

ΥΛΙΚΑ Ι

ΠΑΡΟΝ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Άδειες Χρήσης

-Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται στην άδεια χρήσης Creative Commons και ειδικότερα

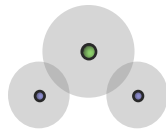
*Αναφορά - Μη εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγο Έργο v. 3.0
(Attribution – Non Commercial – Non-derivatives)*

- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



4

Δεσμοί



Χημικοί δεσμοί μεταξύ ατόμων γίνονται με τα **ηλεκτρόνια σθένους** κατά τέτοιο τρόπο ώστε να **ελαττώνεται** η συνολική ενέργεια του συστήματος

Η ελάχιστη συνολική ενέργεια επιτυγχάνεται όταν κάθε άτομο έχει οκτώ ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στιβάδα

Πρωτεύοντες δεσμοί

Ιοντικός δεσμός

Τα άτομα ανταλλάσσουν ηλεκτρόνια σθένους

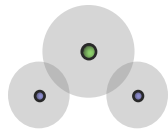
Ομοιοπολικός δεσμός

Τα άτομα μοιράζονται ηλεκτρόνια σθένους

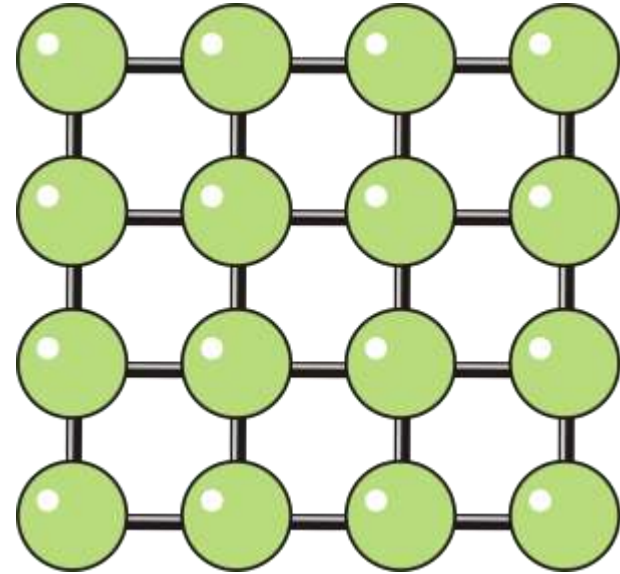
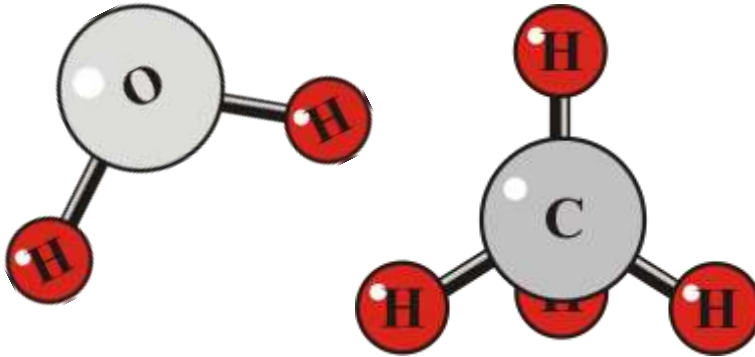
Μεταλλικός δεσμός

Τα ηλεκτρόνια σθένους είναι κοινά για όλα τα άτομα

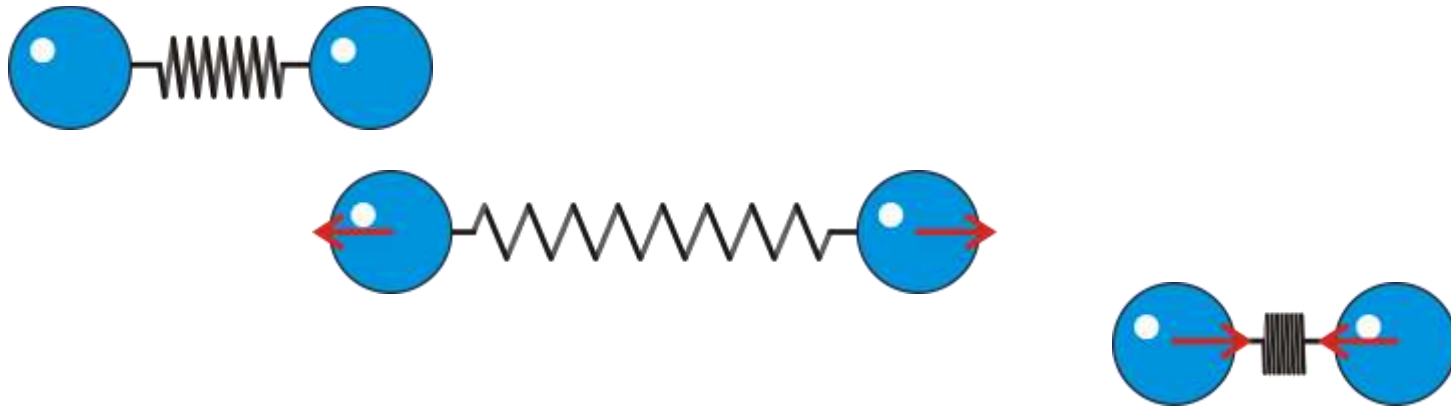
Μηχανικά ανάλογα



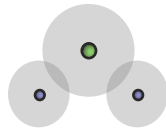
Οι δεσμοί ως «συμπαγείς» ράβδοι



Οι δεσμοί ως «ελατήρια»

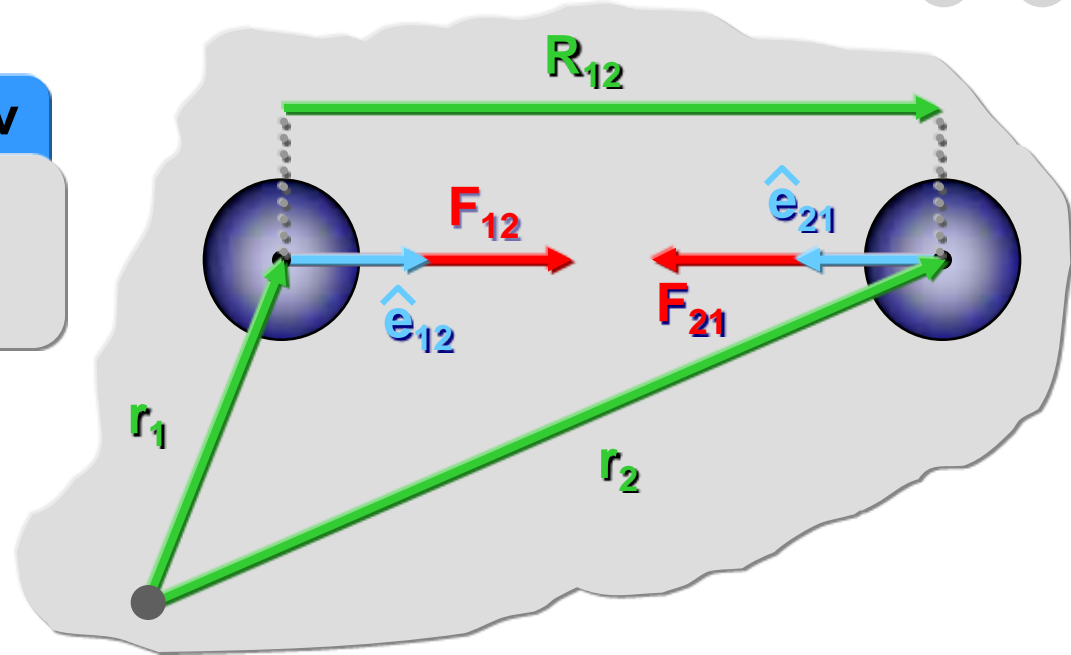


Δυνάμεις μεταξύ των ατόμων



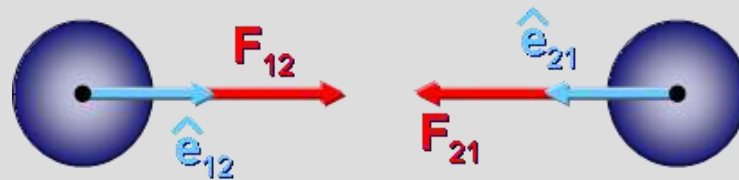
Κεντρικό πεδίο δυνάμεων

$$\mathbf{F}_{12} = f(R_{12}) \mathbf{e}_{12}$$



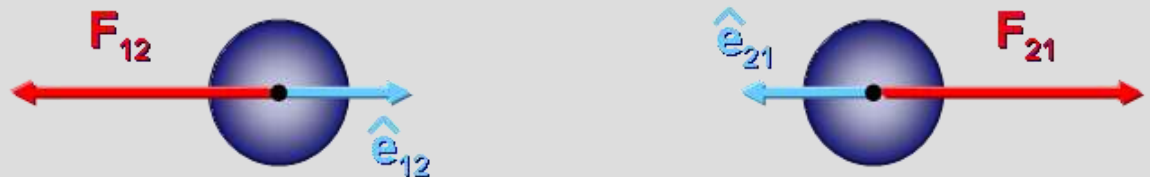
ΕΛΚΤΙΚΕΣ

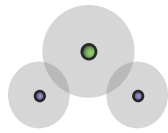
$$f(R_{12}) > 0$$



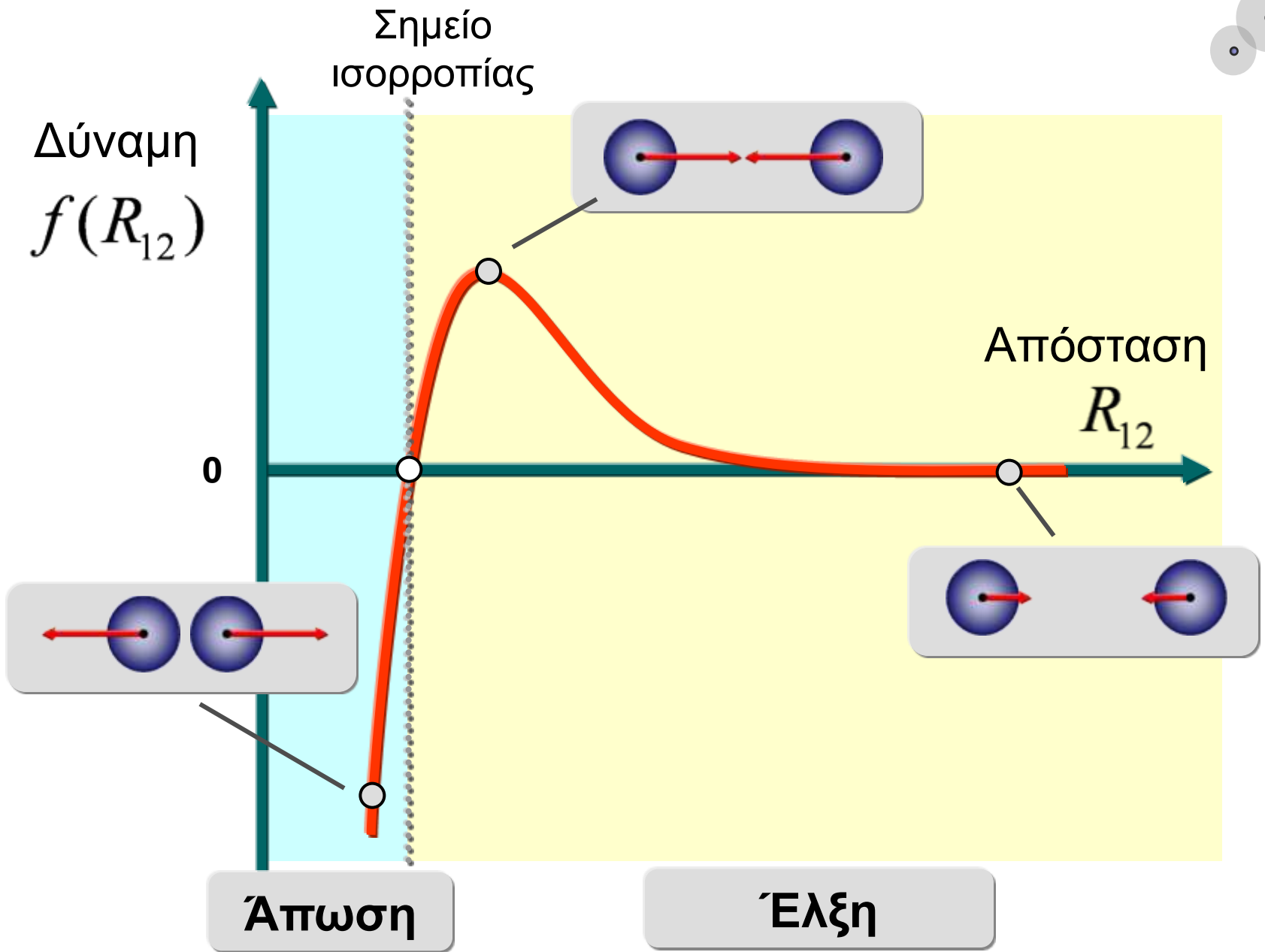
ΑΠΩΣΤΙΚΕΣ

$$f(R_{12}) < 0$$

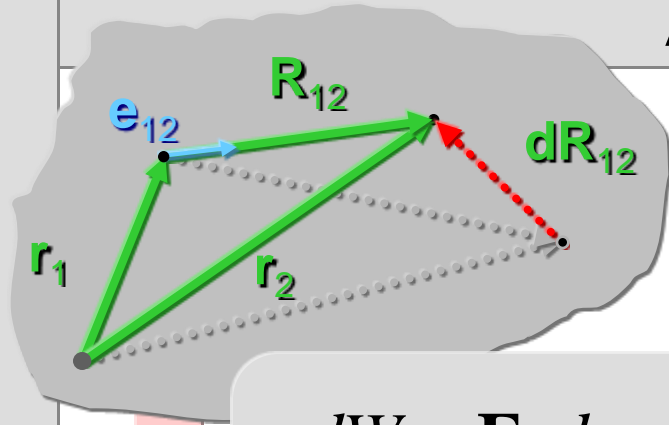




Χημικοί δεσμοί



Δυναμικό



$$\left. \begin{aligned} dW &= \mathbf{F}_{12} d\mathbf{r}_1 + \mathbf{F}_{21} d\mathbf{r}_2 = -\mathbf{F}_{12} d\mathbf{R}_{12} \\ \mathbf{F}_{12} &= f(R_{12}) \mathbf{e}_{12} \end{aligned} \right\} \Rightarrow dW = -f(R_{12}) dR_{12}$$

