 1												VIII _A 18						
1 H 1s ¹												2 He 1s ²						
II _A 2												III _A 13	IV _A 14	V _A 15	VI _A 16	VII _A 17		
[He] 3 Li 2s ¹		4 Be 2s ²											5 B 2s ² 2p ¹	6 C 2s ² 2p ²	7 N 2s ² 2p ³	8 O 2s ² 2p ⁴	9 F 2s ² 2p ⁵	10 Ne 2s ² 2p ⁶
[Ne] 11 Na 3s ¹		12 Mg 3s ²											13 Al 3s ² 3p ¹	14 Si 3s ² 3p ²	15 P 3s ² 3p ³	16 S 3s ² 3p ⁴	17 Cl 3s ² 3p ⁵	18 Ar 3s ² 3p ⁶
		VIII _B																
		III _B 3	IV _B 4	V _B 5	VI _B 6	VII _B 7	8	9	10	I _B 11	II _B 12							
[Ar] 19 K 4s ¹		20 Ca 4s ²	21 Sc 3d ¹ 4s ²	22 Ti 3d ² 4s ²	23 V 3d ³ 4s ²	24 Cr 3d ⁵ 4s ¹	25 Mn 3d ⁵ 4s ²	26 Fe 3d ⁶ 4s ²	27 Co 3d ⁷ 4s ²	28 Ni 3d ⁸ 4s ²	29 Cu 3d ¹⁰ 4s ¹	30 Zn 3d ¹⁰ 4s ²	31 Ga 3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹	32 Ge 3d ¹⁰ 4s ² 4p ²	33 As 3d ¹⁰ 4s ² 4p ³	34 Se 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴	35 Br 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵	36 Kr 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶
[Kr] 37 Rb 5s ¹		38 Sr 5s ²	39 Y 4d ¹ 5s ²	40 Zr 4d ² 5s ²	41 Nb 4d ⁴ 5s ¹	42 Mo 4d ⁵ 5s ¹	43 Tc 4d ⁵ 5s ²	44 Ru 4d ⁷ 5s ¹	45 Rh 4d ⁸ 5s ¹	46 Pd 4d ¹⁰	47 Ag 4d ¹⁰ 5s ¹	48 Cd 4d ¹⁰ 5s ²	49 In 4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹	50 Sn 4d ¹⁰ 5s ² 5p ²	51 Sb 4d ¹⁰ 5s ² 5p ³	52 Te 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴	53 I 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵	54 Xe 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶
[Xe] 55 Cs 6s ¹		56 Ba 6s ²	57 La* 5d ¹ 6s ²	72 Hf 4f ¹⁴ 5d ² 6s ²	73 Ta 4f ¹⁴ 5d ³ 6s ²	74 W 4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ²	75 Re 4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ²	76 Os 4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ²	77 Ir 4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ²	78 Pt 4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹	79 Au 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹	80 Hg 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²	81 Tl 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹	82 Pb 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²	83 Bi 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³	84 Po 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴	85 At 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁵	86 Rn 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶
[Rn] 87 Fr 7s ¹		88 Ra 7s ²	89 Ac** 6d ¹ 7s ²	104 Rf 5f ¹⁴ 6d ² 7s ²	105 Db 5f ¹⁴ 6d ³ 7s ²	106 Sg 5f ¹⁴ 6d ⁴ 7s ²	107 Bh 5f ¹⁴ 6d ⁵ 7s ²	108 Hs 5f ¹⁴ 6d ⁶ 7s ²	109 Mt 5f ¹⁴ 6d ⁷ 7s ²	110 Ds 5f ¹⁴ 6d ⁹ 7s ¹	111 Rg 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ¹	112 Cn 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ²	113 Nh 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ¹	114 Fl 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ²	115 Mc 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ³	116 Lv 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁴	117 Ts 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁵	118 Og 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁶
[Xe] 58 Ce 4f ¹ 5d ¹ 6s ²		59 Pr 4f ³ 6s ²	60 Nd 4f ⁴ 6s ²	61 Pm 4f ⁵ 6s ²	62 Sm 4f ⁶ 6s ²	63 Eu 4f ⁷ 6s ²	64 Gd 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	65 Tb 4f ⁹ 6s ²	66 Dy 4f ¹⁰ 6s ²	67 Ho 4f ¹¹ 6s ²	68 Er 4f ¹² 6s ²	69 Tm 4f ¹³ 6s ²	70 Yb 4f ¹⁴ 6s ²	71 Lu 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²				
[Rn] 90 Th 6d ² 7s ²		91 Pa 5f ² 6d ¹ 7s ²	92 U 5f ³ 6d ¹ 7s ²	93 Np 5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	94 Pu 5f ⁶ 7s ²	95 Am 5f ⁷ 7s ²	96 Cm 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	97 Bk 5f ⁹ 7s ²	98 Cf 5f ¹⁰ 7s ²	99 Es 5f ¹¹ 7s ²	100 Fm 5f ¹² 7s ²	101 Md 5f ¹³ 7s ²	102 No 5f ¹⁴ 7s ²	103 Lr 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²				

Ομάδες των μεταβατικών στοιχείων

Μέταλλα

Αμέταλλα

Μεταλλοειδή

Περιοδικός πίνακας των στοιχείων

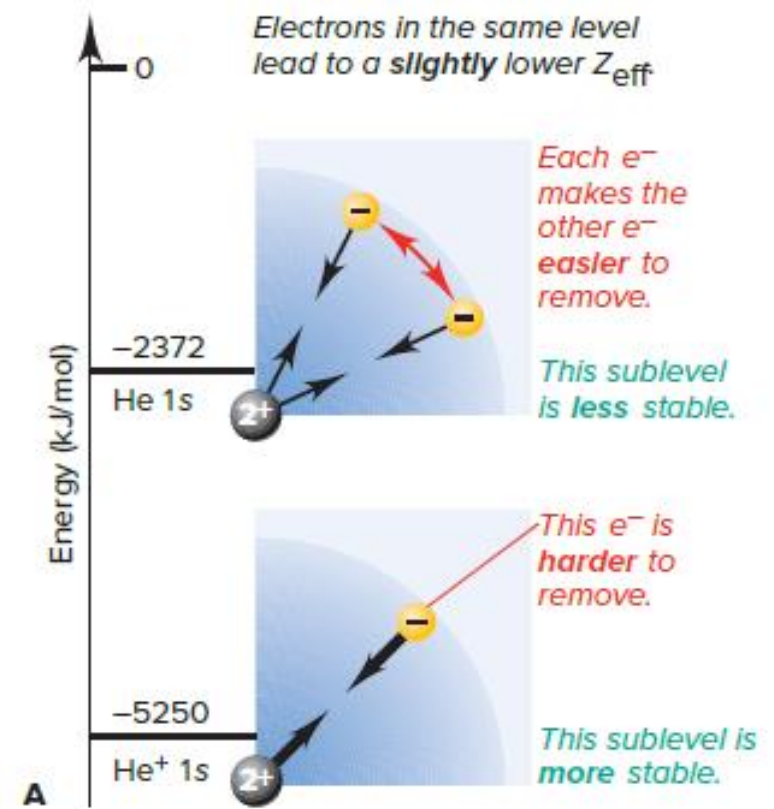


I _A 1		II _A 2																III _A 13	IV _A 14	V _A 15	VI _A 16	VII _A 17	VIII _A 18														
s τομέας ↓				Ομάδες των μεταβατικών στοιχείων																		p τομέας ↓						1s ² 2 He									
s ¹		s ²		d τομέας ↓																		s ² p ¹						s ² p ²		s ² p ³		s ² p ⁴		s ² p ⁵		s ² p ⁶	
n=1	1 H			III _B 3	IV _B 4		V _B 5	VI _B 6	VII _B 7	VIII _B 8 9 10		I _B 11	II _B 12	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne																		
n=2	3 Li	4 Be																			13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar											
n=3	11 Na	12 Mg	d ¹ s ²																			31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr										
n=4	19 K	20 Ca	21 Sc	f τομέας ↓	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe																		
n=5	37 Rb	38 Sr	39 Y		40 Zr	41 Nb 4d ⁴ 5s ¹	42 Mo	43 Tc	44 Ru d ⁷ s ¹	45 Rh d ⁸ s ¹	46 Pd d ¹⁰	47 Ag	48 Cd	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn																		
n=6	55 Cs	56 Ba	57 La		58-71 Ce-Lu	72 Hf	73 Ta	74 W d ⁴ s ²	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt d ⁹ s ¹	79 Au	80 Hg	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og																	
n=7	87 Fr	88 Ra	89 Ac	90-103 Th-Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg d ⁴ s ²	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds d ⁹ s ¹	111 Rg	112 Cn																								
n=6	Λανθανίδες			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																				
n=7	Ακτινίδες			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																				



Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα, Z_{eff}

- Τα ηλεκτρόνια τα οποία βρίσκονται στην ίδια στιβάδα σθένους δεν προστατεύουν πολύ αποτελεσματικά το ένα το άλλο και άρα επηρεάζουν σχετικά λίγο την τιμή του S .
- Για την αφαίρεση ενός ηλεκτρονίου από το ιόν He^+ απαιτούνται 5250 kJ/mol.
- Για την αφαίρεση ενός ηλεκτρονίου από το He απαιτούνται 2372 kJ/mol, δηλαδή λιγότερη από τη μισή ενέργεια σε σχέση με το ιόν He^+ ($5250/2 = 2625 > 2372$).
- Το δεύτερο ηλεκτρόνιο στο He απωθεί το πρώτο και προκαλεί μείωση του Z_{eff} .





Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα, Z_{eff}

- Για ένα εξωτερικό ηλεκτρόνιο (ή ηλεκτρόνιο σθένους), το μεγαλύτερο μέρος της θωράκισης του οφείλεται στα εσωτερικά ηλεκτρόνια τα οποία βρίσκονται πολύ πιο κοντά στον πυρήνα.
- Τα εσωτερικά ηλεκτρόνια περνούν σχεδόν όλο το χρόνο τους μεταξύ των εξωτερικών ηλεκτρονίων και του πυρήνα.
- Άρα, τα εσωτερικά ηλεκτρόνια προκαλούν μεγαλύτερη μείωση του Z_{eff} στα ηλεκτρόνια σθένους σε σύγκριση με τη μείωση που προκαλούν τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στο ίδιο ενεργειακό επίπεδο.



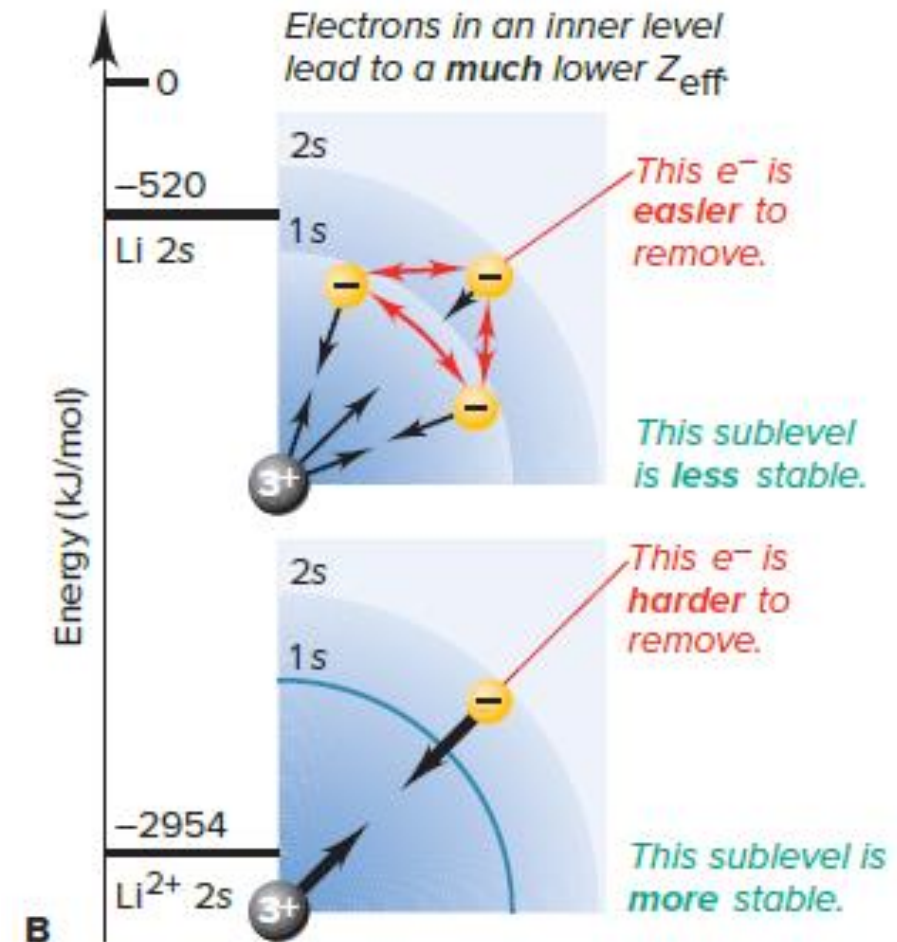
Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα, Z_{eff}

- Ως αποτέλεσμα, για τα ηλεκτρόνια σθένους ενός ατόμου, η τιμή του S είναι συνήθως κοντά στον αριθμό των εσωτερικών ηλεκτρονίων.
- Για παράδειγμα, στο άτομο του λιθίου, η σταθερά S ισούται με 1,72, δηλαδή πολύ κοντά στην τιμή 2 που είναι ο αριθμός των εσωτερικών ηλεκτρονίων του ατόμου.



Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα, Z_{eff}

- Για την αφαίρεση ενός ηλεκτρονίου από το ιόν Li^{2+} απαιτούνται 2954 kJ/mol.
- Για την αφαίρεση ενός ηλεκτρονίου από το άτομο του Li απαιτούνται 520 kJ/mol, δηλαδή περίπου του 1/6 της ενέργειας σε σύγκριση με το ιόν Li^{2+} .
- Αυτό συμβαίνει επειδή τα 2 εσωτερικά ηλεκτρόνια του τροχιακού 1s προστατεύουν πολύ αποτελεσματικά το εξωτερικό ηλεκτρόνιο του τροχιακού 2s.



Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα, Z_{eff}



- Τιμές του Z_{eff} οι οποίες έχουν υπολογιστεί με βάση τους κανόνες του Salter για τις διάφορες υποστιβάδες του καλίου, $_{19}\text{K}$.