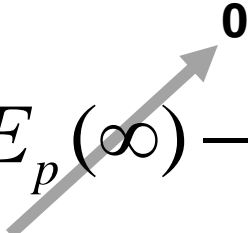
$$dW = -dE_p$$

Έργο
εσωτερικών
δυνάμεων

εσωτερική
ενέργεια

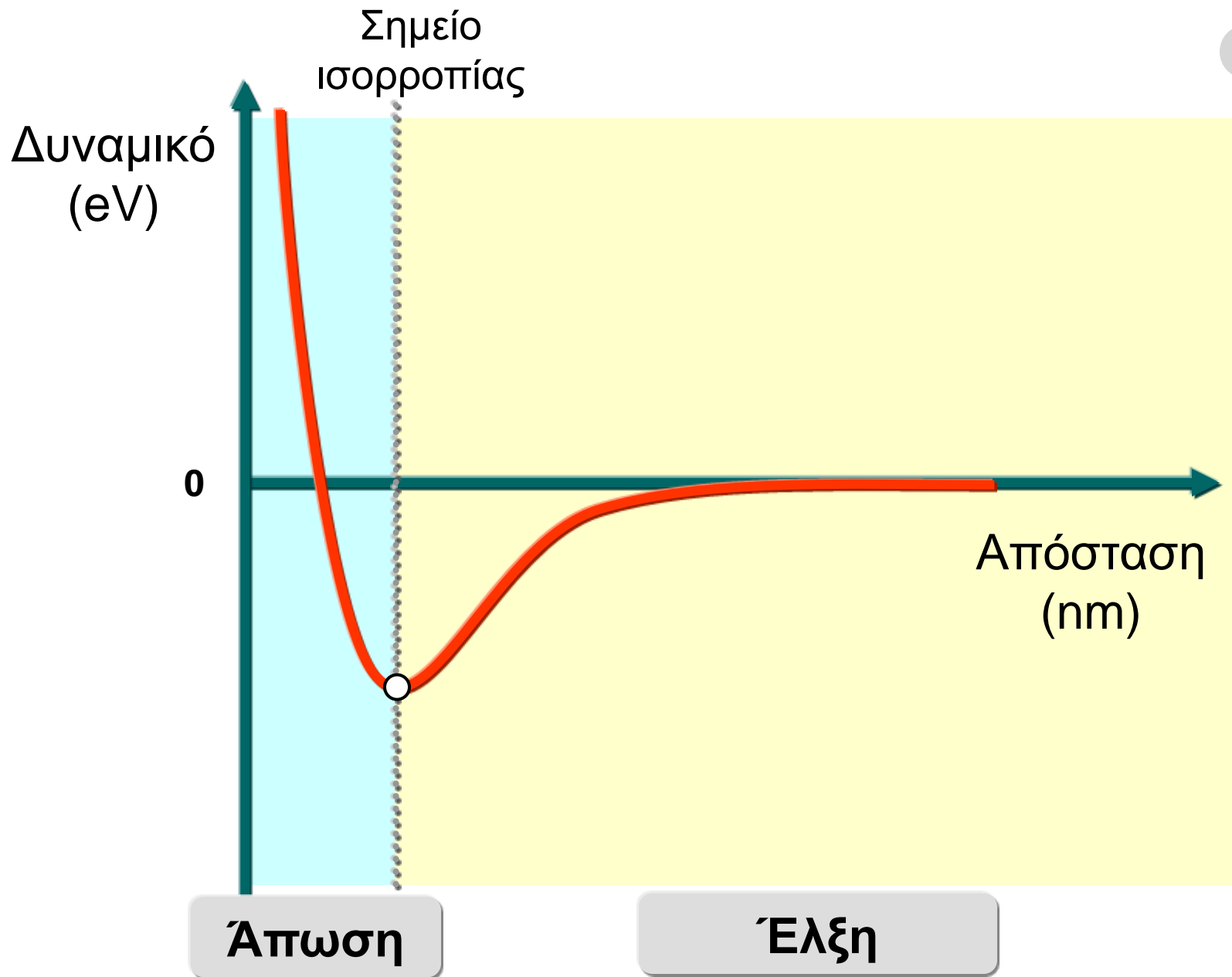
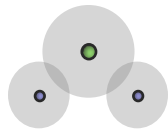
$$E_p(B) - E_p(A) = -\int_A^B dW$$

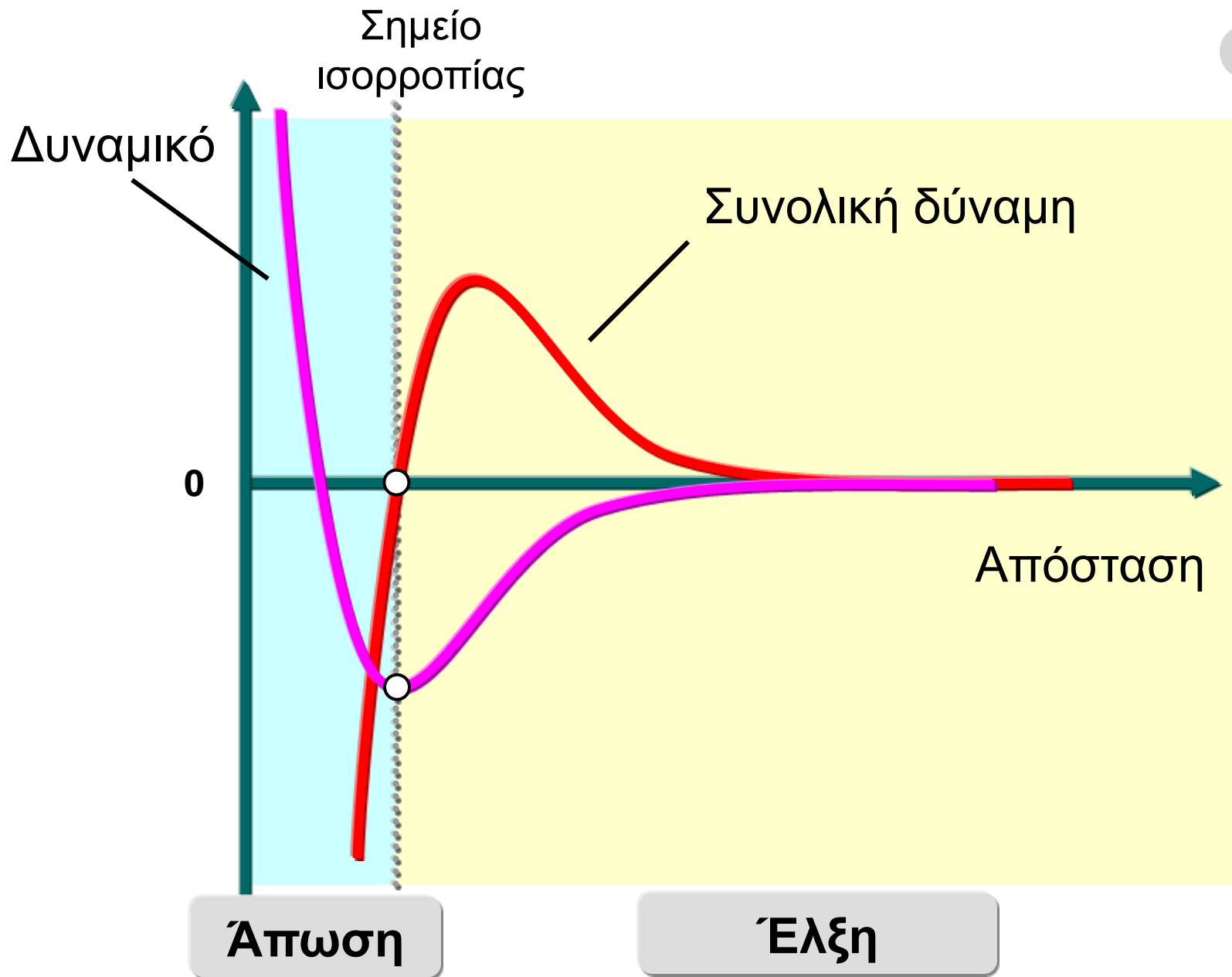
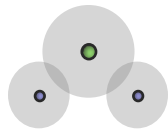
Δυναμικό

$$E_p(\infty) - E_p(A) = \int_A^\infty f(R_{12}) dR_{12}$$


Π.χ. για κεντρικό πεδίο δυνάμεων Coulomb:

$$\left. \begin{aligned} E_p(r_A) &= - \int_A^\infty f(R_{12}) dR_{12} \\ f(R_{12}) &= \frac{A}{r^2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow E_p(r_A) = - \frac{A}{r_A}$$







Ιοντικός Δεσμός

Τα άτομα ανταλλάσσουν ηλεκτρόνια σθένους

Ενέργεια που απαιτείται για το σχηματισμό του:

Ενέργεια που χρειάζεται για τη μεταφορά φορτίου

Το έργο που χρειάζεται για να υπερνικηθούν οι μικρής εμβέλειας απωστικές δυνάμεις μεταξύ ανιόντος και κατιόντος

Το έργο των ελκτικών δυνάμεων μεταξύ ανιόντος και κατιόντος



Δυναμικό Ιονισμού

απαιτούμενο έργο για την απόσπαση ηλεκτρονίου από το ηλεκτροθετικό άτομο

I_Z

Στοιχείο (eV)

| | |
|----|------|
| Li | 5.39 |
| Na | 5.14 |
| K | 4.34 |
| Rb | 4.18 |
| Cs | 3.89 |
| Fr | 3.83 |

Ηλεκτροσυγγένεια

απαιτούμενη ενέργεια για την πρόσληψη ηλεκτρονίου από το ηλεκτραρνητικό άτομο

A_Z

Στοιχείο (eV)

| | |
|----|--------|
| F | - 3.57 |
| Cl | - 3.70 |
| Br | - 3.53 |
| I | - 3.06 |
| O | - 1.47 |
| S | - 2.07 |



Ηλεκτραρνητικότητα (χ)

μέτρηση της ικανότητας ενός ατόμου ή μορίου να έλκει ηλεκτρόνια στα πλαίσια ενός χημικού δεσμού

Κλίμακα Pauling

υπολόγισε την ενέργεια του δεσμού **A-B** D_{AB} που είναι κατά Δ_{AB} μεγαλύτερη του $\frac{1}{2} (D_{AA} + D_{BB})$ τελικά:
 $\Delta_{AB} \approx 23.06 (\chi_A - \chi_B)^2$

$$\chi(H) = 2.2$$

$$\chi(F) = 3.98 \text{ max}$$

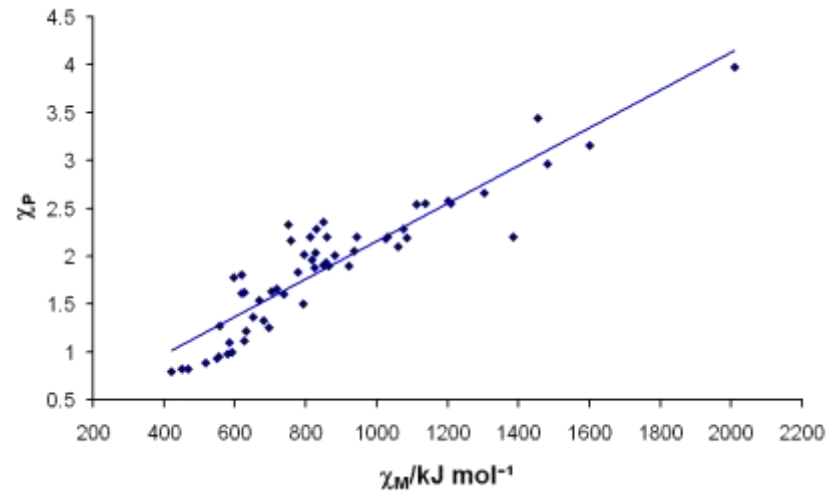
$$\chi(Fr) = 0.7 \text{ min}$$

Κλίμακα Mulliken

$$\chi_z = \frac{1}{2} (I_z + A_z)$$

Δυναμικό ιονισμού

ηλεκτροσυγγενεια



Συσχέτιση ηλεκτραρνητικότητας κατά Pauling και Mulliken,
User:Physchim62/ Wikimedia Commons/ CC-BY-SA-3.0



Ηλεκτραρνητικότητα (Κλίμακα Pauling)

Μειώνεται η ατομική ακτίνα

Αυξάνεται η ηλεκτραρνητικότητα

| Group (vertical) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----|
| 1 | H 2.20 | | | | | | | | | | | | | | | | | He | |
| 2 | Li 0.98 | Be 1.57 | | | | | | | | | | | | B 2.04 | C 2.55 | N 3.04 | O 3.44 | F 3.98 | Ne |
| 3 | Na 0.93 | Mg 1.31 | | | | | | | | | | | | Al 1.61 | Si 1.90 | P 2.19 | S 2.58 | Cl 3.16 | Ar |
| 4 | K 0.82 | Ca 1.00 | Sc 1.36 | Ti 1.54 | V 1.63 | Cr 1.66 | Mn 1.55 | Fe 1.83 | Co 1.88 | Ni 1.91 | Cu 1.90 | Zn 1.65 | Ga 1.81 | Ge 2.01 | As 2.18 | Se 2.55 | Br 2.96 | Kr 3.00 | |
| 5 | Rb 0.82 | Sr 0.95 | Y 1.22 | Zr 1.33 | Nb 1.6 | Mo 2.16 | Tc 1.9 | Ru 2.2 | Rh 2.28 | Pd 2.20 | Ag 1.93 | Cd 1.69 | In 1.78 | Sn 1.96 | Sb 2.05 | Te 2.1 | I 2.66 | Xe 2.67 | |
| 6 | Cs 0.79 | Ba 0.89 | * | Hf 1.3 | Ta 1.5 | W 2.36 | Re 1.9 | Os 2.2 | Ir 2.20 | Pt 2.28 | Au 2.54 | Hg 2.00 | Tl 1.62 | Pb 2.33 | Bi 2.02 | Po 2.0 | At 2.2 | Rn | |
| 7 | Fr 0.7 | Ra 0.9 | ** | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | Uub | Uut | Uuq | Uup | Uuh | Uus | Uuo | |
| Lanthanides | * | La 1.1 | Ce 1.12 | Pr 1.13 | Nd 1.14 | Pm 1.13 | Sm 1.17 | Eu 1.2 | Gd 1.2 | Tb 1.1 | Dy 1.22 | Ho 1.23 | Er 1.24 | Tm 1.25 | Yb 1.1 | Lu 1.27 | | | |
| Actinides | ** | Ac 1.1 | Th 1.3 | Pa 1.5 | U 1.38 | Np 1.36 | Pu 1.28 | Am 1.13 | Cm 1.28 | Bk 1.3 | Cf 1.3 | Es 1.3 | Fm 1.3 | Md 1.3 | No 1.3 | Lr | | | |

Αυξάνεται η ενέργεια ιονισμού

Ιοντικός Δεσμός

Ηλεκτροθετικά

Ηλεκτραρνητικά

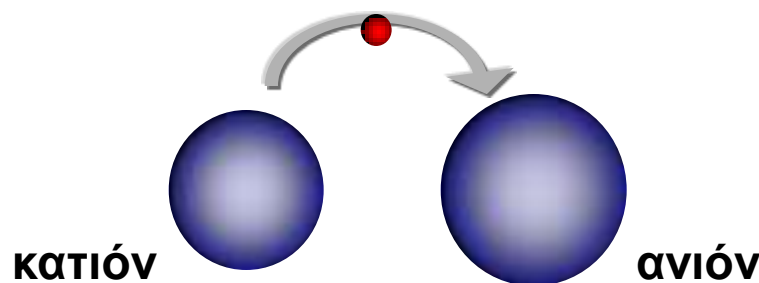
Ηλεκτραρνητικότητα στον περιοδικό πίνακα,
User: Adblocker / Wikimedia Commons/ CC-BY-SA-3.0

Ηλεκτραρνητικότητα και μεταφορά φορτίου



Η τάση για μεταφορά φορτίου αυξάνει με την αύξηση της διαφοράς ηλεκτραρνητικότητας μεταξύ των δύο ατόμων

Όταν ένα **ηλεκτραρνητικό** και ένα **ηλεκτροθετικό** άτομο πλησιάσουν, μπορούν και τα δύο να αποκτήσουν **δομή ευγενών αερίων** μεταφέροντας ηλεκτρόνια σθένους από το ηλεκτροθετικό στο ηλεκτραρνητικό άτομο

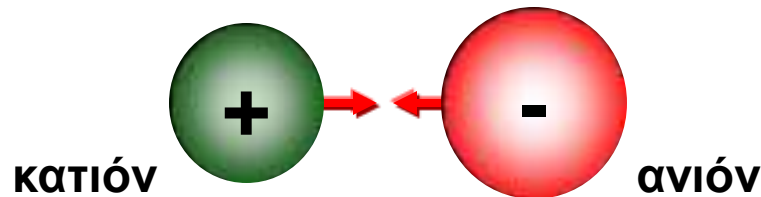


Ηλεκτραρνητικότητα και μεταφορά φορτίου



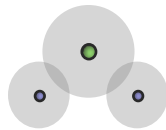
Μετά τη μεταφορά φορτίου, τα δύο άτομα είναι ηλεκτρικά φορτισμένα: το ηλεκτραρνητικό με αρνητικό φορτίο (ανιόν) και το ηλεκτροθετικό με θετικό φορτίο (κατιόν)

Τα αντίθετα φορτισμένα ιόντα έλκονται με δυνάμεις Coulomb



Δυνάμεις μεταξύ των ατόμων

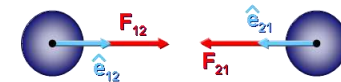
$$\mathbf{F}_{12} = f(r) \mathbf{e}_{12}$$



ΕΛΚΤΙΚΕΣ

Δυνάμεις Coulomb

$$f_E(r) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$



ΑΠΩΣΤΙΚΕΣ

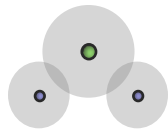
Όταν τα άτομα πλησιάζουν τα ηλεκτρονικά τους νέφη αλλά και οι πυρήνες τους απωθούνται.

Οι απωστικές δυνάμεις είναι **πολύ ισχυρές** σε πολύ μικρές αποστάσεις

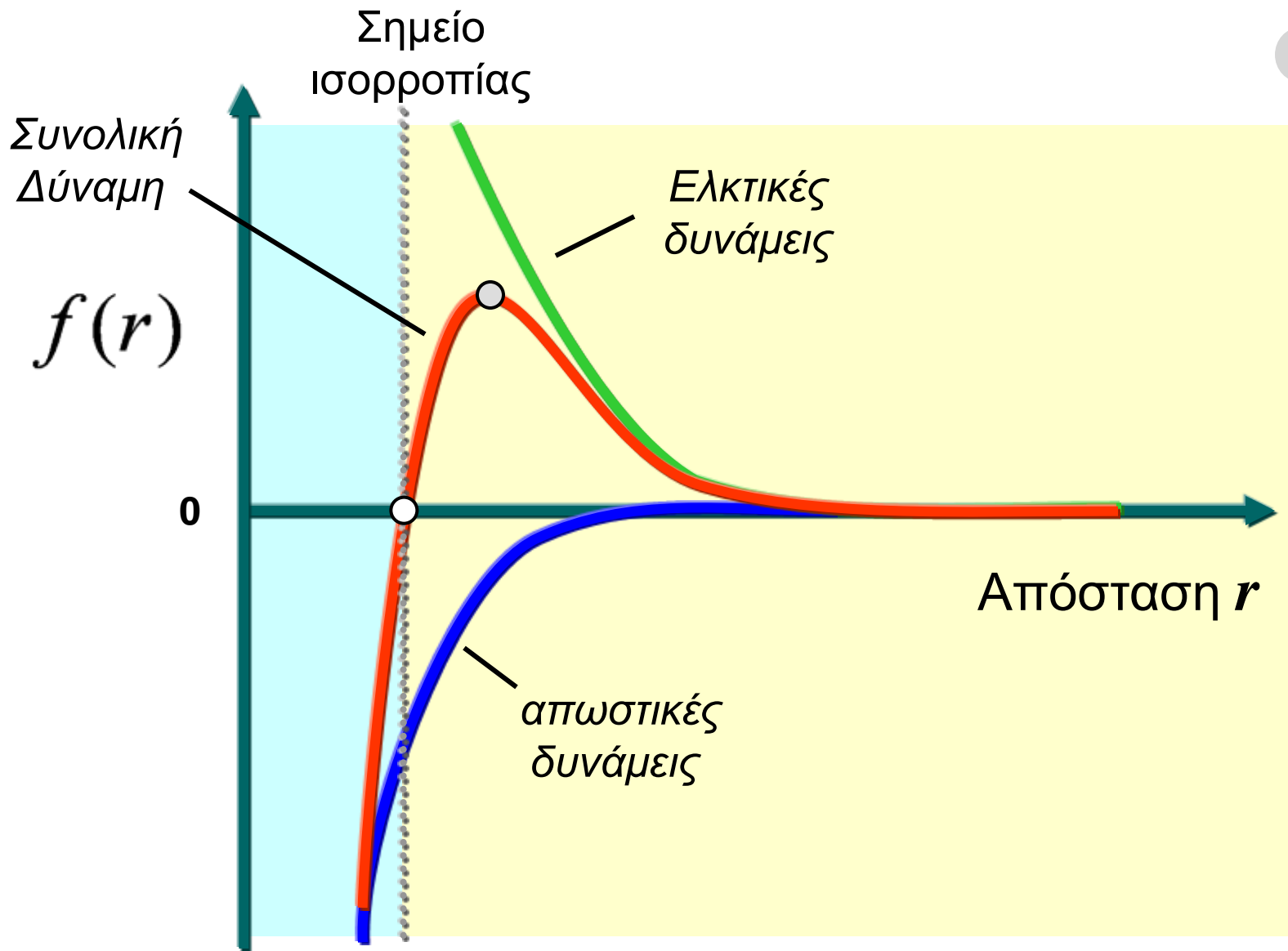
$$f_A(r) = -\frac{K}{r^m}, \quad m > 2$$