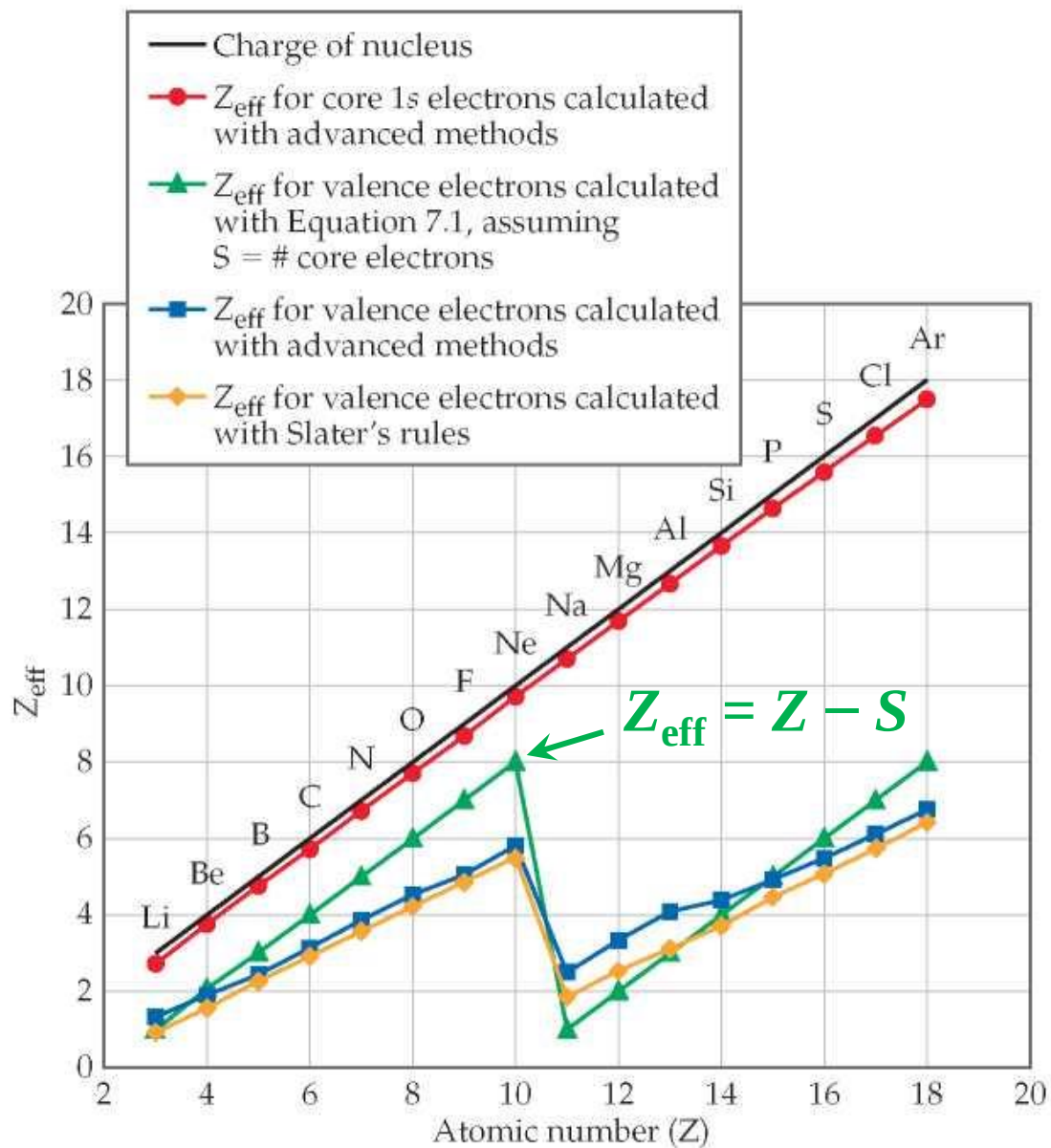
Υποστιβάδες	S	Z_{eff}
$1s^2$	0,35	18,65
$2s^2 2p^6$	4,15	14,85
$3s^2 3p^6$	12,3	6,7
$4s^1$	16,8	2,2

Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα, Z_{eff}



- Το φορτίο του πυρήνα του ατόμου του καλίου είναι $19+$. Ωστόσο, όλα τα ηλεκτρόνια έχουν $Z_{\text{eff}} < 19$.
- Τα δύο εσωτερικά ηλεκτρόνια στο τροχιακό $1s$ έχουν Z_{eff} ελαφρώς μικρότερο από 19 , δηλαδή $18,65$ επειδή προστατεύουν το ένα το άλλο.
- Το εξωτερικό ηλεκτρόνιο στο τροχιακό $4s$ έχει Z_{eff} σημαντικά χαμηλότερο από 19 , δηλαδή $2,2$, λόγω της αποτελεσματικής θωράκισης του από τα 18 εσωτερικά ηλεκτρόνια.

Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα, Z_{eff}



I _A 1																		VIII _A 18	
1	2											13	14	15	16	17		18	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	
1	2											5	6	7	8	9		10	

Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα, Z_{eff}



- Το Z_{eff} που αισθάνονται τα εξωτερικά ηλεκτρόνια είναι μικρότερο από αυτό που αισθάνονται τα εσωτερικά ηλεκτρόνια λόγω της θωράκισής τους από τα εσωτερικά ηλεκτρόνια.
- Κατά μήκος μίας περιόδου, όσο αυξάνεται ο ατομικός αριθμός, τόσο αυξάνεται το Z_{eff} που αισθάνονται τα εξωτερικά ηλεκτρόνια.
- Δηλαδή, το Z_{eff} αυξάνεται από αριστερά προς τα δεξιά σε κάθε περίοδο του περιοδικού πίνακα.
- Η αύξηση αυτή συμβαίνει γιατί κατά μήκος μίας περιόδου, αυξάνεται ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα ενώ ο αριθμός των εσωτερικών ηλεκτρονίων παραμένει ίδιος.

Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα, Z_{eff}



- Ωστόσο, η αύξηση αυτή δεν είναι πολύ έντονη, επειδή τα ηλεκτρόνια σθένους προκαλούν μία σχετικά μικρή, αλλά όμως μη αμελητέα, αύξηση της σταθεράς θωράκισης S .
- Κατά τη μετάβαση από το τελευταίο στοιχείο της 2^{ης} περιόδου (Ne) στο πρώτο στοιχείο της 3^{ης} περιόδου (Na), παρατηρείται μία πολύ απότομη πτώση του Z_{eff} για τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας.
- Αυτή η πτώση οφείλεται στο ότι τα εσωτερικά ηλεκτρόνια είναι πολύ πιο αποτελεσματικά από τα ηλεκτρόνια σθένους στην θωράκιση του πυρηνικού φορτίου.



Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα, Z_{eff}

- Σε μία στήλη (ομάδα) του περιοδικού πίνακα, όσο αυξάνεται ο ατομικός αριθμός (δηλαδή, πηγαίνοντας από πάνω προς τα κάτω) το Z_{eff} αυξάνεται ελαφρώς.
- Η ελαφριά αυτή αύξηση αυτή συμβαίνει επειδή το πιο διάχυτο ηλεκτρονικό νέφος των εσωτερικών ηλεκτρονίων είναι λιγότερο ικανό να θωρακίσει τα ηλεκτρόνια σθένους από το πυρηνικό φορτίο.
- Ωστόσο, η αύξηση αυτή είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με την αύξηση του Z_{eff} κατά μήκος μίας περιόδου.

Δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα, Z_{eff}



Στοιχείο	Z_{eff}
Li	1,28
Na	2,51
K	3,50
Rb	4,99

Στοιχείο	Z_{eff}
C	3,14
Si	4,29
Ge	6,78
Sn	9,10

Στοιχείο	Z_{eff}
F	5,10
Cl	6,12
Br	9,03
I	11,61



Περιοδικές ιδιότητες των στοιχείων

- Θα εξεταστούν δύο ιδιότητες των ατόμων οι οποίες επηρεάζονται άμεσα από την ηλεκτρονιακή διαμόρφωση και το δραστικό πυρηνικό φορτίο:
 - i. Το μέγεθος των ατόμων
 - ii. Το δυναμικό ή ενέργεια ιοντισμού.
- Οι ιδιότητες αυτές είναι περιοδικές: μεταβάλλονται ακολουθώντας ένα γενικό και επαναλαμβανόμενο πρότυπο στις διάφορες ομάδες και περιόδους.
- **Νόμος της περιοδικότητας του Moseley:** Οι ιδιότητες των στοιχείων είναι περιοδική συνάρτηση του ατομικού τους αριθμού.



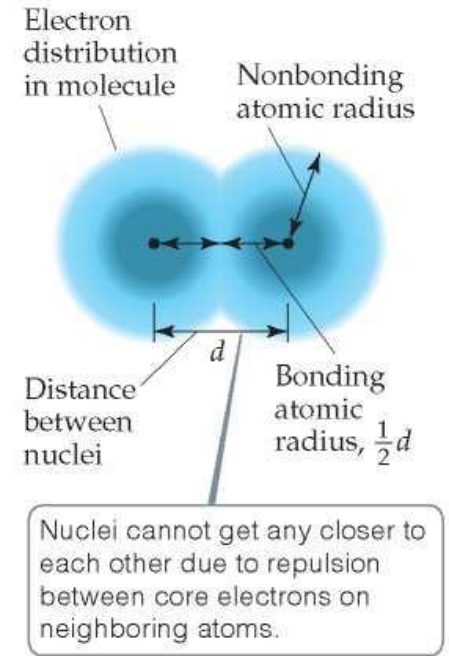
Ακτίνες των ατόμων και των ιόντων

- Τα άτομα είναι σφαιρικά.
- Οι κυματοσυναρτήσεις των ατόμων εκτείνονται σε μεγάλες αποστάσεις από τον πυρήνα.
- Άρα, τα άτομα δεν έχουν επακριβώς καθορισμένα όρια στα οποία μηδενίζεται η ηλεκτρονική τους πυκνότητα.
- Το μέγεθος των ατόμων προσδιορίζεται με βάση το πόσο κοντά μπορούν να βρεθούν τα άτομα το ένα ως προς το άλλο.



Ακτίνα van der Waals

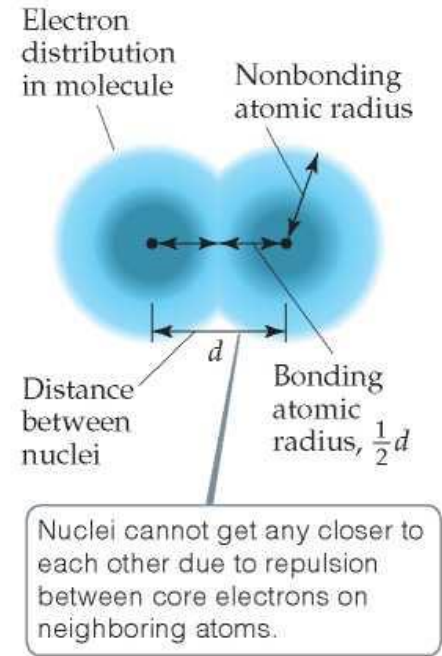
- Έστω δύο άτομα στην αέρια φάση. Όταν τα άτομα αυτά συγκρούονται, αναπηδούν όπως δύο μπάλες μπιλιάρδου.
- Αυτό συμβαίνει επειδή τα ηλεκτρονικά νέφη των συγκρουόμενων ατόμων δεν μπορούν να διεισδύσουν το ένα στο άλλο σε σημαντικό βαθμό.
- Η μικρότερη απόσταση που χωρίζει τους δύο πυρήνες είναι διπλάσια από τις ακτίνες των ατόμων, οι οποίες ονομάζονται **μη δεσμικές (nonbonding) ατομικές ακτίνες** ή **ακτίνες van der Waals**. Αντιστοιχούν στις ακτίνες των ατόμων όταν δεν συνδέονται χημικά με άλλα άτομα.





Ομοιοπολική ακτίνα

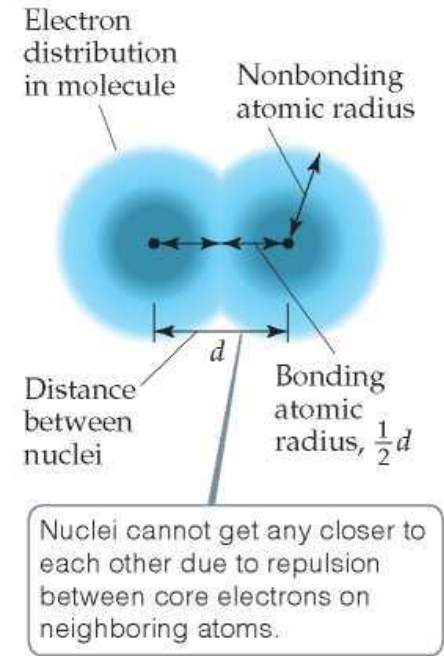
- Στα μόρια, η ελκυστική αλληλεπίδραση μεταξύ δύο γειτονικών ατόμων ονομάζεται **χημικός δεσμός**.
- Τα άτομα τα οποία συμμετέχουν σε ένα χημικό δεσμό βρίσκονται πιο κοντά μεταξύ τους σε σύγκριση με την απόσταση στην οποία μπορούν να πλησιάσουν δύο συγκρουόμενα άτομα, όταν η σύγκρουση αυτή δεν οδηγεί στο σχηματισμό χημικού δεσμού.
- Η **ομοιοπολική ατομική ακτίνα (covalent atomic radius)** ορίζεται ως το μισό της απόστασης d μεταξύ των πυρήνων δύο χημικά συνδεδεμένων ατόμων. Είναι δηλαδή το μισό του μήκους του χημικού δεσμού.