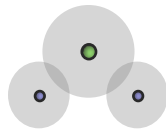
$$m \sim 12$$



Ιοντικός δεσμός



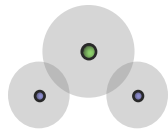
$$f(r) = f_E(r) + f_A(r)$$



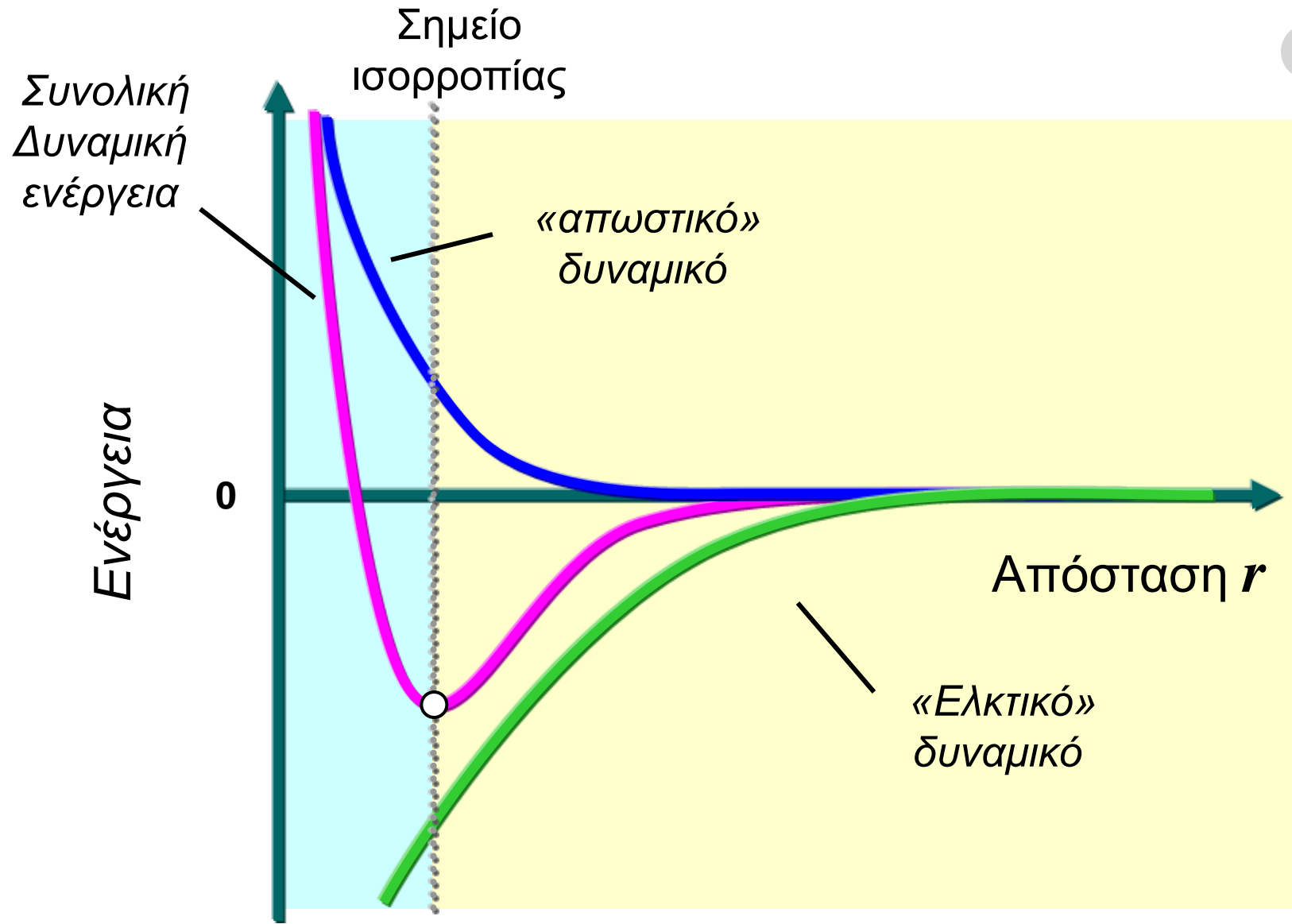
$$U(r) = -\int_r^{\infty} f(r)dr = -\left(\int_r^{\infty} \overbrace{f_A(r)}^{\text{ΕΛΚΤΙΚΕΣ}}dr + \int_r^{\infty} \overbrace{f_E(r)}^{\text{ΑΠΩΣΤΙΚΕΣ}}dr\right)$$

$$U(r) = -\left(\frac{e^2 |n_1 n_2|}{4\pi \epsilon_0}\right) \cdot \frac{1}{r} + \left(\frac{K}{m-1}\right) \cdot \frac{1}{r^{m-1}}$$

e φορτίο ηλεκτρονίου, n_1, n_2 βαθμός ιονισμού ανιόντος και κατιόντος



Ιοντικός δεσμός

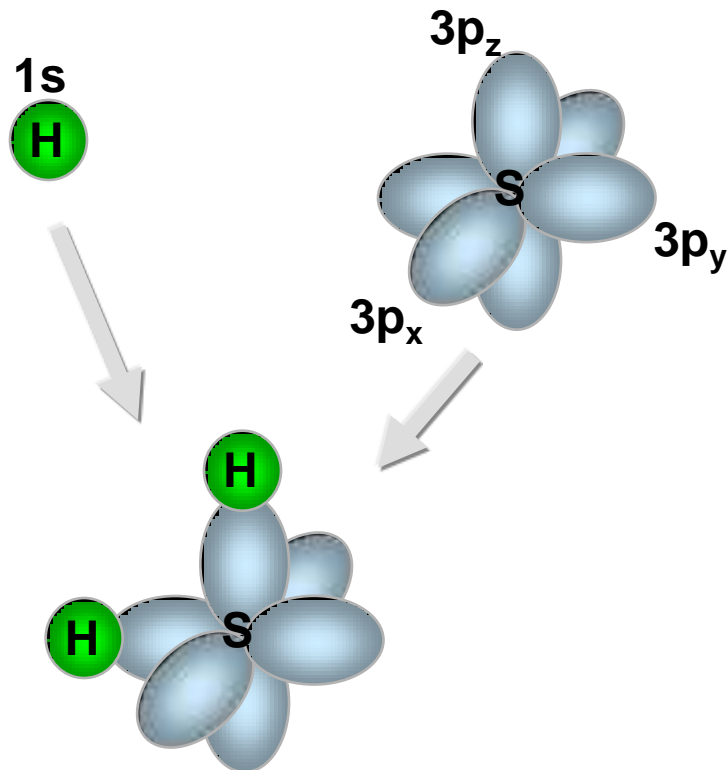




Ομοιοπολικός δεσμός

Τα άτομα αμοιβαία συνεισφέρουν ηλεκτρόνια

Τα τροχιακά αλληλεπικαλύπτονται !



Με αυτό τον τρόπο
και τα δύο άτομα
έχουν την
εξωτερική τους
στοιβάδα
συμπληρωμένη με
8 ηλεκτρόνια



Υβριδισμός

Συγχώνευση διαφορετικών αλλά παρόμοιας ενέργειας τροχιακών ενός ατόμου σε ισοδύναμα φ τροχιακά

Κανόνες

Τροχιακά του ίδιου ατόμου, ίσης περίπου ενέργειας

Αριθμός υβριδίων = αριθμός συγχωνευμένων τροχιακών

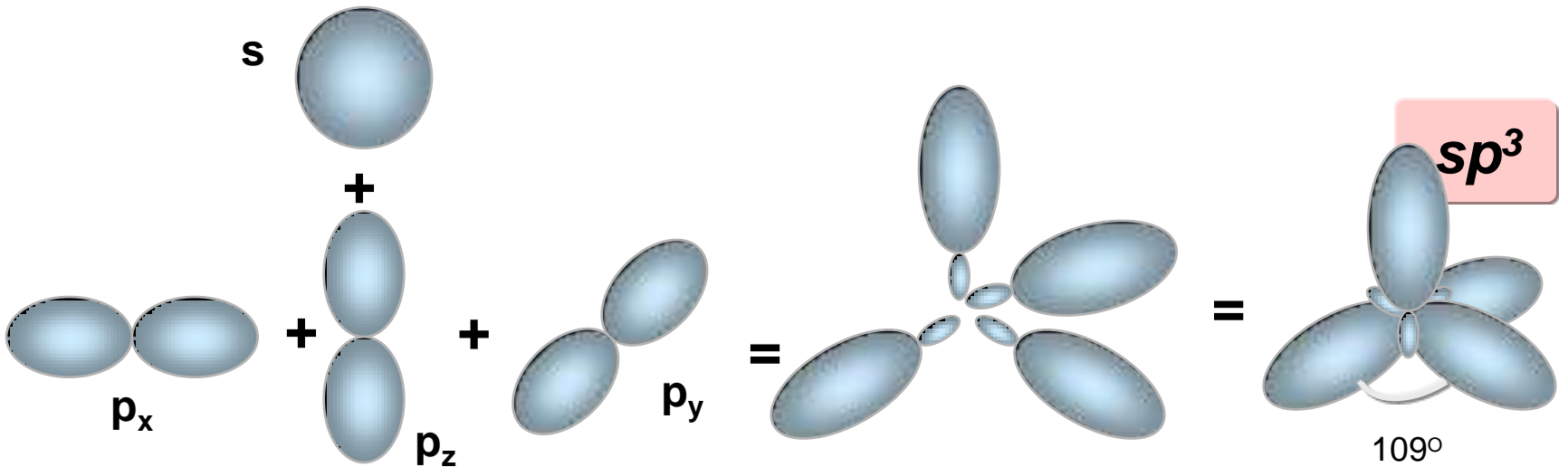
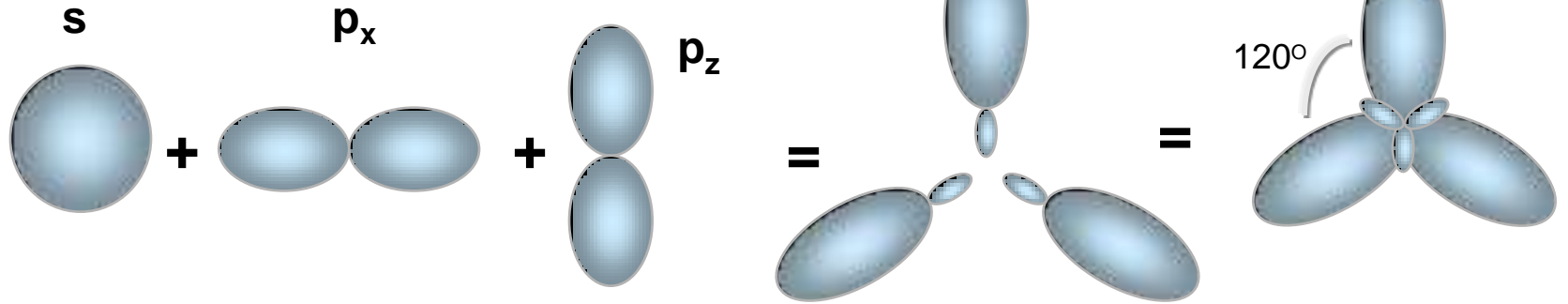
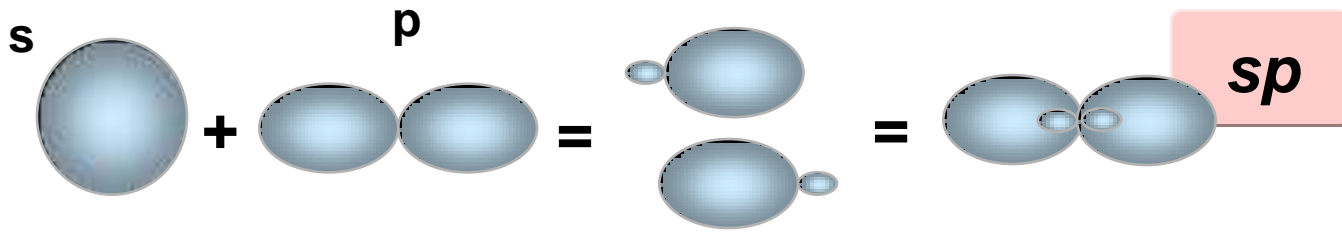
Αναμιγνύονται τροχιακά και όχι ηλεκτρόνια

Σε κάθε υβρίδιο μπορούν να συνυπάρξουν 2 μόνο ηλεκτρόνια

sp

sp^2

sp^3



Μοριακά τροχιακά



Η νέα κυματοσυνάρτηση προκύπτει από το γραμμικό συνδυασμό των ατομικών κυματοσυναρτήσεων

Δεσμικό μοριακό τροχιακό
(bonding molecular orbital)

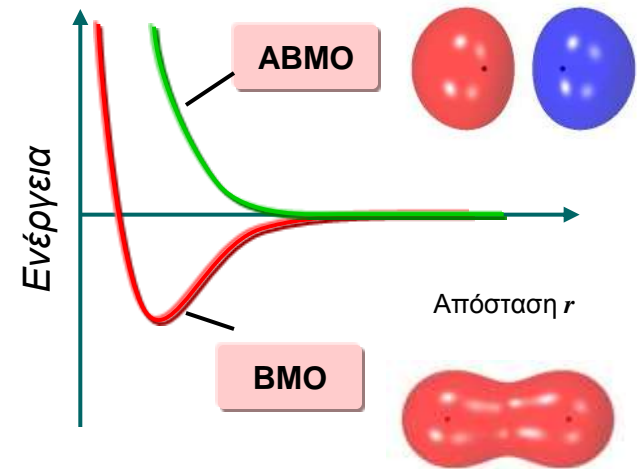
$$\psi_{\sigma} = \psi_A + \psi_B$$

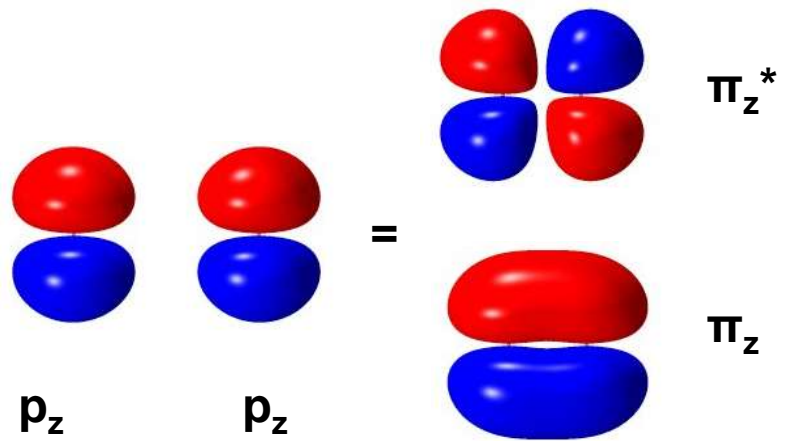
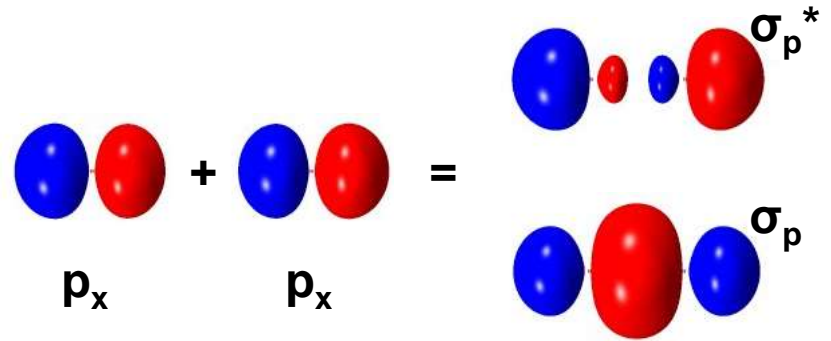
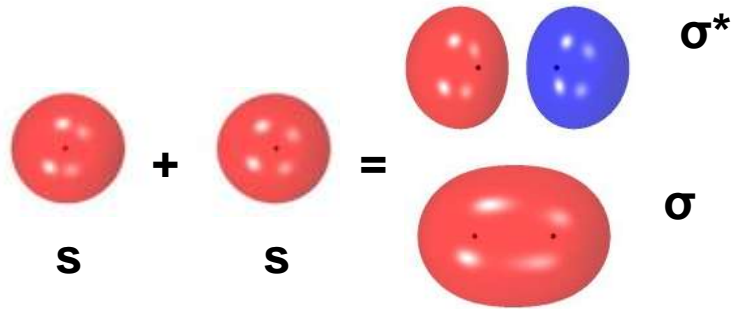
BMO

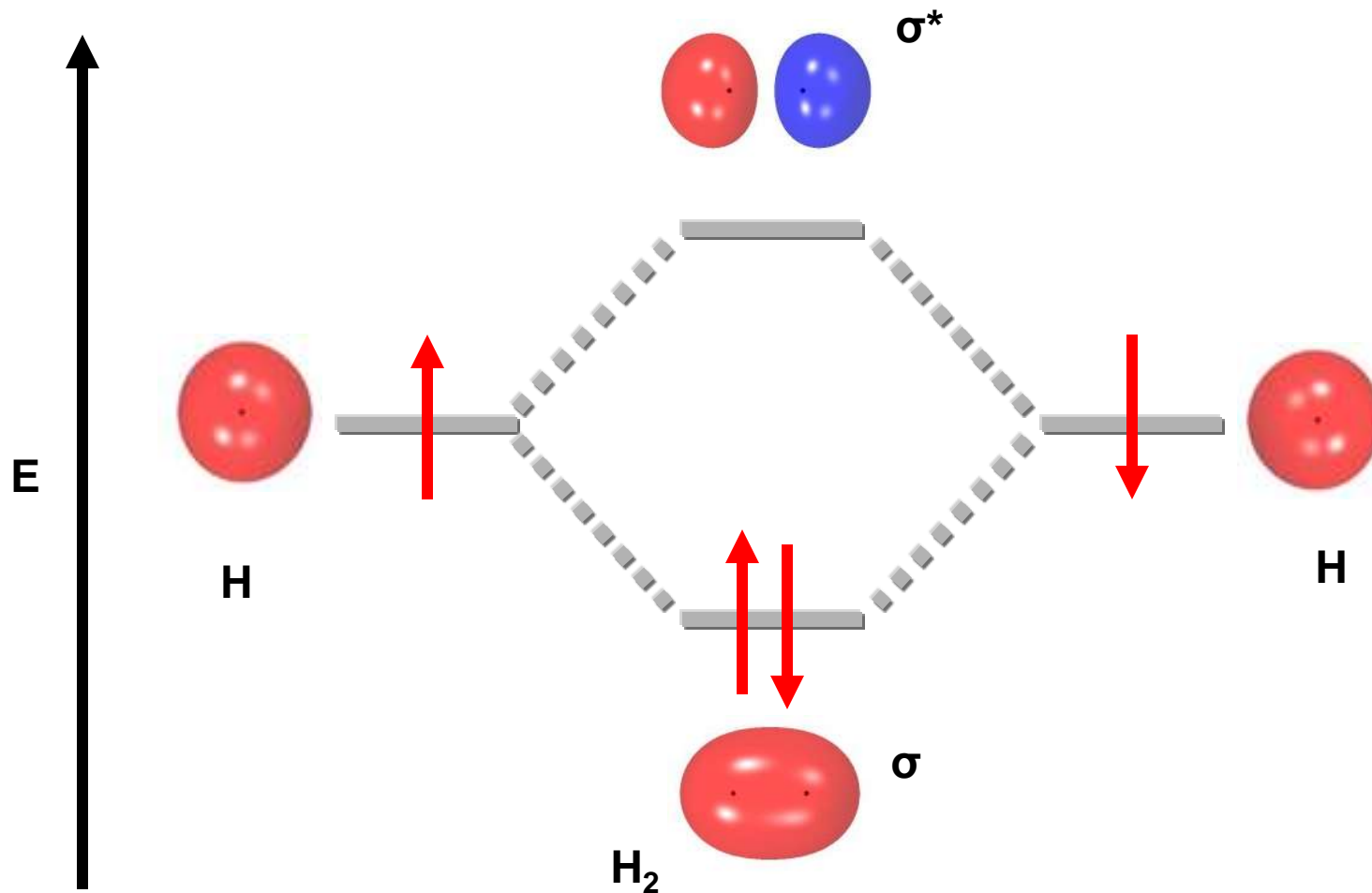
Αντι-δεσμικό μοριακό τροχιακό
(antibonding molecular orbital)

$$\psi_{\sigma^*} = \psi_A - \psi_B$$

ABMO



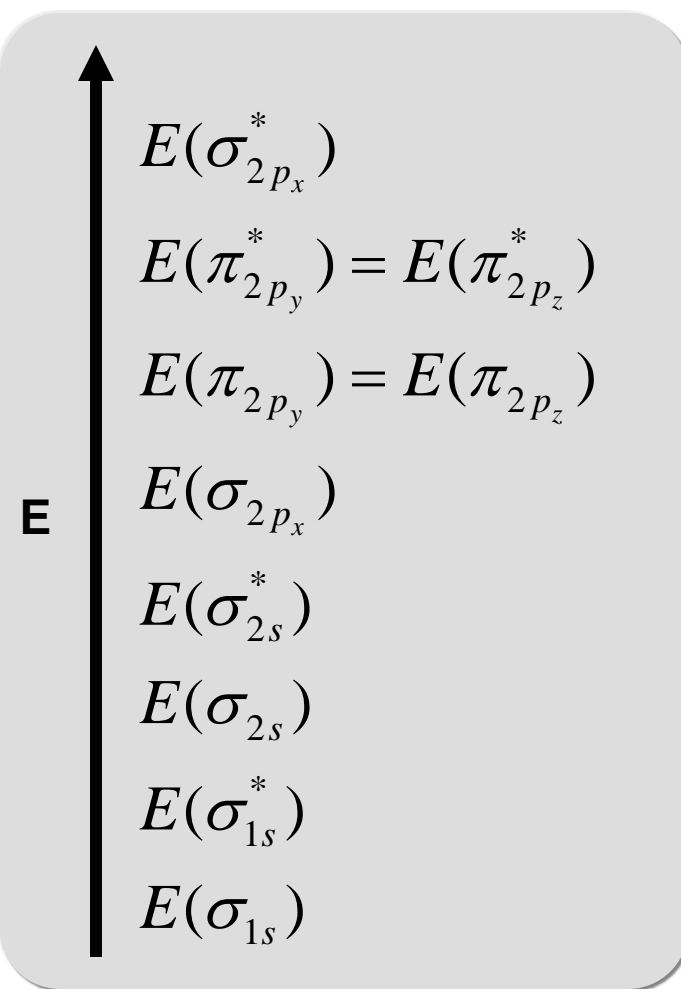
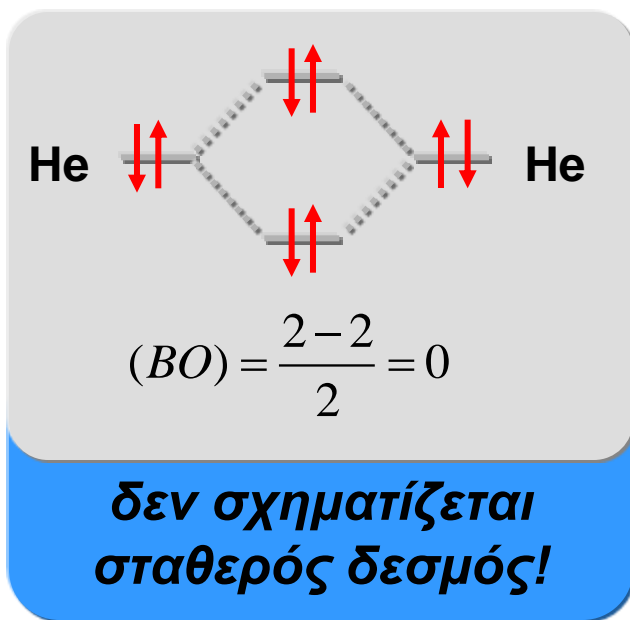




$$\text{Bond Order} = \frac{(\text{Number of electrons in BMO}) - (\text{Number of electrons in ABMO})}{2}$$

(BO)

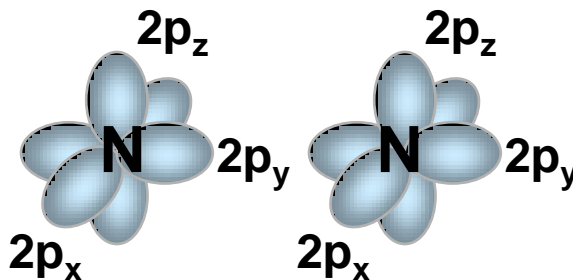
Για να έχουμε δεσμό θα πρέπει η τάξη του δεσμού (*Bond Order*) να είναι μεγαλύτερη από μηδέν



Παράδειγμα μόριο αζώτου N₂

${}_{7}\text{N}: 1s^2 2s^2 2p^3$

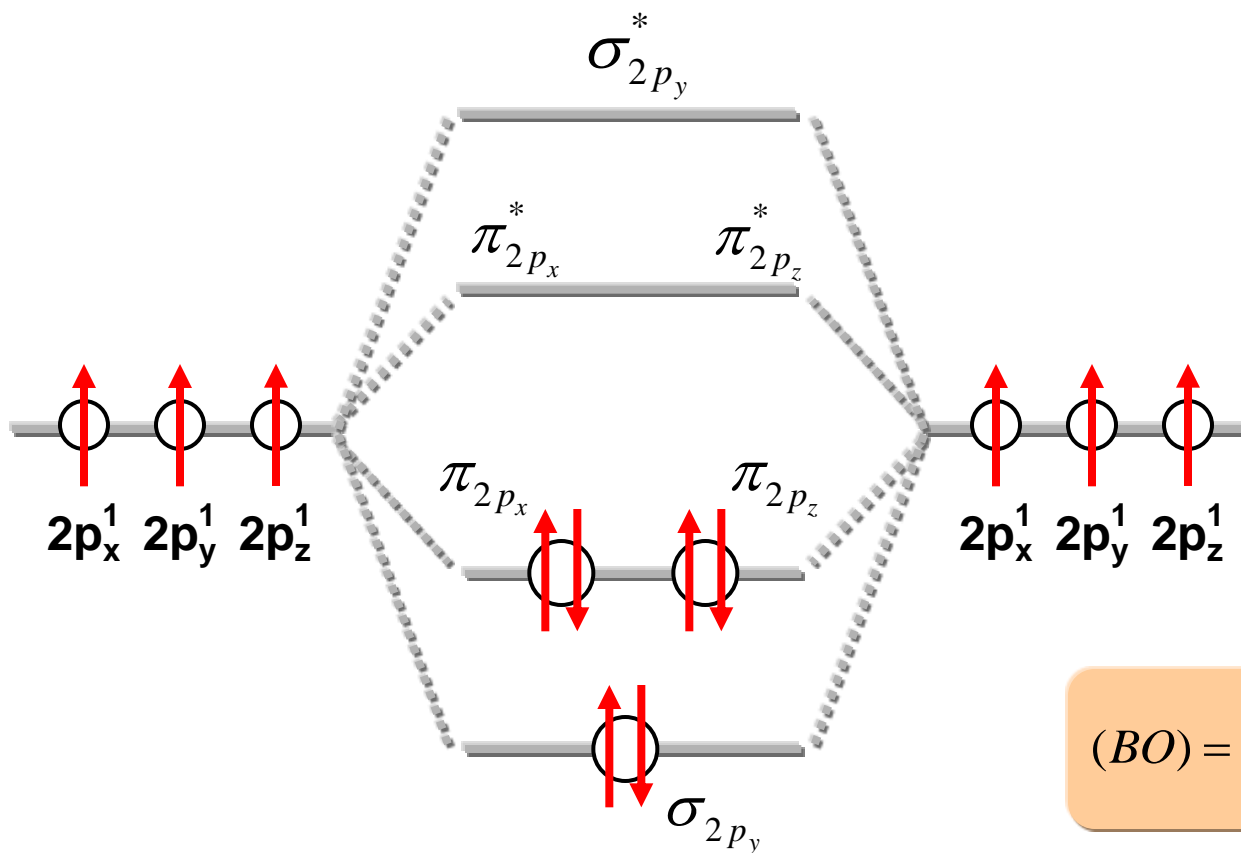
$2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$