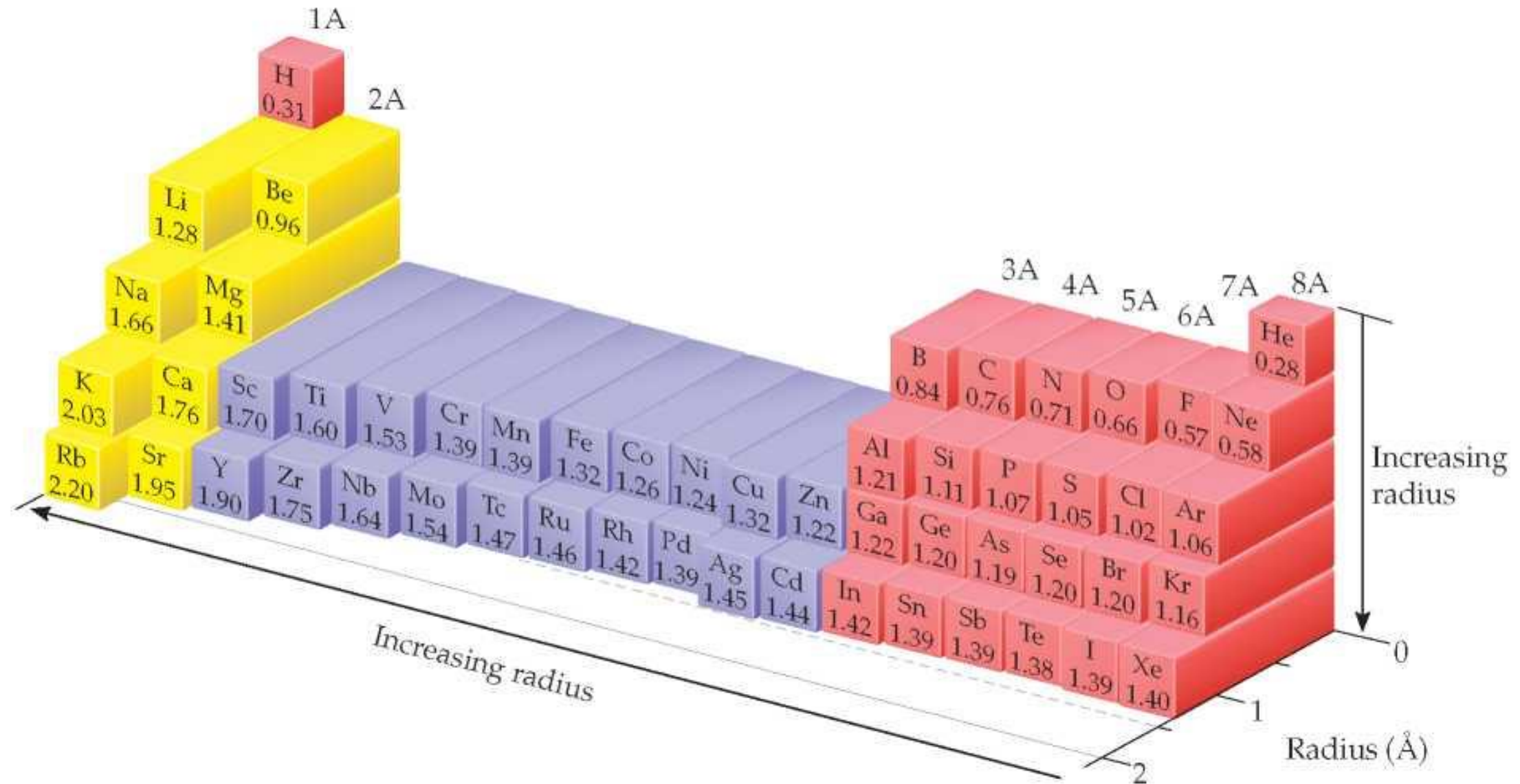


Ομοιοπολική ακτίνα

- Η ομοιοπολική ακτίνα αντιστοιχεί στην ακτίνα ενός ατόμου το οποίο είναι χημικά ενωμένο με ένα άλλο άτομο και είναι πάντα μικρότερη από την ακτίνα van der Waals. Εφεξής, όταν λέμε «μέγεθος» ενός ατόμου εννοούμε την ομοιοπολική του ακτίνα.
- Η ακτίνα van der Waals είναι αρκετά δύσκολο να μετρηθεί.
- Ωστόσο, οι ομοιοπολικές ακτίνες των διαφόρων ατόμων έχουν μετρηθεί για χιλιάδες ενώσεις τους και από τις μετρήσεις αυτές έχουν προκύψει οι μέσες ομοιοπολικές ακτίνες των διαφόρων ατόμων.



Ομοιοπολικές ακτίνες των ατόμων

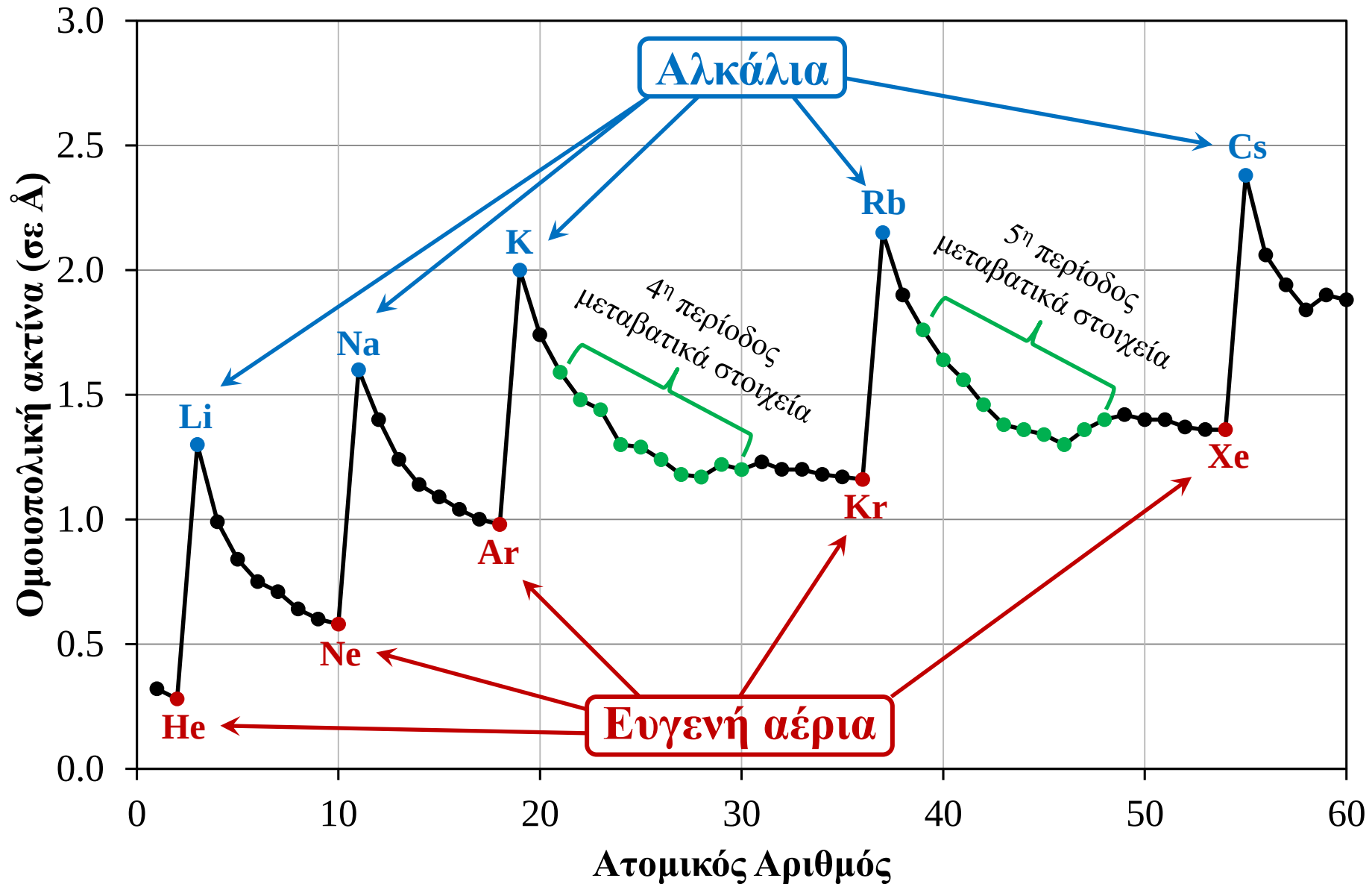


Ομοιοπολικές ακτίνες των ατόμων



	I _A 1																	VIII _A 18	
1	H 0,32	II _A 2											III _A 13	IV _A 14	V _A 15	VI _A 16	VII _A 17	He 0,28	
2	Li 1,30	Be 0,99											B 0,84	C 0,75	N 0,71	O 0,64	F 0,60	Ne 0,58	
3	Na 1,60	Mg 1,40	III _B 3	IV _B 4	V _B 5	VI _B 6	VII _B 7	VIII _B 8 9 10				IB 11	II _B 12	Al 1,24	Si 1,14	P 1,09	S 1,04	Cl 1,00	Ar 0,98
4	K 2,00	Ca 1,74	Sc 1,59	Ti 1,48	V 1,44	Cr 1,30	Mn 1,29	Fe 1,24	Co 1,18	Ni 1,17	Cu 1,22	Zn 1,20	Ga 1,23	Ge 1,20	As 1,20	Se 1,18	Br 1,17	Kr 1,16	
5	Rb 2,15	Sr 1,90	Y 1,76	Zr 1,64	Nb 1,56	Mo 1,46	Tc 1,38	Ru 1,36	Rh 1,34	Pd 1,30	Ag 1,36	Cd 1,40	In 1,42	Sn 1,40	Sb 1,40	Te 1,37	I 1,36	Xe 1,36	
6	Cs 2,38	Ba 2,06	La 1,94	Hf 1,64	Ta 1,58	W 1,50	Re 1,41	Os 1,36	Ir 1,32	Pt 1,30	Au 1,30	Hg 1,32	Tl 1,44	Pb 1,45	Bi 1,50	Po 1,42	At 1,48	Rn 1,46	
7	Fr 2,42	Ra 2,11	Ac 2,01	Rf 1,57	Db 1,49	Sg 1,43	Bh 1,41	Hs 1,34	Mt 1,29	Ds 1,28	Rg 1,21	Cn 1,22	Nh 1,36	Fl 1,43	Mc 1,62	Lv 1,75	Ts 1,65	Og 1,57	
*Λανθανίδες			Ce 1,84	Pr 1,90	Nd 1,88	Pm 1,86	Sm 1,85	Eu 1,83	Gd 1,82	Tb 1,81	Dy 1,80	Ho 1,79	Er 1,77	Tm 1,77	Yb 1,78	Lu 1,74			
**Ακτινίδες			Th 1,90	Pa 1,84	U 1,83	Np 1,80	Pu 1,80	Am 1,73	Cm 1,68	Bk 1,68	Cf 1,68	Es 1,65	Fm 1,67	Md 1,73	No 1,76	Lr 1,61			

Ομοιοπολικές ακτίνες των ατόμων





Ομοιοπολικές ακτίνες των ατόμων

- Οι μεταβολές των ατομικών ακτίνων εξηγούνται αν ληφθούν υπόψη οι παράγοντες που καθορίζουν το μέγεθος του εξωτερικού τροχιακού:
 - i. Ο κύριος κβαντικός αριθμός n του τροχιακού: όσο μεγαλύτερος είναι τόσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του τροχιακού.
 - ii. Το δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα Z_{eff} : όσο αυξάνεται το Z_{eff} τόσο ελαττώνεται το μέγεθος του εξωτερικού τροχιακού, αφού τα ηλεκτρόνια έλκονται ισχυρότερα προς τον πυρήνα.



Ομοιοπολικές ακτίνες των ατόμων

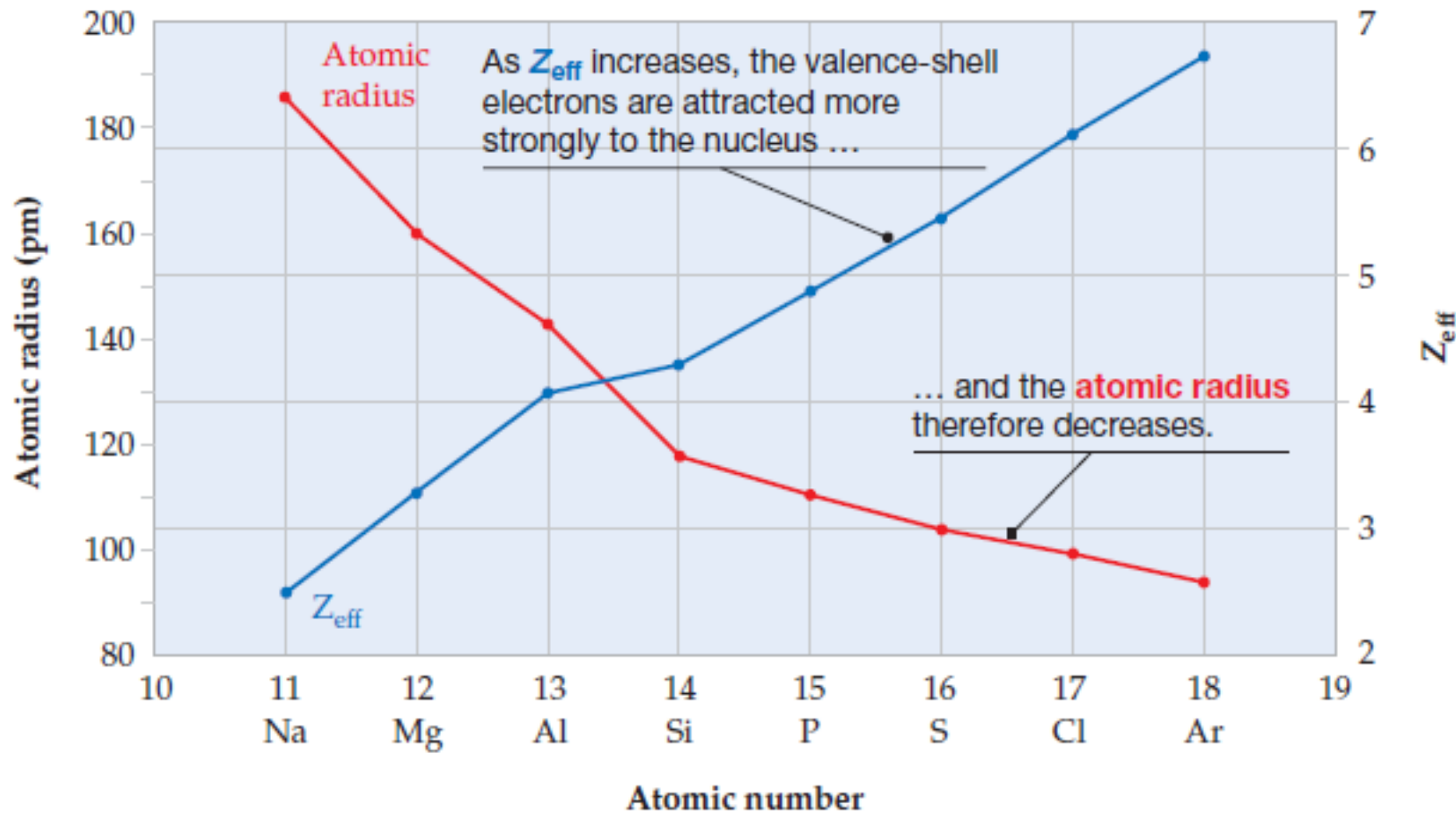
- Σε μία ομάδα του περιοδικού πίνακα, η ατομική ακτίνα αυξάνεται όσο αυξάνεται ο ατομικός αριθμός, δηλαδή αυξάνεται από πάνω προς τα κάτω.
- Η μεταβολή αυτή οφείλεται κυρίως στην αύξηση του κύριου κβαντικού αριθμού n .
- Σε μία ομάδα του περιοδικού πίνακα, το δραστικό πυρηνικό φορτίο αυξάνεται ελαφρώς, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται ο κύριος κβαντικός αριθμός n .
- Προστίθενται ηλεκτρόνια σε τροχιακά τα οποία βρίσκονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τον πυρήνα.
- Ως εκ τούτου, η ατομική ακτίνα αυξάνεται σημαντικά.