$$2p_y + 2p_y \Rightarrow \sigma_{2p_y}$$

$$2p_z + 2p_z \Rightarrow \pi_{2p_z}$$

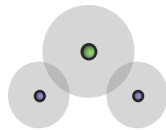
$$2p_x + 2p_x \Rightarrow \pi_{2p_x}$$



$$(BO) = \frac{(6+2+2) - (2+2)}{2} = 3$$

Δυνάμεις μεταξύ των ατόμων

$$\mathbf{F}_{12} = f(r) \mathbf{e}_{12}$$



ΕΛΚΤΙΚΕΣ

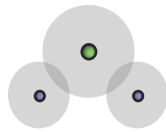
Κβαντομηχανική ερμηνεία

$$f_E(r) = \frac{A}{r^p}$$

Τα κοινά ηλεκτρόνια έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να βρεθούν ανάμεσα στους δύο πυρήνες

Οι ατομικοί πυρήνες συγκρατούνται σε απόσταση ισορροπίας με τις αμοιβαίες ελκτικές δυνάμεις που ασκούν στα κοινά ηλεκτρόνια

$$\mathbf{F}_{12} = f(r) \mathbf{e}_{12}$$



ΑΠΩΣΤΙΚΕΣ

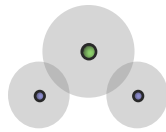
Κβαντομηχανική ερμηνεία

$$f_A(r) = -\frac{B}{r^q}$$

Τα κοινά ηλεκτρόνια σθένους έχουν όλα διαφορετικά σετ κβαντικών αριθμών, αλλά:
Τα εσωτερικά ηλεκτρονικά τροχιακά είναι συμπληρωμένα και αλληλοεπικάλυψη τους προκαλεί απώσεις (Απαγορευτική Αρχή του Pauli)

Δυνάμεις μεταξύ των ατόμων

$$\mathbf{F}_{12} = f(r)\mathbf{e}_{12}$$



ΕΛΚΤΙΚΕΣ

$$f_E(r) = \frac{A}{r^p}$$

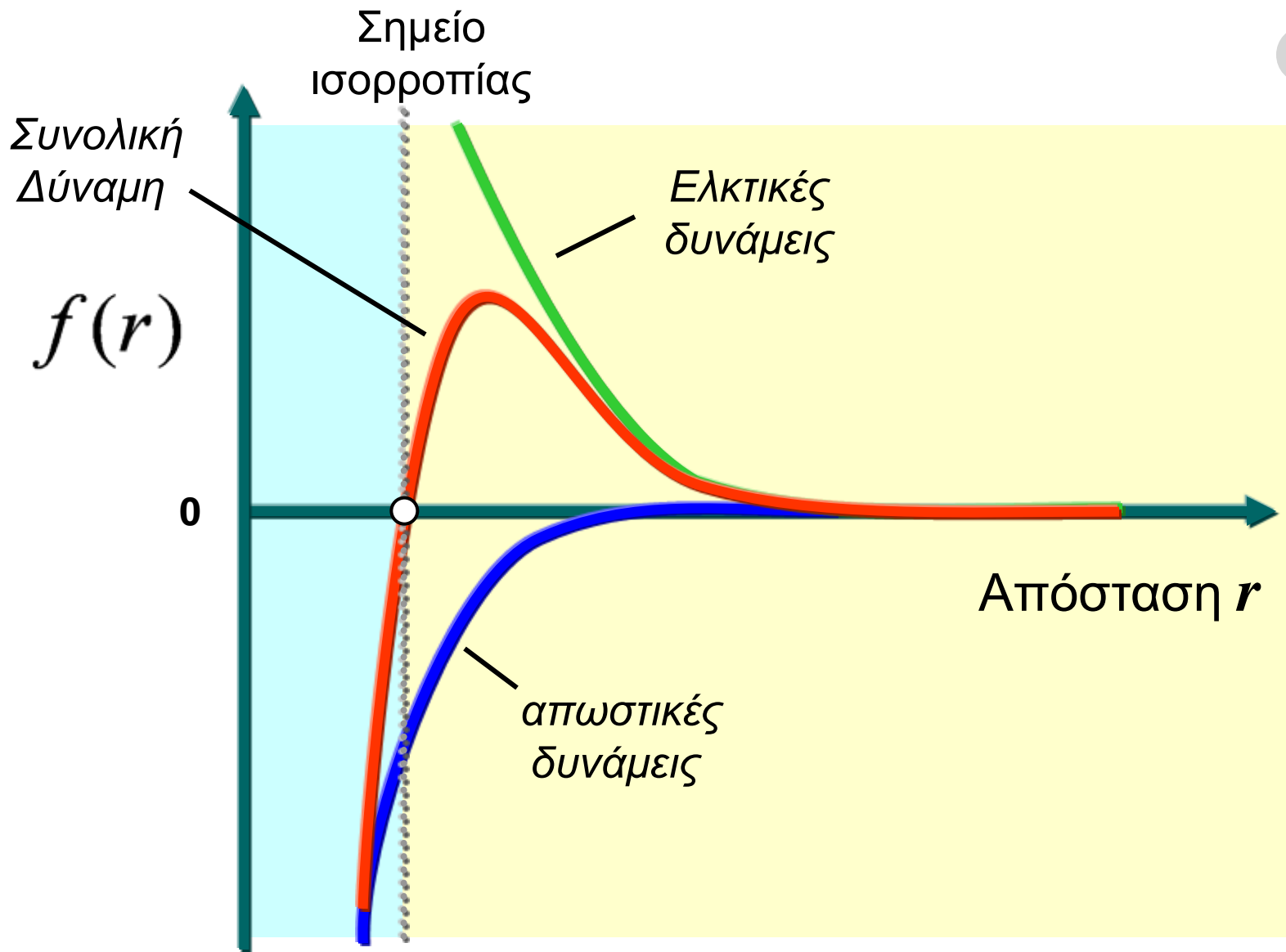
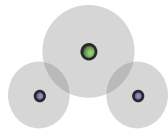
ΑΠΩΣΤΙΚΕΣ

$$f_A(r) = -\frac{B}{r^q}$$

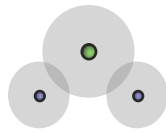
$$q > p$$

Ο ομοιοπολικός δεσμός είναι κατευθυνόμενος

Υπολογίζονται αναλυτικά
χρησιμοποιώντας Κβαντομηχανική

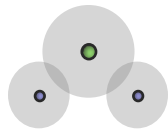


Ποιοτικά ίδιες με αυτές του ιοντικού

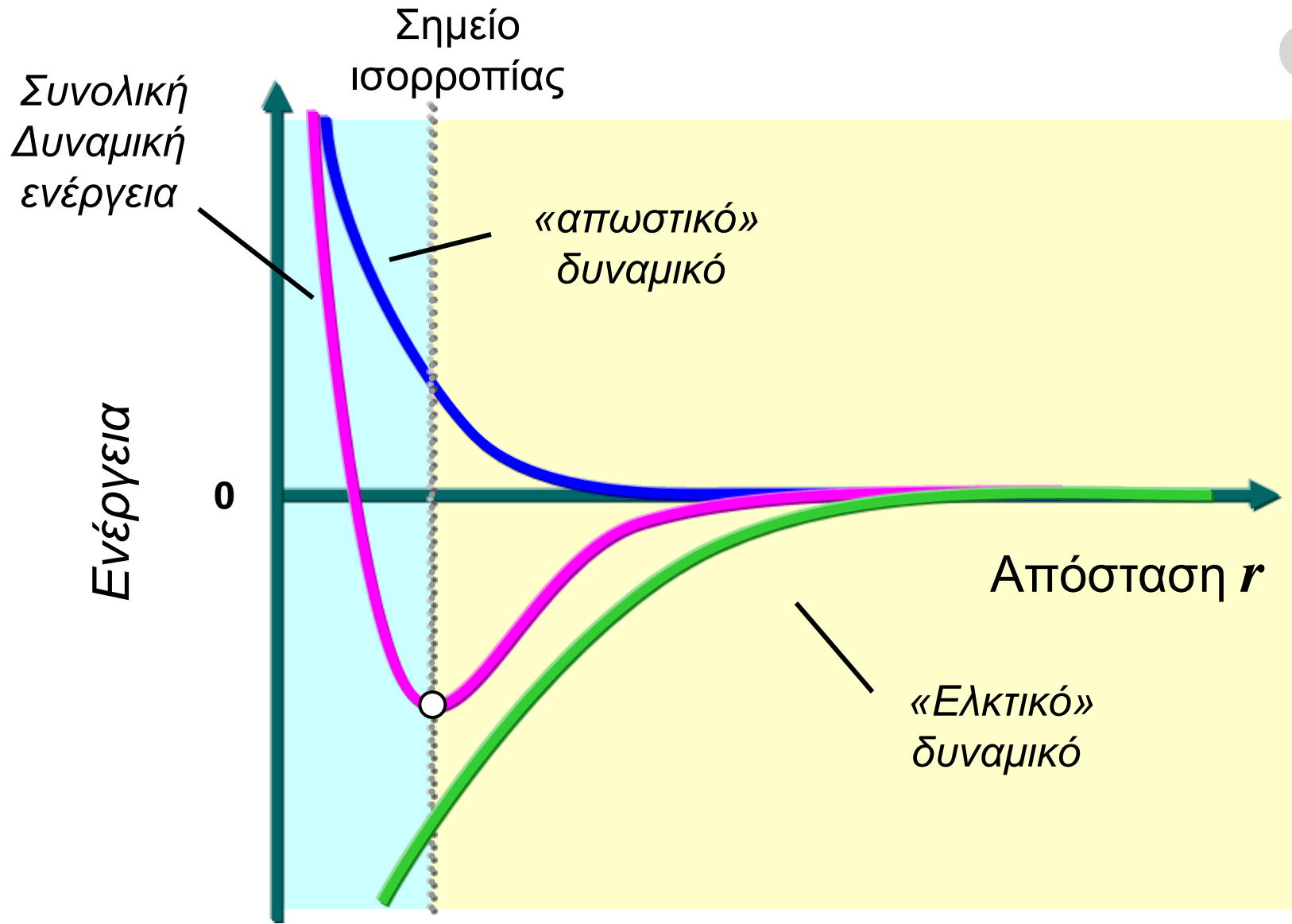


$$U(r) = -\int_r^{\infty} f(r)dr = -\left(\int_r^{\infty} \overbrace{f_A(r)}^{\text{ΕΛΚΤΙΚΕΣ}}dr + \int_r^{\infty} \overbrace{f_E(r)}^{\text{ΑΠΩΣΤΙΚΕΣ}}dr\right)$$

$$U(r) = -\left(\frac{A}{p-1}\right) \cdot \frac{1}{r^{p-1}} + \left(\frac{B}{q-1}\right) \cdot \frac{1}{r^{q-1}}$$



Ομοιοπολικός δεσμός



Ποιοτικά ίδιες με αυτές του ΙΟΝΤΙΚΟΥ



Ηλεκτραρνητικότητα και ιοντικός χαρακτήρας

Πότε είναι ένας δεσμός ιοντικός και πότε ομοιοπολικός ;

$$\text{Ιοντικός χαρακτήρας (\%)} = 100 \cdot \{1 - \text{Exp}[-0.25(\chi_A - \chi_B)^2]\}$$

ηλεκτραρνητικότητα

NaCl ~ 71.1%

HF ~ 55%

SiO₂ ~ 45%

H₂ = 0%

κλίμακα Pauling

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|----|
| H 2.20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | He |
| Li 0.98 | Be 1.57 | | | | | | | | | | | | | | | | | | Ne |
| Na 0.93 | Mg 1.31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | Ar |
| K 0.82 | Ca 1.00 | Sc 1.36 | Ti 1.54 | V 1.63 | Cr 1.66 | Mn 1.55 | Fe 1.83 | Co 1.88 | Ni 1.91 | Cu 1.90 | Zn 1.65 | Ga 1.81 | Ge 2.01 | As 2.18 | Se 2.55 | Br 2.96 | Kr 3.00 | | |
| Rb 0.82 | Sr 0.95 | Y 1.22 | Zr 1.33 | Nb 1.6 | Mo 2.16 | Tc 1.9 | Ru 2.2 | Rh 2.28 | Pd 2.20 | Ag 1.93 | Cd 1.69 | In 1.78 | Sn 1.96 | Sb 2.05 | Te 2.1 | I 2.66 | Xe 2.67 | | |
| Cs 0.79 | Ba 0.89 | * | Hf 1.3 | Ta 1.5 | W 2.36 | Re 1.9 | Os 2.2 | Ir 2.20 | Pt 2.28 | Au 2.54 | Hg 2.00 | Tl 1.62 | Pb 2.33 | Bi 2.02 | Po 2.0 | At 2.2 | Rn | | |
| Fr 0.7 | Ra 0.9 | ** | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | Uub | Uut | Uuq | Uup | Uuh | Uus | Uuo | | |

Ηλεκτραρνητικότητα στον περιοδικό πίνακα,
User: Adblocker / Wikimedia Commons/ CC-BY-SA-3.0

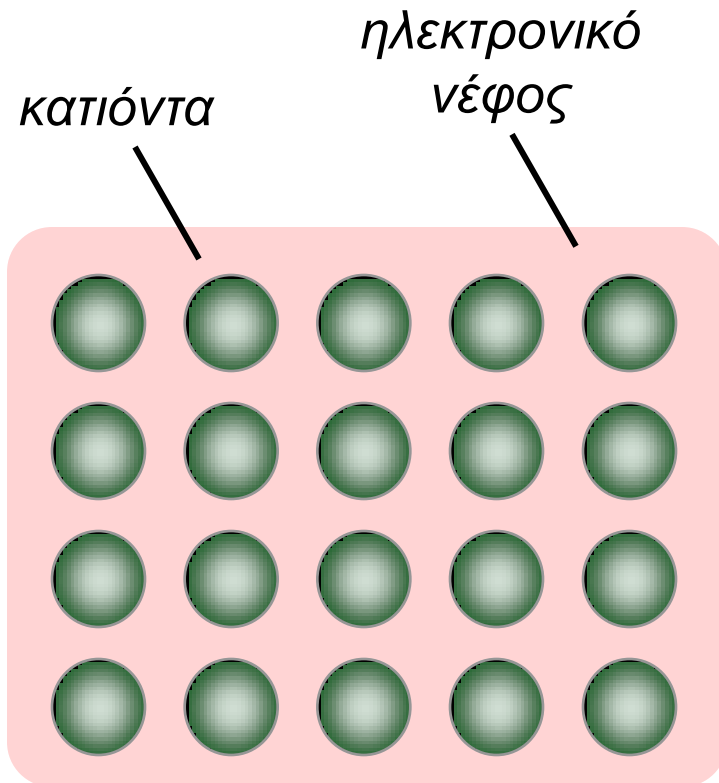
Μεταλλικός δεσμός

Όλα άτομα μοιράζονται τα ηλεκτρόνια σθένους

Τα τροχιακά τους αλληλεπικαλύπτονται !

Συμβαίνει σε ηλεκτροθετικά υλικά (μέταλλα)

Τα ηλεκτροθετικά άτομα έχουν την τάση να χάσουν ηλεκτρόνια αλλά δεν υπάρχουν ηλεκτραρνητικά άτομα για να τα δεχτούν, έτσι τα ηλεκτρόνια σθένους κινούνται **ελεύθερα** στη μάζα του μετάλλου



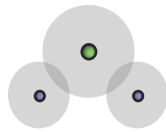
Τα ηλεκτρόνια κινούνται ελεύθερα μέσα στο μέταλλο

Το ηλεκτρονικό νέφος «δένει» τα κατιόντα μεταξύ τους με δυνάμεις Coulomb

Τα μέταλλα αποκτούν μοναδικές ιδιότητες:
Μεταλλική λάμψη
Καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα
Είναι ελατά

Δυνάμεις μεταξύ των ατόμων

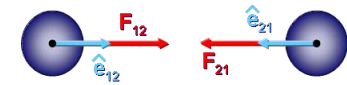
$$\mathbf{F}_{12} = f(r) \mathbf{e}_{12}$$



ΕΛΚΤΙΚΕΣ

Δυνάμεις Coulomb
(μεταξύ κατιόντων και
ηλεκτρονικού νέφους)

$$f_E(r) = \frac{C}{r^s}$$



ΑΠΩΣΤΙΚΕΣ

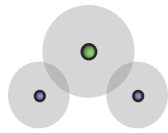
Όταν τα άτομα πλησιάζουν τα
ηλεκτρονικά τους νέφη αλλά και οι
πυρήνες τους απωθούνται.

Οι απωστικές δυνάμεις είναι
πολύ ισχυρές σε πολύ μικρές
αποστάσεις

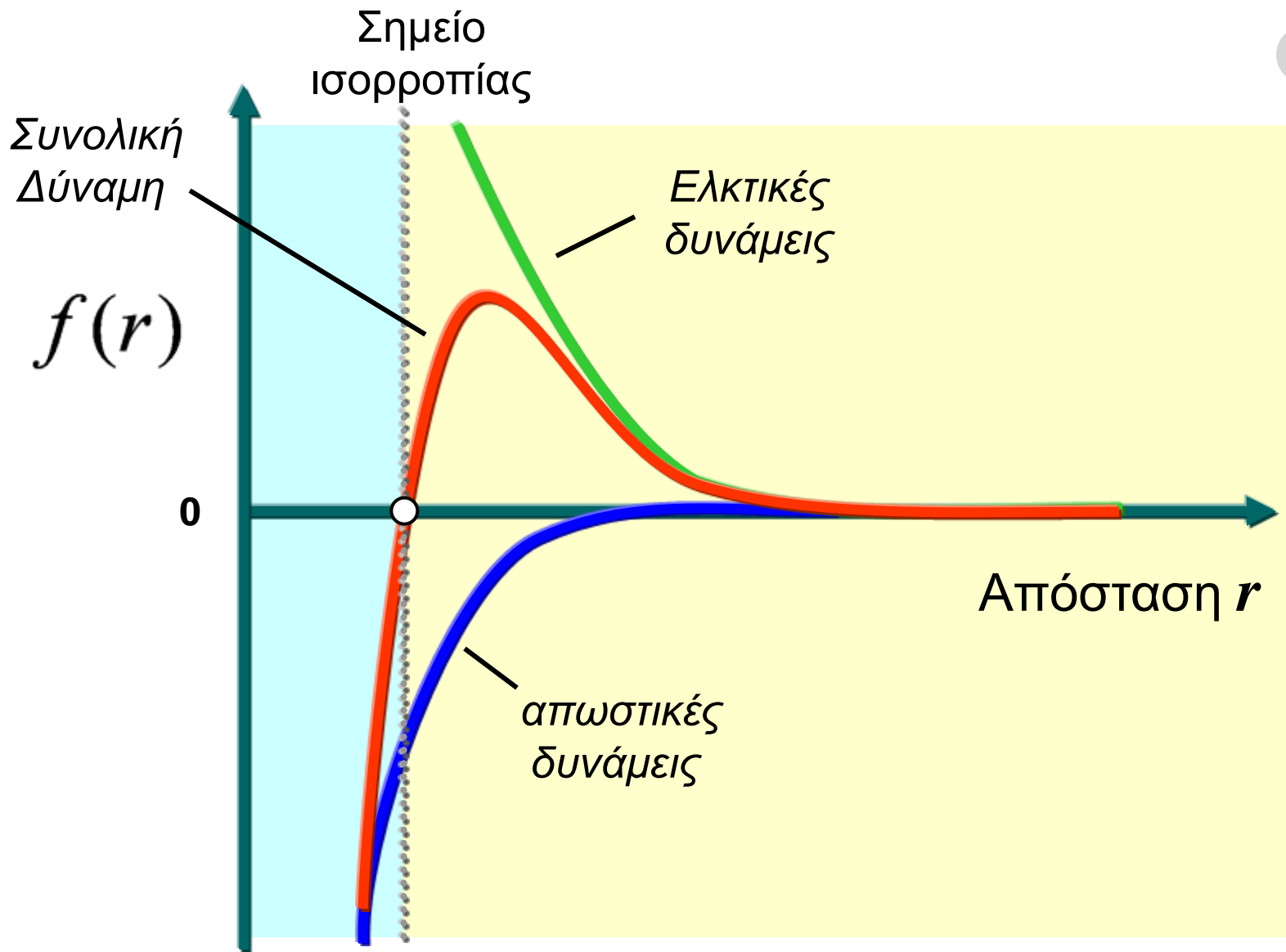
$$f_A(r) = -\frac{D}{r^t}$$



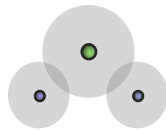
Τα κατιόντα ασκούν απωστικές
δυνάμεις Coulomb



Μεταλλικός δεσμός

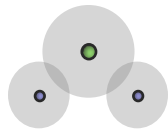


Ποιοτικά ίδιες με αυτές του ιοντικού

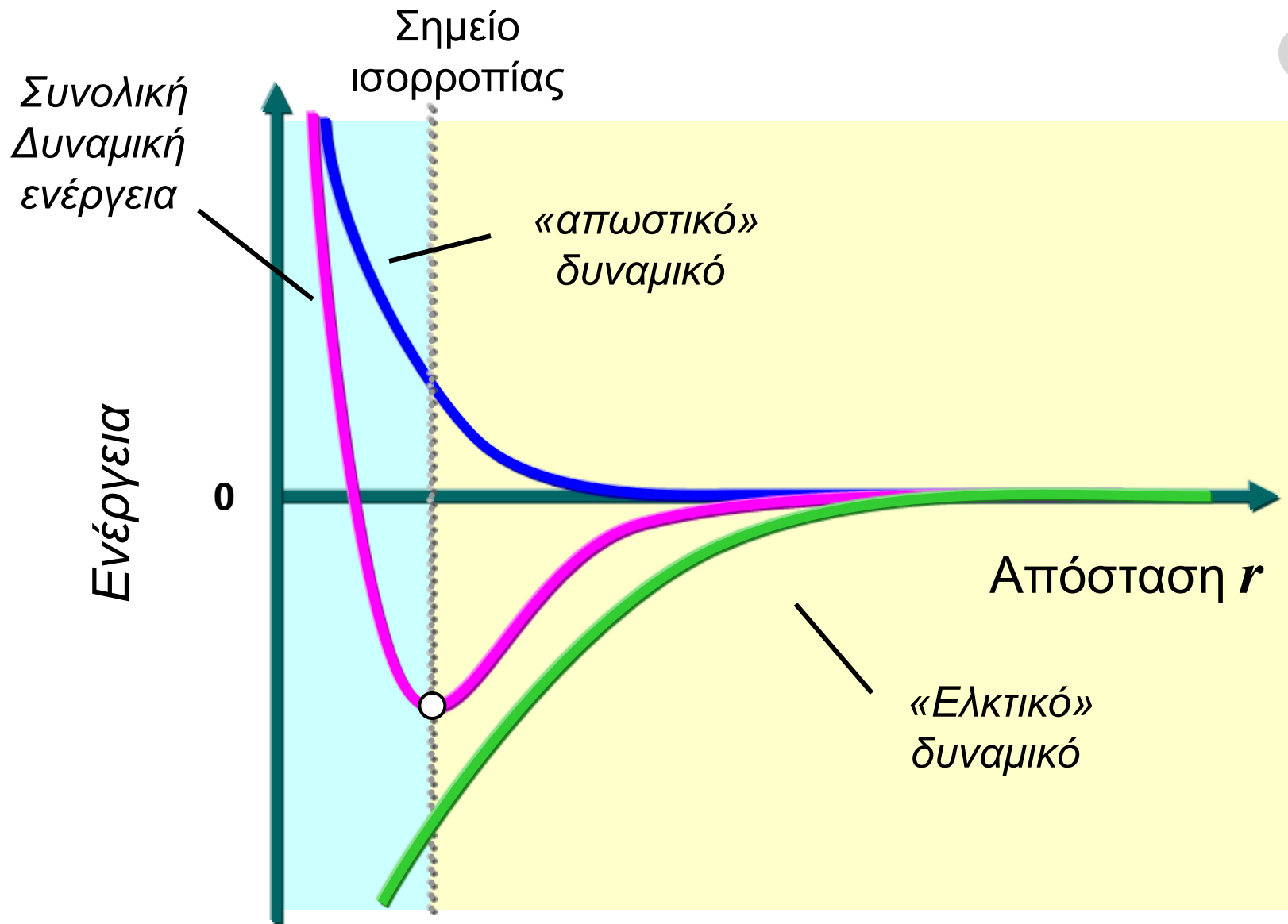


$$U(r) = -\int_r^{\infty} f(r)dr = -\left(\int_r^{\infty} \overbrace{f_A(r)}^{\text{ΕΛΚΤΙΚΕΣ}}dr + \int_r^{\infty} \overbrace{f_E(r)}^{\text{ΑΠΩΣΤΙΚΕΣ}}dr\right)$$

$$U(r) = -\left(\frac{C}{s-1}\right) \cdot \frac{1}{r^{s-1}} + \left(\frac{D}{t-1}\right) \cdot \frac{1}{r^{t-1}}$$

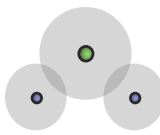


Μεταλλικός δεσμός



Ποιοτικά ίδιες με αυτές του ιοντικού

Δευτερεύοντες δεσμοί: δίπολα



Τα άτομα έλκονται εξαιτίας της διπολικής ροπής

Στιγμαία δίπολα

Σε κάθε άτομο το ηλεκτρονικό νέφος ταλαντώνεται και παραμορφώνεται με περίοδο 1 fs.