Ομοιοπολικές ακτίνες των ατόμων

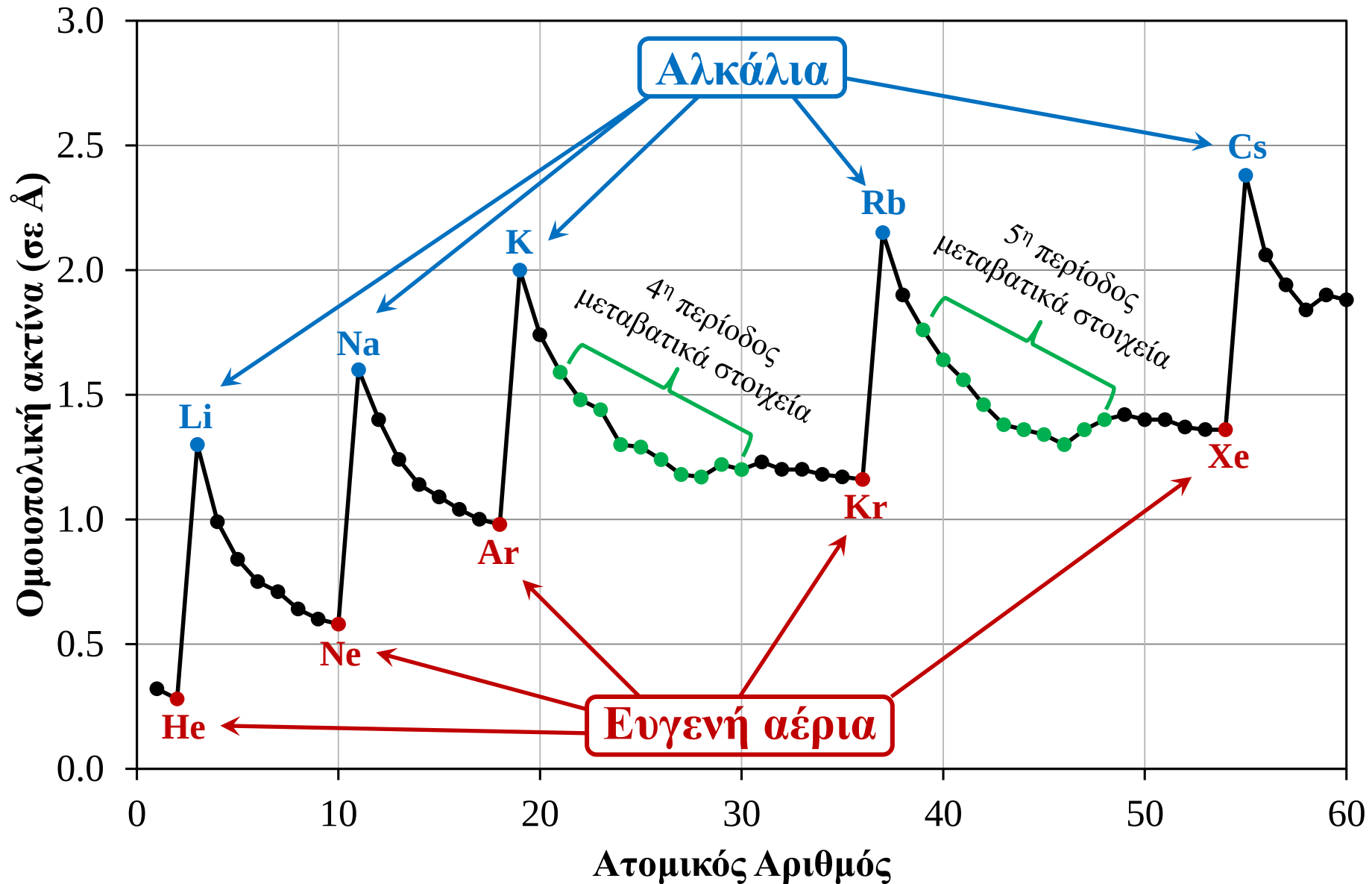
- Κατά μήκος κάθε **περιόδου** του περιοδικού πίνακα, η ατομική ακτίνα κατά κανόνα μειώνεται όσο αυξάνεται ο ατομικός αριθμός.
- Δηλαδή, η ατομική ακτίνα αυξάνεται από δεξιά προς τα αριστερά.
- Η τάση αυτή ισχύει για τα στοιχεία των κύριων ομάδων του περιοδικού πίνακα.
- Κατά μήκος μίας **περιόδου**, ο καθοριστικός παράγοντας που επηρεάζει τη μείωση της ατομικής ακτίνας είναι η αύξηση του δραστικού πυρηνικού φορτίου Z_{eff} .
- Το αυξημένο δραστικό πυρηνικό φορτίο έλκει τα ηλεκτρόνια σθένους πιο κοντά στον πυρήνα, προκαλώντας τη μείωση της ατομικής ακτίνας.

Ομοιοπολικές ακτίνες των ατόμων



- Όσο αυξάνεται το Z_{eff} , τα ηλεκτρόνια σθένους έλκονται πιο ισχυρά από τον πυρήνα, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ατομική ακτίνα.

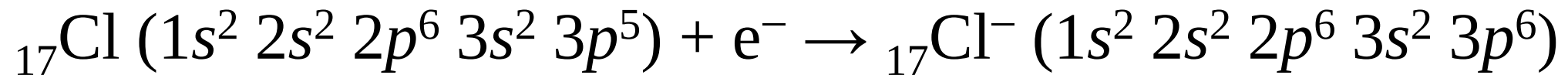
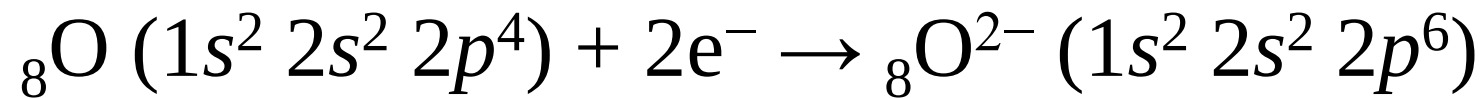
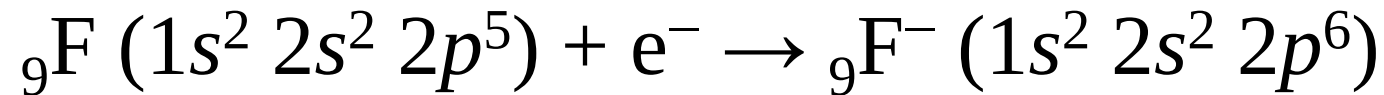
Ομοιοπολικές ακτίνες των ατόμων





Ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις των ανιόντων

- Τα ανιόντα (αρνητικά φορτισμένα ιόντα) σχηματίζονται με πρόσληψη ενός ή περισσότερων ηλεκτρονίων από τα ουδέτερα άτομα.
- Οι ηλεκτρονιακές τους διαμορφώσεις προκύπτουν προσθέτοντας τον αντίστοιχο αριθμό ηλεκτρονίων στο ουδέτερο άτομο.





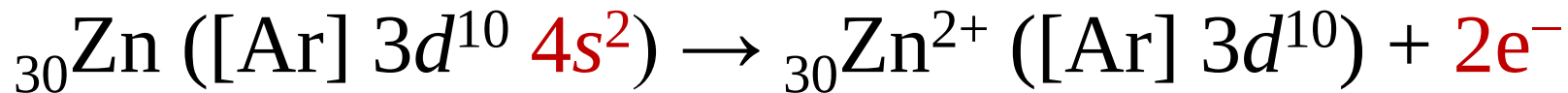
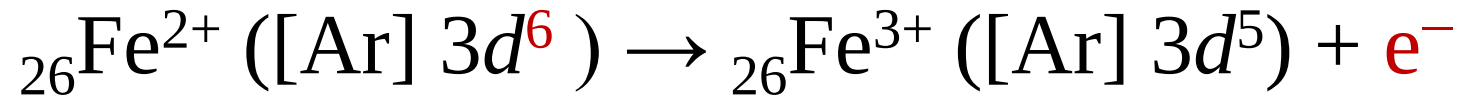
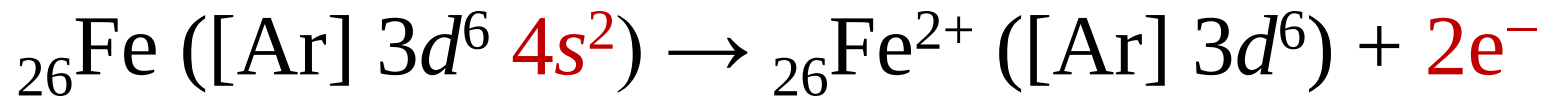
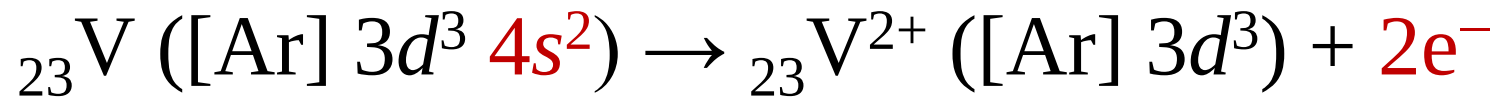
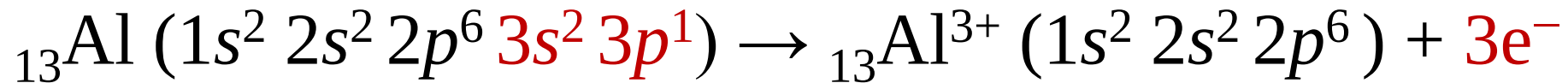
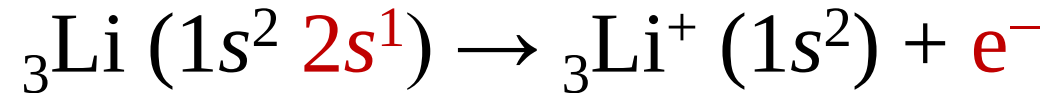
Ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις των κατιόντων

- Τα κατιόντα (θετικά φορτισμένα ιόντα) σχηματίζονται με αποβολή ενός ή περισσοτέρων ηλεκτρονίων από τα ουδέτερα άτομα.
- Η αποβολή ηλεκτρονίων γίνεται από τα **κατειλημμένα τροχιακά που έχουν το μεγαλύτερο κύριο κβαντικό αριθμό n .**



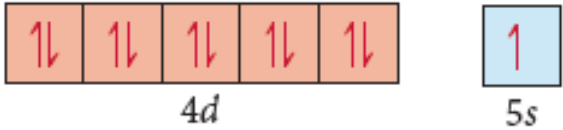
Ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις των κατιόντων

- Η αποβολή ηλεκτρονίων στα κατιόντα γίνεται από τα κατειλημμένα τροχιακά που έχουν το μεγαλύτερο κύριο κβαντικό αριθμό n .

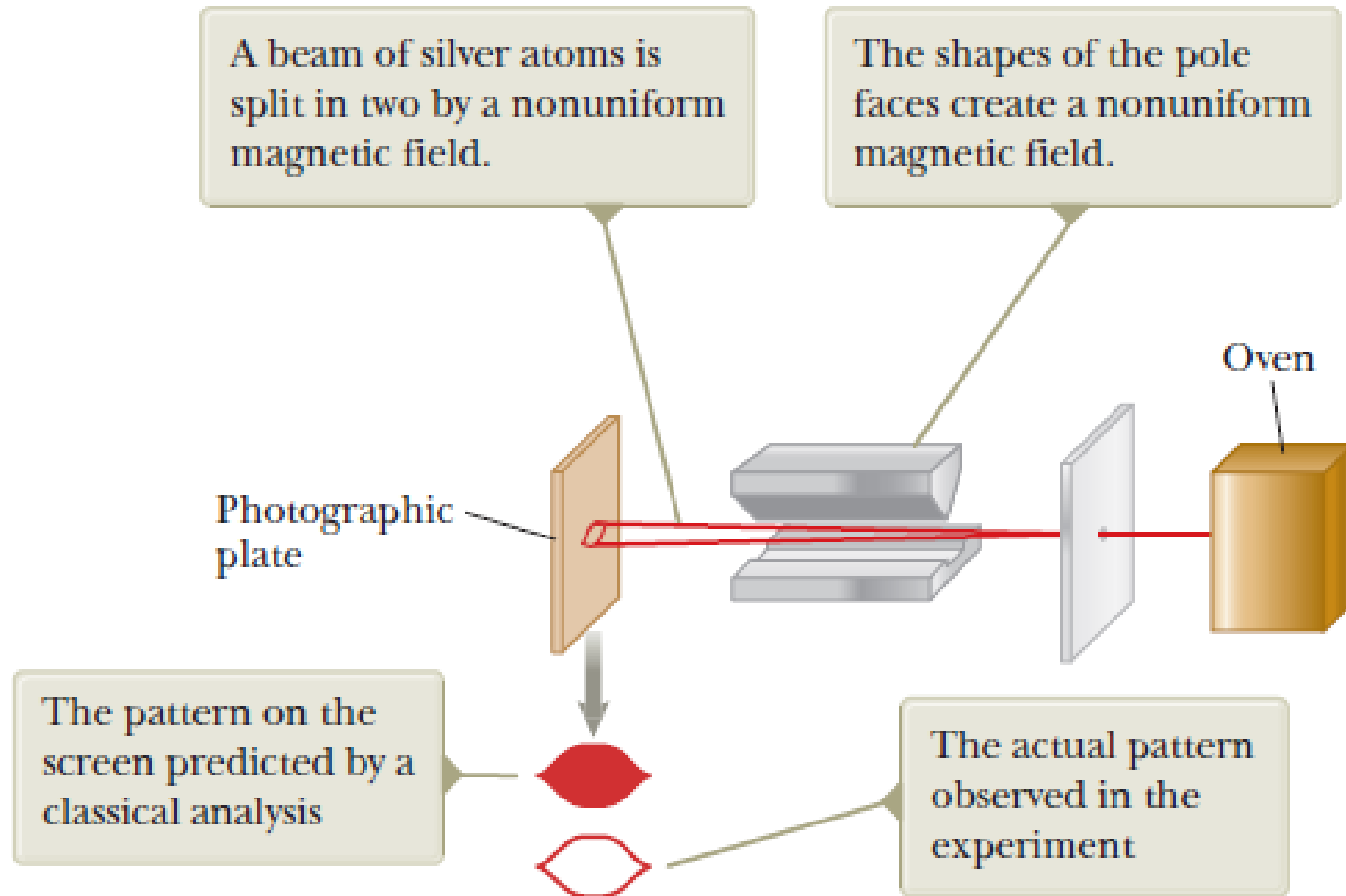




Παραμαγνητικά άτομα και ιόντα

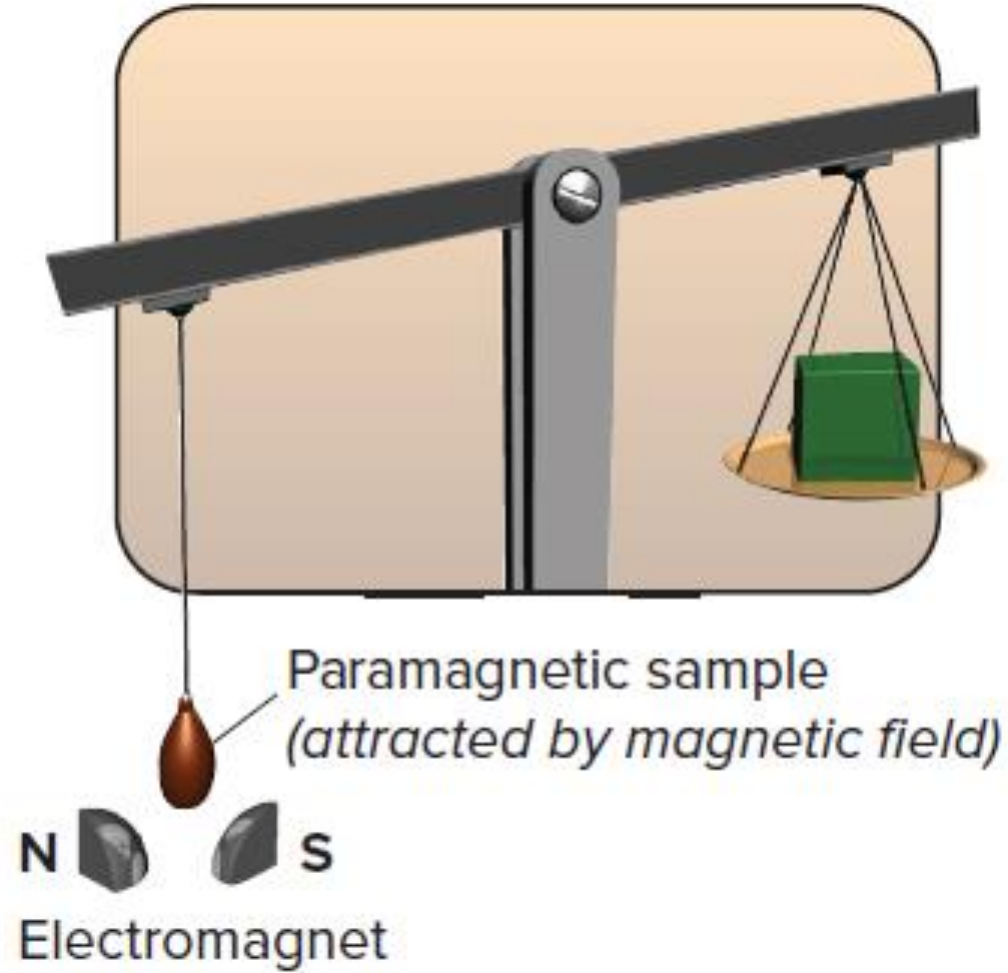
- Ένα μονήρες (μη συζευγμένο) ηλεκτρόνιο παράγει μαγνητικό πεδίο λόγω της εγγενούς στροφορμής του (spin).
- Κατά συνέπεια, ένα άτομο ή ένα ιόν το οποίο περιέχει μονήρη (μη συζευγμένα) ηλεκτρόνια έλκεται από ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο.
- Στην περίπτωση αυτή τα άτομα ή τα ιόντα χαρακτηρίζονται ως **παραμαγνητικά (paramagnetic)**.
- $_{47}\text{Ag}$ ($[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^1$) 
- Ο άργυρος είναι παραμαγνητικός λόγω του μονήρους (μη συζευγμένου) ηλεκτρονίου στο τροχιακό 5s (πείραμα Stern-Gerlach).

Πείραμα Stern-Gerlach



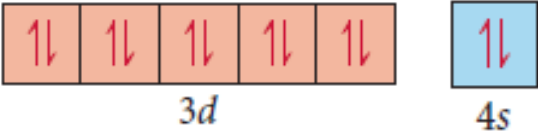
- Μία δέσμη ατόμων αργύρου χωρίζεται σε δύο διαφορετικές συνιστώσες κατά τη διέλευσή της μέσα από ένα μη ομογενές μαγνητικό πεδίο.

Μέτρηση των παραμαγνητικών ιδιοτήτων





Διαμαγνητικά άτομα και ιόντα

- Ένα άτομο ή ένα ιόν στο οποίο όλα του τα ηλεκτρόνια είναι συζευγμένα δεν έλκεται από ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο.
- Στην περίπτωση αυτή τα άτομα ή τα ιόντα χαρακτηρίζονται ως **διαμαγνητικά (diamagnetic)**.
- $_{30}\text{Zn} ([\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2)$ 
The diagram shows five red boxes representing 3d orbitals, each containing a pair of electrons (up and down arrows). Below them is the label '3d'. To the right is a blue box representing a 4s orbital, also containing a pair of electrons. Below it is the label '4s'.
- Ο ψευδάργυρος είναι διαμαγνητικός γιατί όλα του τα ηλεκτρόνια είναι συζευγμένα (ή δεν έχει μονήρη ηλεκτρόνια).
- Οι μαγνητικές ιδιότητες του ιόντος του ψευδαργύρου επιβεβαιώνουν ότι κατά τον ιονισμό του ψευδαργύρου απομακρύνονται πρώτα τα ηλεκτρόνια 4s πριν από τα ηλεκτρόνια 3d.

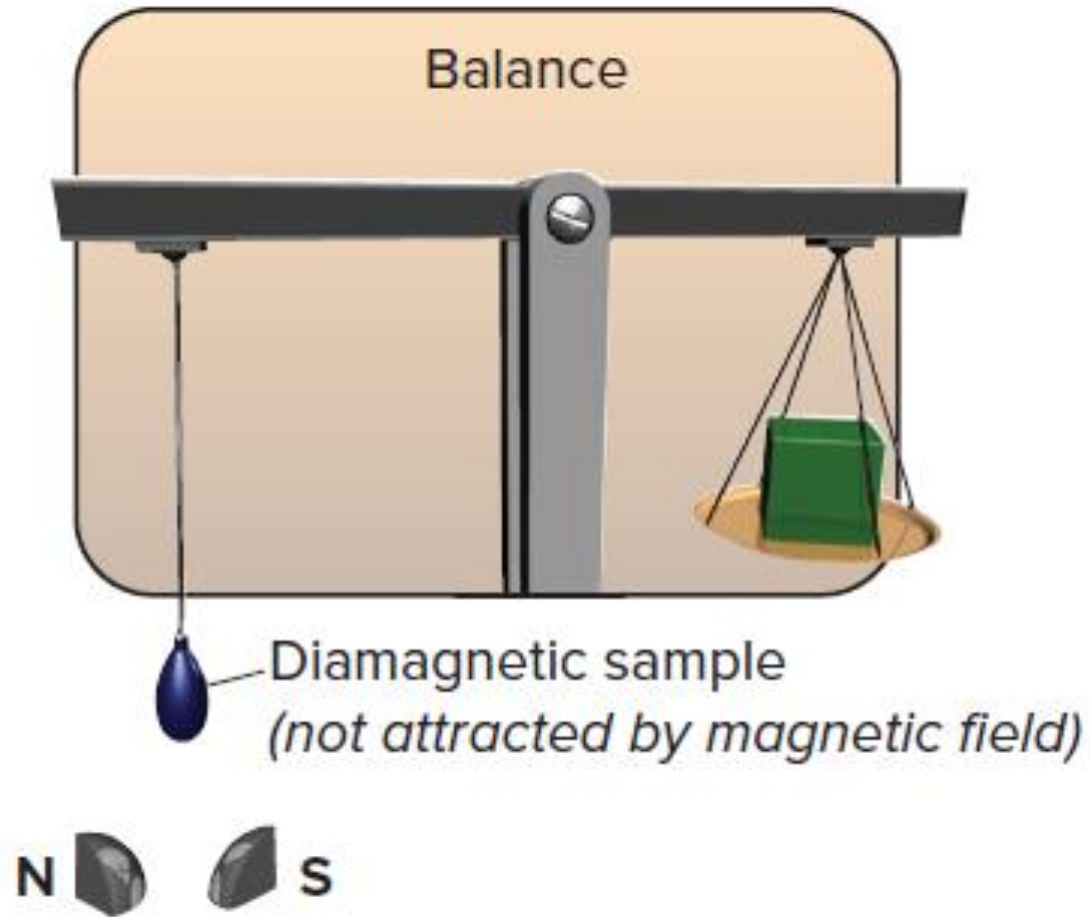


Διαμαγνητικά άτομα και ιόντα

- Εάν κατά τον ιονισμό του, ο ψευδάργυρος έχανε δύο $3d$ ηλεκτρόνια, τότε το ιόν Zn^{2+} θα ήταν παραμαγνητικό (επειδή τα δύο ηλεκτρόνια θα έφευγαν από δύο διαφορετικά συμπληρωμένα τροχιακά d , αφήνοντας καθένα από αυτά τα τροχιακά με ένα μονήρες ηλεκτρόνιο).
- Αυτό δεν συμβαίνει και το ιόν ψευδαργύρου, όπως και το άτομο του ψευδαργύρου, είναι διαμαγνητικό επειδή απομακρύνονται τα ηλεκτρόνια από το τροχιακό $4s$:
- $_{30}\text{Zn}^{2+} ([\text{Ar}] 3d^{10} 4s^0)$

↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	
$3d$					$4s$

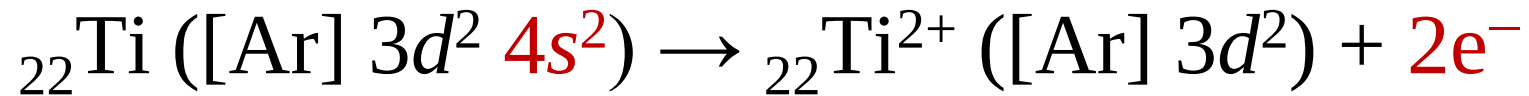
Μέτρηση των διαμαγνητικών ιδιοτήτων



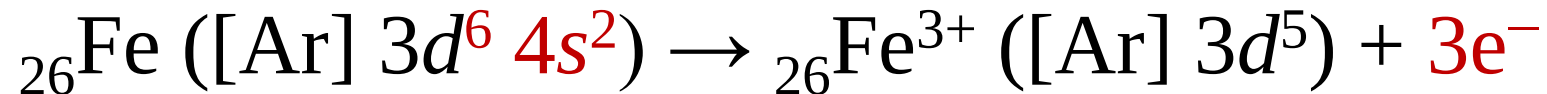


Παραμαγνητικά και διαμαγνητικά άτομα και ιόντα

- Τόσο το τιτάνιο, $_{22}\text{Ti}$, όσο και το ιόν του τιτανίου $_{22}\text{Ti}^{2+}$, είναι παραμαγνητικά:



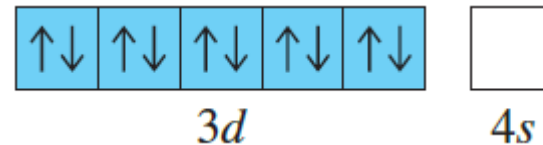
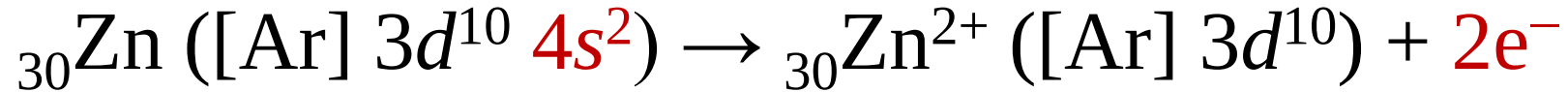
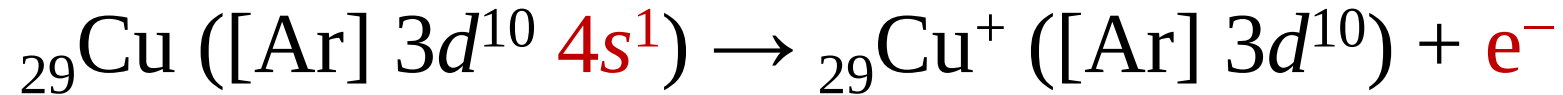
- Όταν ο μεταλλικός σίδηρος, $_{26}\text{Fe}$, γίνεται ιόν $_{26}\text{Fe}^{3+}$, τότε παρατηρείται αύξηση των παραμαγνητικών ιδιοτήτων:





Παραμαγνητικά και διαμαγνητικά άτομα και ιόντα

- Το μεταλλικός χαλκός, $_{29}\text{Cu}$, είναι παραμαγνητικός, αλλά ο μεταλλικός ψευδάργυρος, $_{30}\text{Zn}$, είναι διαμαγνητικός.
- Τα ιόντα Cu^+ και Zn^{2+} είναι και τα δύο διαμαγνητικά:





Ακτίνες των ιόντων

- Η ιοντική ακτίνα ορίζεται ως η ακτίνα των ανιόντων και των κατιόντων στις κρυσταλλικές ιοντικές ενώσεις.
- Οι ακτίνες των κατιόντων είναι μικρότερες από τις ακτίνες των ουδετέρων ατόμων.
- Οι ακτίνες των ανιόντων είναι μεγαλύτερες από τις ακτίνες των ουδετέρων ατόμων.
- Οι ακτίνες των ιόντων ακολουθούν περίπου την ίδια περιοδικότητα με τις ακτίνες των ουδετέρων ατόμων.

Ακτίνες των ιόντων



Group 1A	Group 2A	Group 3A	Group 6A	Group 7A
Li^+ 0.90 Li 1.28	Be^{2+} 0.59 Be 0.96	B^{3+} 0.41 B 0.84	O^{2-} 1.26 O 0.66	F^- 1.19 F 0.57
Na^+ 1.16 Na 1.66	Mg^{2+} 0.86 Mg 1.41	Al^{3+} 0.68 Al 1.21	S^{2-} 1.70 S 1.05	Cl^- 1.67 Cl 1.02
K^+ 1.52 K 2.03	Ca^{2+} 1.14 Ca 1.76	Ga^{3+} 0.76 Ga 1.22	Se^{2-} 1.84 Se 1.20	Br^- 1.82 Br 1.20
Rb^+ 1.66 Rb 2.20	Sr^{2+} 1.32 Sr 1.95	In^{3+} 0.94 In 1.42	Te^{2-} 2.07 Te 1.38	I^- 2.06 I 1.39

= cation
 = anion
 = neutral atom

- Για ιόντα που έχουν το ίδιο φορτίο, η ιοντική ακτίνα αυξάνεται καθώς αυξάνεται ο ατομικός αριθμός.
- Δηλαδή, η ιοντική ακτίνα αυξάνεται από πάνω προς τα κάτω στον περιοδικό πίνακα, καθώς αυξάνεται ο κύριος κβαντικός αριθμός των κατειλημμένων τροχιακών της εξωτερικής στιβάδας του ιόντος.



Ιοντικές ακτίνες

- Τα ισοηλεκτρονιακά ιόντα περιέχουν όλα τον ίδιο αριθμό ηλεκτρονίων. Για παράδειγμα, τα ιόντα O^{2-} , F^{-} , Na^{+} , Mg^{2+} και Al^{3+} έχουν όλα 10 ηλεκτρόνια.
- Σε μία ισοηλεκτρονική σειρά ιόντων, το πυρηνικό φορτίο αυξάνεται καθώς αυξάνεται ο ατομικός αριθμός του ιόντος.
- Επειδή ο αριθμός των ηλεκτρονίων παραμένει σταθερός, η ιοντική ακτίνα μειώνεται με την αύξηση του πυρηνικού φορτίου.
- Αυτό συμβαίνει γιατί τα ηλεκτρόνια έλκονται πιο ισχυρά από τον πυρήνα.



Ιοντικές ακτίνες

- Στα ισοηλεκτρονιακά ιόντα, όσο αυξάνεται ο ατομικός αριθμός, αυξάνεται και το φορτίο του πυρήνα, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ιοντική ακτίνα.

Increasing nuclear charge →				
8 protons 10 electrons	9 protons 10 electrons	11 protons 10 electrons	12 protons 10 electrons	13 protons 10 electrons
O^{2-}	F^{-}	Na^{+}	Mg^{2+}	Al^{3+}
1.26 Å	1.19 Å	1.16 Å	0.86 Å	0.68 Å
Decreasing ionic radius →				



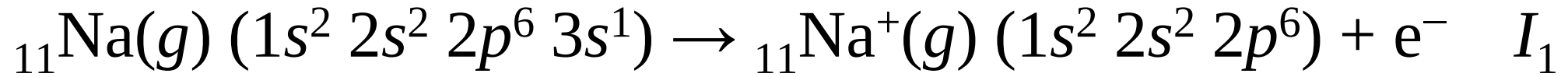
Ενέργεια ιοντισμού, I (ionization energy)

- Η ευκολία με την οποία μπορούν να αφαιρεθούν τα ηλεκτρόνια από ένα άτομο ή ένα ιόν έχει πολύ σημαντική επίδραση στη χημική συμπεριφορά του ατόμου.
- Η **ενέργεια** (ή δυναμικό) **ιοντισμού** ενός ατόμου ή ενός ιόντος, I_i , είναι η ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για την απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από ένα ελεύθερο ουδέτερο άτομο ή ιόν το οποίο βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση και στην αέρια φάση.



Ενέργεια Ιοντισμού

- Έστω για παράδειγμα το άτομο του νατρίου, $_{11}\text{Na}$:



- ✓ πρώτη ενέργεια ιοντισμού: I_1
- ✓ δεύτερη ενέργεια ιοντισμού: I_2
- ✓ τρίτη ενέργεια ιοντισμού: I_3 , κλπ.
- Το μέγεθος της ενέργειας ιοντισμού είναι ενδεικτικό της ενέργειας η οποία απαιτείται για την αφαίρεση ενός ηλεκτρονίου.
- Όσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια ιοντισμού, τόσο πιο δύσκολο είναι να αφαιρεθεί ένα ηλεκτρόνιο.

Ενέργεια Ιοντισμού



TABLE 7.2 Successive Values of Ionization Energies, I , for the Elements Sodium through Argon (kJ/mol)

Element	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
Na	496	4562					
Mg	738	1451	7733		(inner-shell electrons)		
Al	578	1817	2745	11,577			
Si	786	1577	3232	4356	16,091		
P	1012	1907	2914	4964	6274	21,267	
S	1000	2252	3357	4556	7004	8496	27,107
Cl	1251	2298	3822	5159	6542	9362	11,018
Ar	1521	2666	3931	5771	7238	8781	11,995

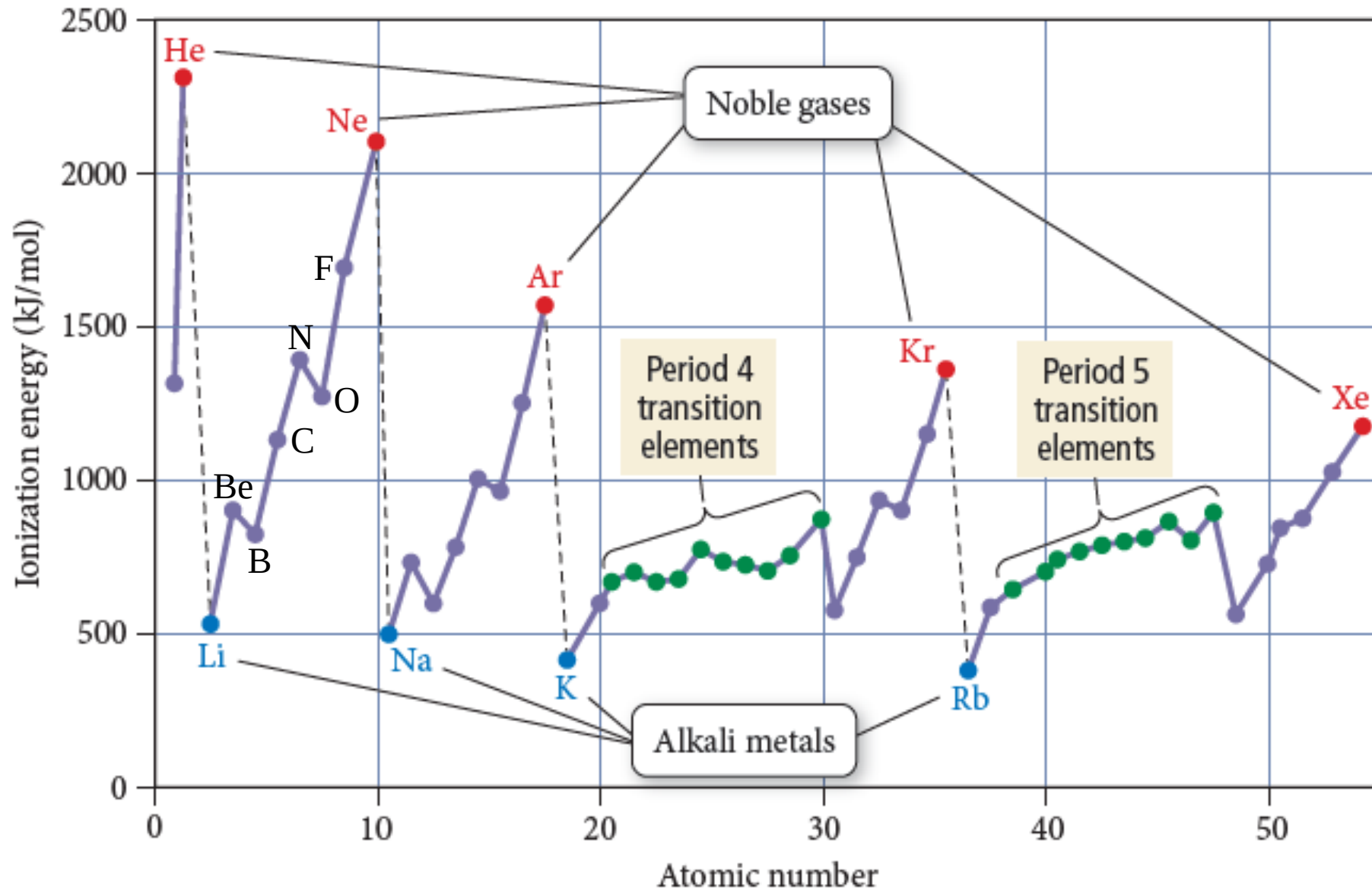
- Οι ενέργειες ιοντισμού ενός στοιχείου αυξάνονται καθώς αφαιρούνται διαδοχικά περαιτέρω ηλεκτρόνια: $I_1 < I_2 < I_3$, κ.ο.κ.
- Η ενέργεια ιοντισμού αυξάνεται κατακόρυφα κατά την απομάκρυνση ηλεκτρονίων των εσωτερικών στιβάδων (inner-shell electrons).



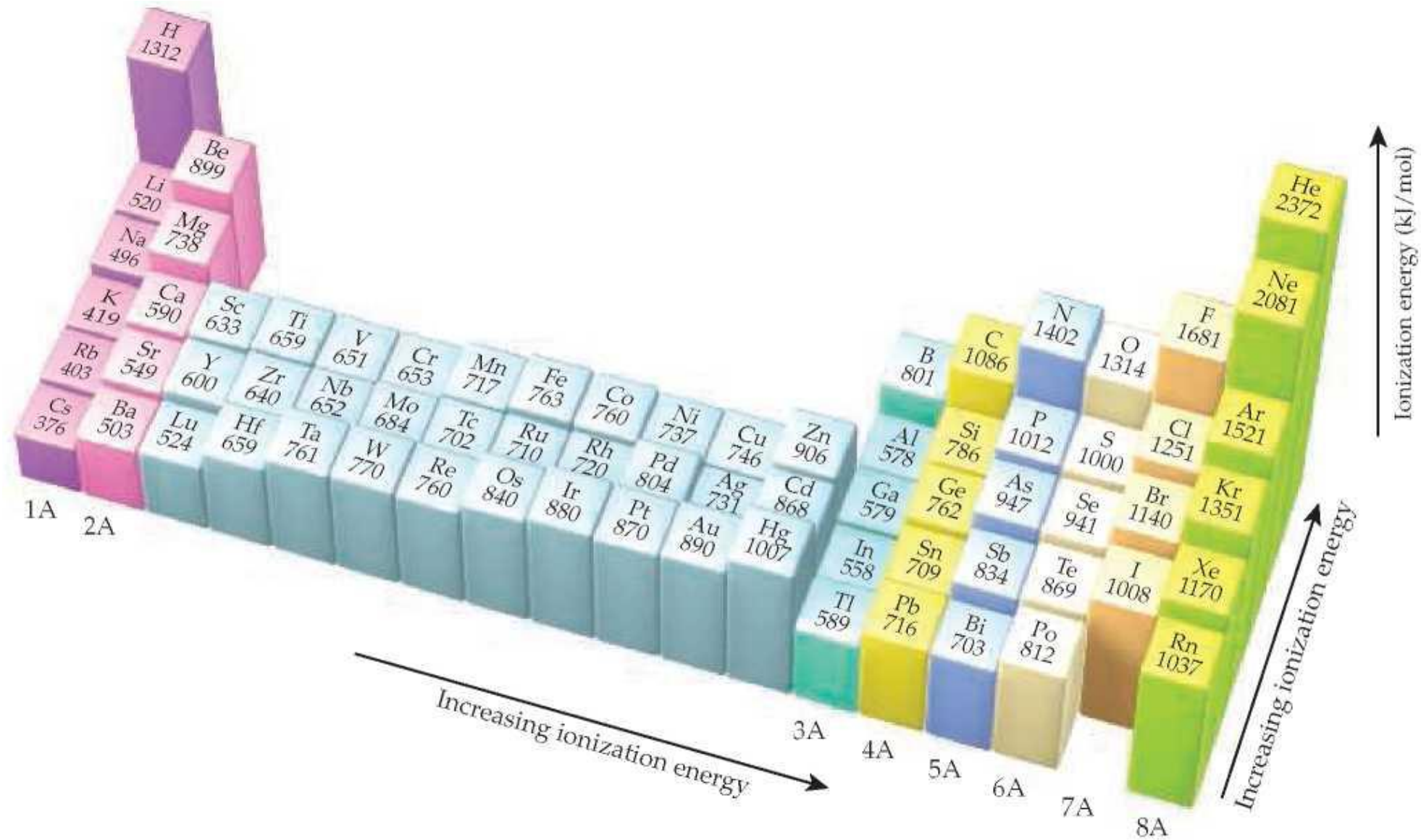
Ενέργεια Ιοντισμού

- Όλα τα στοιχεία παρουσιάζουν πολύ μεγάλη αύξηση της ενέργειας ιοντισμού κατά την αφαίρεση του πρώτου ηλεκτρονίου των εσωτερικών στιβάδων.
- Κατά συνέπεια, μόνο τα **ηλεκτρόνια των εξωτερικών στιβάδων (ηλεκτρόνια σθένους)** εμπλέκονται στο σχηματισμό **χημικών δεσμών**, καθώς και στην πραγματοποίηση **χημικών αντιδράσεων**.

Ενέργεια πρώτου ιοντισμού, I_1



Ενέργεια πρώτου ιοντισμού, I_1





Ενέργεια πρώτου ιοντισμού, I_1

- Κατά κανόνα, τα μικρότερα σε μέγεθος άτομα έχουν υψηλότερες ενέργειες ιοντισμού.
- Οι ίδιοι παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος των ατόμων επηρεάζουν και τις ενέργειες ιοντισμού.
- Η ενέργεια που απαιτείται για την απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από τη στιβάδα σθένους (εξωτερικά τροχιακά) εξαρτάται από:
 - i. το δραστικό φορτίο του πυρήνα
 - ii. τη μέση απόσταση του ηλεκτρονίου από τον πυρήνα.



Ενέργεια πρώτου ιοντισμού, I_1

- Η έλξη μεταξύ του εξωτερικού ηλεκτρονίου και του πυρήνα αυξάνεται με:
 - i. την αύξηση του δραστικού φορτίου του πυρήνα
 - ii. τη μείωση της απόστασης από τον πυρήνα
- Καθώς αυξάνεται η έλξη μεταξύ του εξωτερικού ηλεκτρονίου και του πυρήνα γίνεται πιο δύσκολη η απομάκρυνση του εξωτερικού ηλεκτρονίου.
- Κατά συνέπεια, αυξάνεται η ενέργεια ιοντισμού.



Ενέργεια πρώτου ιοντισμού, I_1

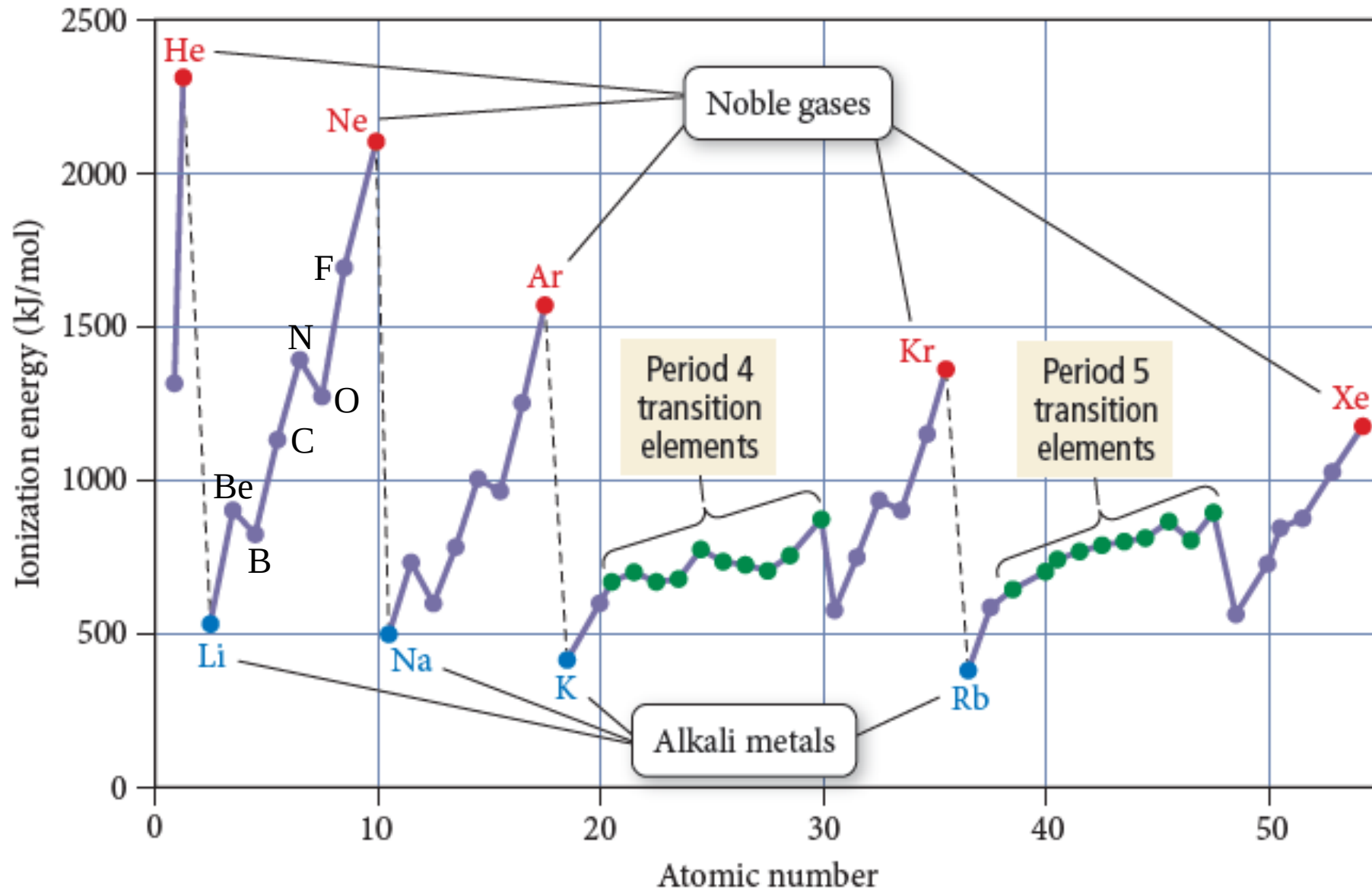
- Σε κάθε **ομάδα** του περιοδικού πίνακα, η ενέργεια πρώτου ιοντισμού μειώνεται όσο αυξάνεται ο ατομικός αριθμός (μειώνεται από πάνω προς τα κάτω).
- Από πάνω προς τα κάτω σε μια ομάδα του περιοδικού πίνακα, η ατομική ακτίνα αυξάνεται, ενώ το δραστικό πυρηνικό φορτίο αυξάνεται ελαφρώς.
- Ωστόσο, επικρατεί η αύξηση της ατομικής ακτίνας.
- Άρα, η έλξη μεταξύ του πυρήνα και του ηλεκτρονίου μειώνεται, προκαλώντας τη μείωση της ενέργειας ιοντισμού.



Ενέργεια πρώτου ιοντισμού, I_1

- Κατά μήκος κάθε περιόδου του περιοδικού πίνακα, η ενέργεια πρώτου ιοντισμού κατά κανόνα αυξάνεται όσο αυξάνεται ο ατομικός αριθμός.
- Η ενέργεια πρώτου ιοντισμού αυξάνεται από τα αριστερά προς τα δεξιά κατά μήκος μίας περιόδου.
- Τα αλκάλια έχουν τη μικρότερη ενέργεια πρώτου ιοντισμού ενώ τα ευγενή αέρια τη μεγαλύτερη.
- Κατά μήκος μίας περιόδου, αυξάνεται το δραστικό πυρηνικό φορτίο και μειώνεται η ατομική ακτίνα.
- Κατά συνέπεια, αυξάνεται η ενέργεια πρώτου ιοντισμού.

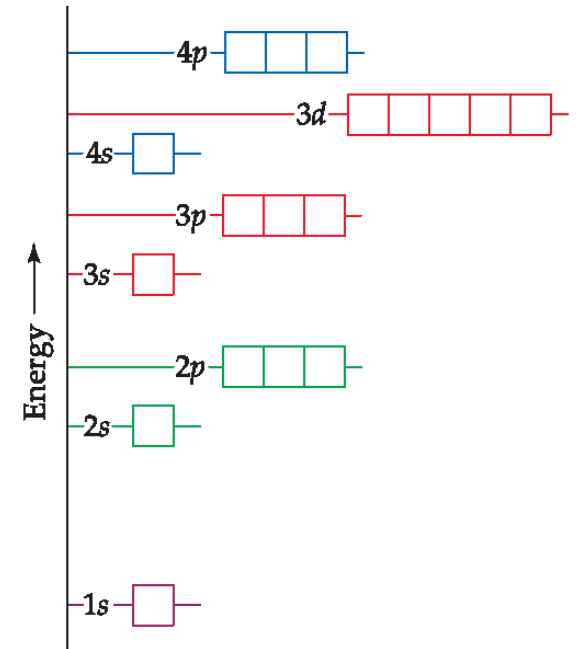
Ενέργεια πρώτου ιοντισμού, I_1





Ενέργεια πρώτου ιοντισμού, I_1

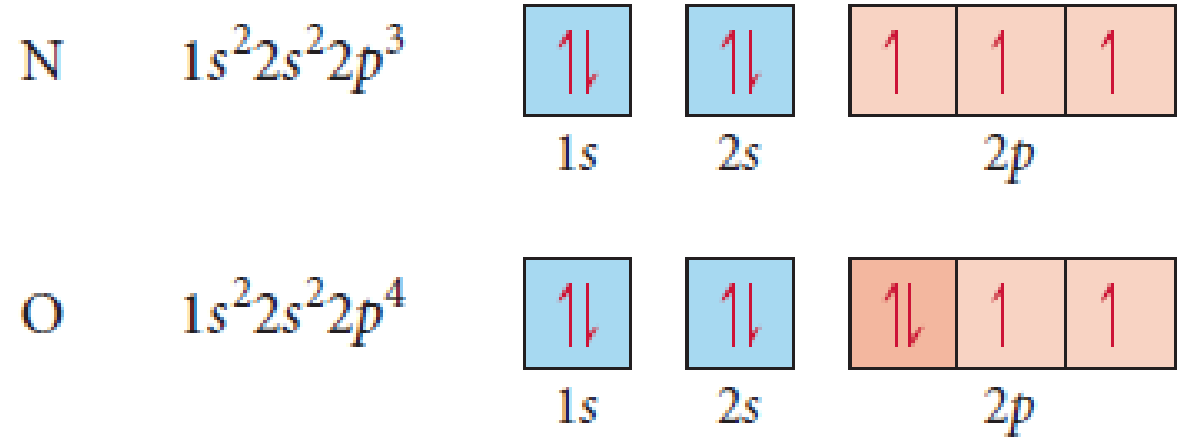
- Η μείωση της ενέργειας ιοντισμού από το βηρύλλιο, ${}_4\text{Be}$ ($1s^2 2s^2$) στο βόριο ${}_5\text{B}$ ($1s^2 2s^2 2p^1$), συμβαίνει επειδή το τρίτο ηλεκτρόνιο σθένους του B καταλαμβάνει την υποστιβάδα $2p$, η οποία είναι μη κατειλημμένη για το Be.
- Η υποστιβάδα $2p$ έχει υψηλότερη ενέργεια από την υποστιβάδα $2s$.
- Άρα μειώνεται ελαφρώς η ενέργεια ιοντισμού του B σε σύγκριση με το Be.
- Αντίστοιχες εξαιρέσεις συμβαίνουν για το αργίλιο Al και το γάλλιο Ga, τα οποία βρίσκονται ακριβώς κάτω από το βόριο στην ομάδα III_A .





Ενέργεια πρώτου ιοντισμού, I_1

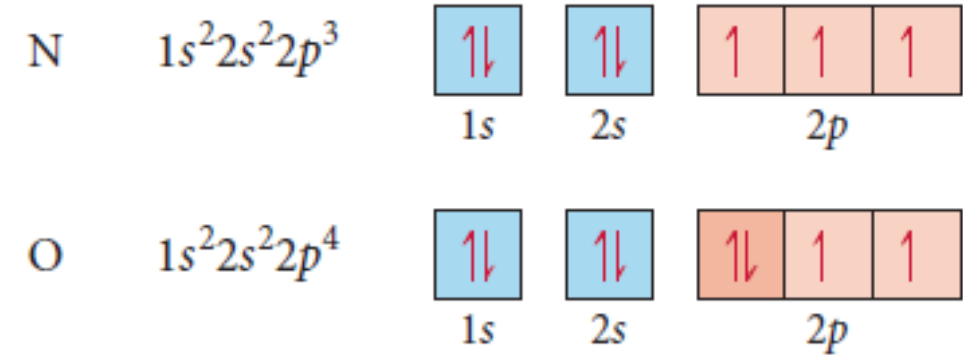
- Η σχετικά μικρή μείωση της ενέργειας ιοντισμού κατά τη μετάβαση από το άζωτο ${}_7\text{N}$ ($1s^2 2s^2 2p^3$) στο οξυγόνο ${}_8\text{O}$ ($1s^2 2s^2 2p^4$) προκύπτει από τις απωστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των ηλεκτρονίων όταν καταλαμβάνουν το ίδιο τροχιακό.
- Στο άτομο του οξυγόνου αναπτύσσονται απωστικές δυνάμεις μεταξύ των συζευγμένων ηλεκτρονίων στην ηλεκτρονιακή διαμόρφωση $2p^4$.





Ενέργεια πρώτου ιοντισμού, I_1

- Το άζωτο έχει τρία ηλεκτρόνια στα τρία p τροχιακά, ενώ το οξυγόνο έχει τέσσερα.

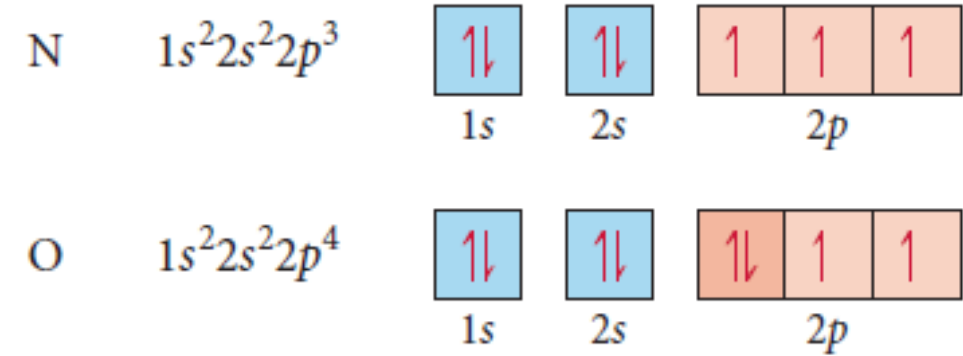


- Σύμφωνα με τον κανόνα του Hund, τα ηλεκτρόνια στη διαμόρφωση $2p^3$ βρίσκονται σε διαφορετικό τροχιακό p με παράλληλο spin.
- Η ηλεκτρονιακή αυτή διαμόρφωση ελαχιστοποιεί τις απωστικές δυνάμεις μεταξύ των τριών ηλεκτρονίων στα τρία τροχιακά $2p$.
- Στο άζωτο, τα τροχιακά $2p$ είναι ημι-συμπληρωμένα γεγονός που καθιστά την ηλεκτρονιακή αυτή διαμόρφωση ιδιαίτερα σταθερή.



Ενέργεια πρώτου ιοντισμού, I_1

- Ένα από τα τέσσερα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στα τροχιακά $2p$ του οξυγόνου πρέπει να σχηματίσει ζεύγος με ένα άλλο ηλεκτρόνιο.



- Για το λόγο αυτό, αυξάνεται η ενέργεια του ατόμου του οξυγόνου και κατά συνέπεια μειώνεται η ενέργεια πρώτου ιοντισμού του σε σύγκριση με το άτομο του αζώτου.
- Αντίστοιχες εξαιρέσεις συμβαίνουν για το θείο S και το σεληνίο Se, τα οποία βρίσκονται ακριβώς κάτω από το οξυγόνο στην ομάδα VI_A .



Μέταλλα, αμέταλλα και μεταλλοειδή

- Τα στοιχεία στον περιοδικό πίνακα μπορούν να διακριθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:
- ✓ τα **μέταλλα**
- ✓ τα **αμέταλλα**
- ✓ τα **μεταλλοειδή**

Μέταλλα, αμέταλλα και μεταλλοειδή



																		VIII _A 18		
I _A 1		II _A 2										III _A 13	IV _A 14	V _A 15	VI _A 16	VII _A 17				
1 H 1s ¹												5 B 2s ² 2p ¹	6 C 2s ² 2p ²	7 N 2s ² 2p ³	8 O 2s ² 2p ⁴	9 F 2s ² 2p ⁵	10 Ne 2s ² 2p ⁶			
[He]																				
11 Na 3s ¹		12 Mg 3s ²		VIII _B								13 Al 3s ² 3p ¹	14 Si 3s ² 3p ²	15 P 3s ² 3p ³	16 S 3s ² 3p ⁴	17 Cl 3s ² 3p ⁵	18 Ar 3s ² 3p ⁶			
[Ne]			III _B 3	IV _B 4	V _B 5	VI _B 6	VII _B 7	8	9	10	I _B 11	II _B 12								
19 K 4s ¹		20 Ca 4s ²		21 Sc 3d ¹ 4s ²	22 Ti 3d ² 4s ²	23 V 3d ³ 4s ²	24 Cr 3d ⁵ 4s ¹	25 Mn 3d ⁵ 4s ²	26 Fe 3d ⁶ 4s ²	27 Co 3d ⁷ 4s ²	28 Ni 3d ⁸ 4s ²	29 Cu 3d ¹⁰ 4s ¹	30 Zn 3d ¹⁰ 4s ²	31 Ga 3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹	32 Ge 3d ¹⁰ 4s ² 4p ²	33 As 3d ¹⁰ 4s ² 4p ³	34 Se 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴	35 Br 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵	36 Kr 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶	
[Ar]																				
37 Rb 5s ¹		38 Sr 5s ²		39 Y 4d ¹ 5s ²	40 Zr 4d ² 5s ²	41 Nb 4d ⁴ 5s ¹	42 Mo 4d ⁵ 5s ¹	43 Tc 4d ⁵ 5s ²	44 Ru 4d ⁷ 5s ¹	45 Rh 4d ⁸ 5s ¹	46 Pd 4d ¹⁰	47 Ag 4d ¹⁰ 5s ¹	48 Cd 4d ¹⁰ 5s ²	49 In 4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹	50 Sn 4d ¹⁰ 5s ² 5p ²	51 Sb 4d ¹⁰ 5s ² 5p ³	52 Te 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴	53 I 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵	54 Xe 4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶	
[Kr]																				
55 Cs 6s ¹		56 Ba 6s ²		57 La* 5d ¹ 6s ²	72 Hf 4f ¹⁴ 5d ² 6s ²	73 Ta 4f ¹⁴ 5d ³ 6s ²	74 W 4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ²	75 Re 4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ²	76 Os 4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ²	77 Ir 4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ²	78 Pt 4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹	79 Au 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹	80 Hg 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²	81 Tl 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹	82 Pb 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²	83 Bi 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³	84 Po 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴	85 At 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁵	86 Rn 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶	
[Xe]																				
87 Fr 7s ¹		88 Ra 7s ²		89 Ac** 6d ¹ 7s ²	104 Rf 5f ¹⁴ 6d ² 7s ²	105 Db 5f ¹⁴ 6d ³ 7s ²	106 Sg 5f ¹⁴ 6d ⁴ 7s ²	107 Bh 5f ¹⁴ 6d ⁵ 7s ²	108 Hs 5f ¹⁴ 6d ⁶ 7s ²	109 Mt 5f ¹⁴ 6d ⁷ 7s ²	110 Ds 5f ¹⁴ 6d ⁹ 7s ¹	111 Rg 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ¹	112 Cn 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ²	113 Nh 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ¹	114 Fl 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ²	115 Mc 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ³	116 Lv 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁴	117 Ts 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁵	118 Og 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁶	
[Rn]																				

Μέταλλα



- Μέταλλα: περίπου τα $\frac{3}{4}$ των στοιχείων του περιοδικού πίνακα είναι μέταλλα (92 στοιχεία).
- Ανήκουν όλα τα στοιχεία του s -τομέα εκτός από το H και το He, όλα τα στοιχεία μετάπτωσης (d -τομέας) οι λανθανίδες και οι ακτινίδες (f -τομέας) και μερικά από τα στοιχεία του p -τομέα.

Χαρακτηριστικές ιδιότητες των μετάλλων

- Έχουν μεταλλική λάμψη.
- Έχουν συνήθως ασημί χρώμα.
- Είναι ελατά (σχηματίζουν ελάσματα = λεπτά φύλλα) και όλκιμα (σχηματίζουν σύρματα).
- Είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρισμού.
- Όλα είναι στερεά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος εκτός από τον υδράργυρο ο οποίος είναι υγρός.
- Έχουν συνήθως πολύ υψηλά σημεία τήξεως.
- Σχηματίζουν κατιόντα σε υδατικά διαλύματα.



Περιοδικός πίνακας των στοιχείων



Metals

Metalloids

Nonmetals

1A 1	2A 2											Silicon		Arsenic		Carbon			
1 H 1s ¹		3B	4B	5B	6B	7B	8	9	10	1B	2B	13 Al 3s ² 3p ¹	14 Si 3s ² 3p ²	15 P 3s ² 3p ³	16 S 3s ² 3p ⁴	17 Cl 3s ² 3p ⁵	18 Ar 3s ² 3p ⁶	2 He 1s ²	
2 Li 2s ¹	4 Be 2s ²																		
3 Na 3s ¹	12 Mg 3s ²	21 Sc 4s ² 3d ¹	22 Ti 4s ² 3d ²	23 V 4s ² 3d ³	24 Cr 4s ¹ 3d ⁵	25 Mn 4s ² 3d ⁵	26 Fe 4s ² 3d ⁶	27 Co 4s ² 3d ⁷	28 Ni 4s ² 3d ⁸	29 Cu 4s ¹ 3d ¹⁰	30 Zn 4s ² 3d ¹⁰	31 Ga 4s ² 4p ¹	32 Ge 4s ² 4p ²	33 As 4s ² 4p ³	34 Se 4s ² 4p ⁴	35 Br 4s ² 4p ⁵	36 Kr 4s ² 4p ⁶		
4 K 4s ¹	20 Ca 4s ²	39 Y 5s ² 4d ¹	40 Zr 5s ² 4d ²	41 Nb 5s ¹ 4d ⁴	42 Mo 5s ¹ 4d ⁵	43 Tc 5s ² 4d ⁵	44 Ru 5s ¹ 4d ⁷	45 Rh 5s ¹ 4d ⁸	46 Pd 4d ¹⁰	47 Ag 5s ¹ 4d ¹⁰	48 Cd 5s ² 4d ¹⁰	49 In 5s ² 5p ¹	50 Sn 5s ² 5p ²	51 Sb 5s ² 5p ³	52 Te 5s ² 5p ⁴	53 I 5s ² 5p ⁵	54 Xe 5s ² 5p ⁶		
5 Rb 5s ¹	38 Sr 5s ²	57 La 6s ² 5d ¹	72 Hf 6s ² 5d ²	73 Ta 6s ² 5d ³	74 W 6s ² 5d ⁴	75 Re 6s ² 5d ⁵	76 Os 6s ² 5d ⁶	77 Ir 6s ² 5d ⁷	78 Pt 6s ¹ 5d ⁹	79 Au 6s ¹ 5d ¹⁰	80 Hg 6s ² 5d ¹⁰	81 Tl 6s ² 6p ¹	82 Pb 6s ² 6p ²	83 Bi 6s ² 6p ³	84 Po 6s ² 6p ⁴	85 At 6s ² 6p ⁵	86 Rn 6s ² 6p ⁶		
6 Cs 6s ¹	56 Ba 6s ²	89 Ac 7s ² 6d ¹	104 Rf 7s ² 6d ²	105 Db 7s ² 6d ³	106 Sg 7s ² 6d ⁴	107 Bh 7s ² 6d ⁵	108 Hs 7s ² 6d ⁶	109 Mt 7s ² 6d ⁷	110 Ds 7s ² 6d ⁸	111 Rg 7s ² 6d ⁹	112 Cn 7s ² 6d ¹⁰	113 Nh 7s ² 6p ¹	114 Fl 7s ² 6p ²	115 Mc 7s ² 6p ³	116 Lv 7s ² 6p ⁴	117 Ts 7s ² 6p ⁵	118 Og 7s ² 6p ⁶		
7 Fr 7s ¹	88 Ra 7s ²																		

Lanthanides

Actinides

58 Ce 6s ² 4f ¹ 5d ¹	59 Pr 6s ² 4f ³	60 Nd 6s ² 4f ⁴	61 Pm 6s ² 4f ⁵	62 Sm 6s ² 4f ⁶	63 Eu 6s ² 4f ⁷	64 Gd 6s ² 4f ⁷ 5d ¹	65 Tb 6s ² 4f ⁹	66 Dy 6s ² 4f ¹⁰	67 Ho 6s ² 4f ¹¹	68 Er 6s ² 4f ¹²	69 Tm 6s ² 4f ¹³	70 Yb 6s ² 4f ¹⁴	71 Lu 6s ² 4f ¹⁴ 6d ¹
90 Th 7s ² 6d ²	91 Pa 7s ² 5f ² 6d ¹	92 U 7s ² 5f ³ 6d ¹	93 Np 7s ² 5f ⁴ 6d ¹	94 Pu 7s ² 5f ⁶	95 Am 7s ² 5f ⁷	96 Cm 7s ² 5f ⁷ 6d ¹	97 Bk 7s ² 5f ⁹	98 Cf 7s ² 5f ¹⁰	99 Es 7s ² 5f ¹¹	100 Fm 7s ² 5f ¹²	101 Md 7s ² 5f ¹³	102 No 7s ² 5f ¹⁴	103 Lr 7s ² 5f ¹⁴ 6d ¹

Strontium

Chromium

Gold

Copper

Lead

Silicon

Arsenic

Carbon

Sulfur

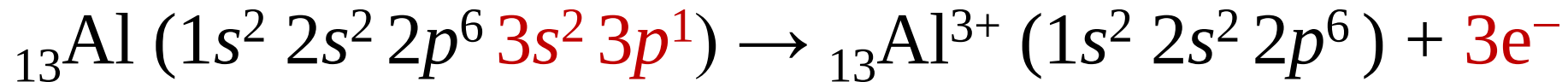
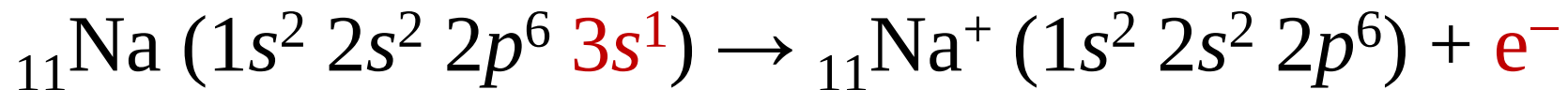
Bromine

Iodine



Χαρακτηριστικές ιδιότητες των μετάλλων

- Τα μέταλλα έχουν σχετικά χαμηλές τιμές ενέργειας ιοντισμού και κατά συνέπεια σχηματίζουν θετικά ιόντα (κατιόντα) σχετικά εύκολα.
- Αποβάλλουν ηλεκτρόνια ώστε να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στιβάδα παρόμοια με αυτή του κοντινότερου ευγενούς αερίου.



- Η ιδιότητα αυτή αποδίδεται στο μικρό αριθμό s ή s και p ηλεκτρονίων, τα οποία μπορούν να απομακρυνθούν σχετικά εύκολα από τα άτομα τους.

218

219



Αμέταλλα

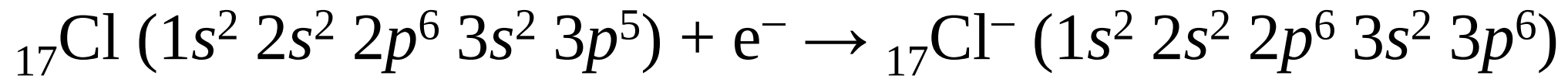
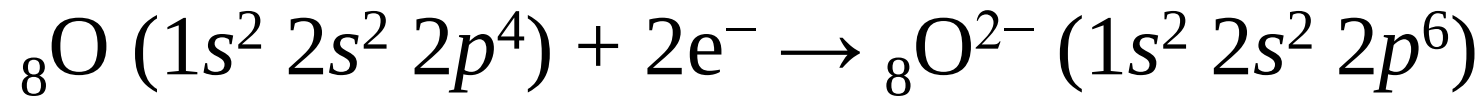
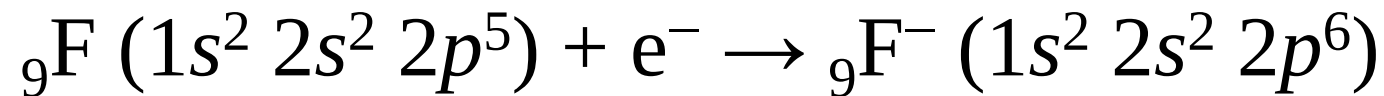
- Αμέταλλα (18 στοιχεία): ανήκουν στον *p*-τομέα του περιοδικού πίνακα.
- Δεν έχουν μεταλλική λάμψη.
- Έχουν διάφορα χρώματα.
- Τα στερεά είναι εύθραυστα.
- Άλλα είναι σκληρά ενώ άλλα είναι μαλακά.
- Κακοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρισμού.
- Σχηματίζουν ανιόντα ή οξυανιόντα (οξυγονούχα ανιόντα) σε υδατικά διαλύματα.





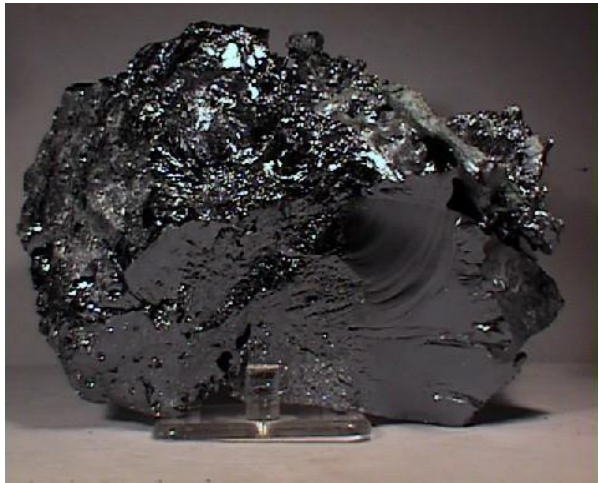
Αμέταλλα

- Εξαιτίας των σχετικά υψηλών κατ' απόλυτη τιμή ηλεκτροσυγγενιών τους, τα αμέταλλα προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια και σχηματίζουν ανιόντα.
- Προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια ώστε να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στιβάδα παρόμοια με αυτή του κοντινότερου ευγενούς αερίου.



Μεταλλοειδή

- Τα μεταλλοειδή (7 στοιχεία) βρίσκονται ανάμεσα στα μέταλλα και τα αμέταλλα.
- Οι ιδιότητες τους μοιάζουν τόσο με αυτές των μετάλλων όσο και των αμετάλλων.
- Κάποια μεταλλοειδή συμπεριφέρονται ως ημιαγωγοί (π.χ. πυρίτιο, Si, γερμάνιο, Ge).



Si



Ge



Μαθησιακά αποτελέσματα

- Αφού μελετήσετε αυτό το κεφάλαιο, θα πρέπει να είστε σε θέση:
- ✓ Να κατανοείτε γιατί δεν μπορεί να λυθεί επακριβώς η εξίσωση του Schrödinger για τα πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα.
- ✓ Να κατανοείτε τι είναι η προσέγγιση των τροχιακών.
- ✓ Να εξηγείτε τι είναι ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός του spin, m_s , και τι τιμές παίρνει.
- ✓ Να διατυπώνετε την απαγορευτική αρχή του Pauli.
- ✓ Να κατανοείτε πως διαχωρίζονται τα ενεργειακά επίπεδα των τροχιακών στα πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα.



Μαθησιακά αποτελέσματα

- Αφού μελετήσετε αυτό το κεφάλαιο, θα πρέπει να είστε σε θέση:
- ✓ Να εξηγείτε τα φαινόμενα της προστασίας ή θωράκισης και της διείσδυση του ηλεκτρονικού νέφους.
- ✓ Να εξηγείτε τι είναι το δραστικό ή αποτελεσματικό φορτίο του πυρήνα και πως επηρεάζει τις περιοδικές ιδιότητες των στοιχείων.
- ✓ Να διατυπώνετε την αρχή ηλεκτρονιακής δόμησης και πως εφαρμόζεται στα πολυ-ηλεκτρονιακά άτομα.
- ✓ Να εξηγείτε τι είναι ο περιοδικός πίνακας των στοιχείων και πως τα στοιχεία τοποθετούνται σε αυτόν.
- Να διατυπώνετε το νόμο της περιοδικότητας του Moseley.



Μαθησιακά αποτελέσματα

- Αφού μελετήσετε αυτό το κεφάλαιο, θα πρέπει να είστε σε θέση:
- ✓ Να εξηγείτε πως μεταβάλλεται το μέγεθος των ατόμων και η ενέργεια ιοντισμού στις ομάδες και τις περιόδους του περιοδικού πίνακα.
- ✓ Να ταξινομείτε τα στοιχεία του περιοδικού πίνακα σε μέταλλα, αμέταλλα και μεταλλοειδή.