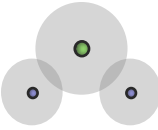
Όταν το ηλεκτρονικό νέφος παραμορφωθεί παροδικά τα κέντρα του αρνητικού και του θετικού φορτίου δεν συμπίπτουν οπότε σχηματίζεται ένα στιγμιαίο δίπολο

Μόνιμα δίπολα

Μόρια με ομοιοπολικούς δεσμούς

Ασύμμετρη κατανομή υδρογόνων στο μόριο

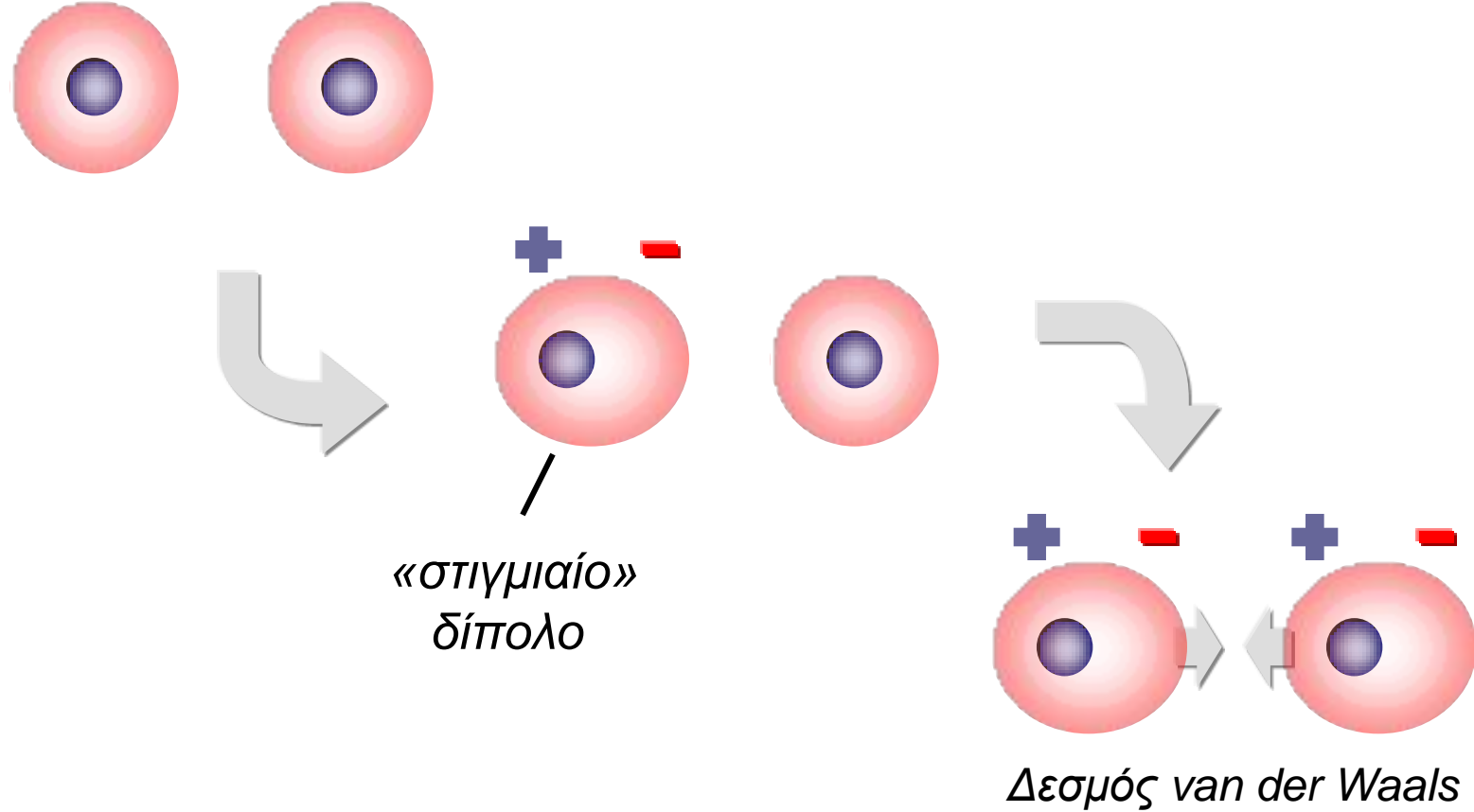
Ηλεκτρονικό νέφος μόνιμα μετατοπισμένο προς το ηλεκτραρνητικότερο άτομο



Στιγμαία δίπολα: Δεσμός van der Waals

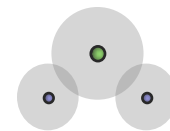
Δύο άτομα Αργού σε χαμηλή θερμοκρασία (<1K)

Το Αργό είναι ευγενές αέριο (σταθερή ηλεκτρονική δομή, αδρανές)

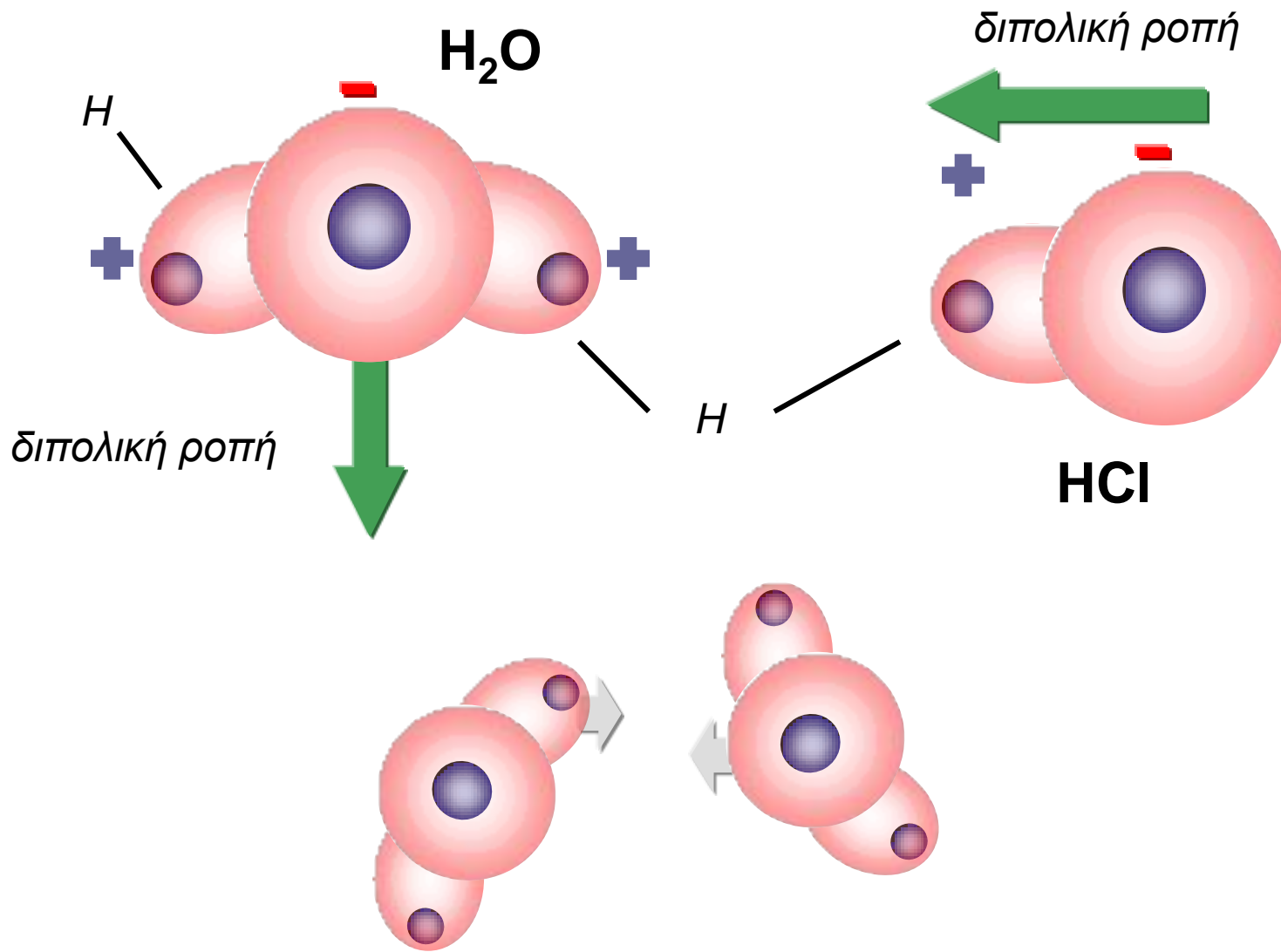


Δευτερεύοντες δεσμοί

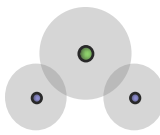
Μόνιμα δίπολα: Δεσμός Υδρογόνου



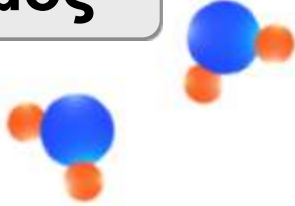
Δευτερεύοντες δεσμοί



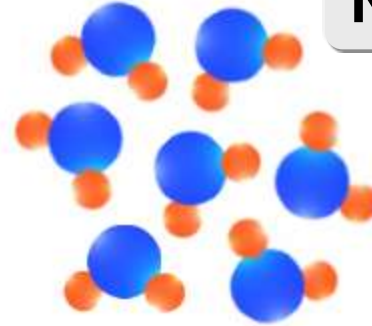
Τρεις φάσεις του νερού



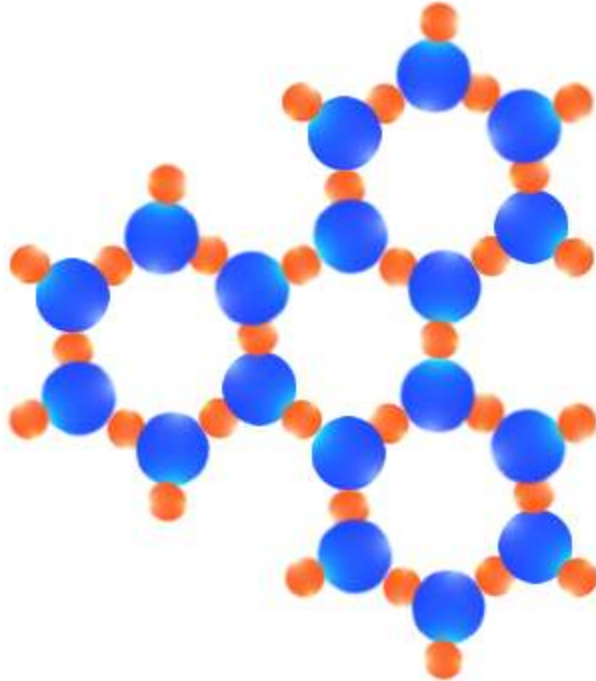
Ατμός



Νερό

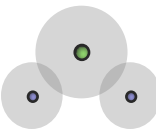


Πάγος



Χημικοί δεσμοί

Τυπικές Ενέργειες Δεσμών



Τυπικές ενέργειες δεσμών (eV/atom)

Τύπος δεσμού

0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10

Ιοντικοί



Ομοιοπολικό



Μεταλλικοί



Υδρογόνου

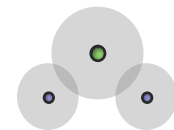


~(0.3 - 0.5) eV

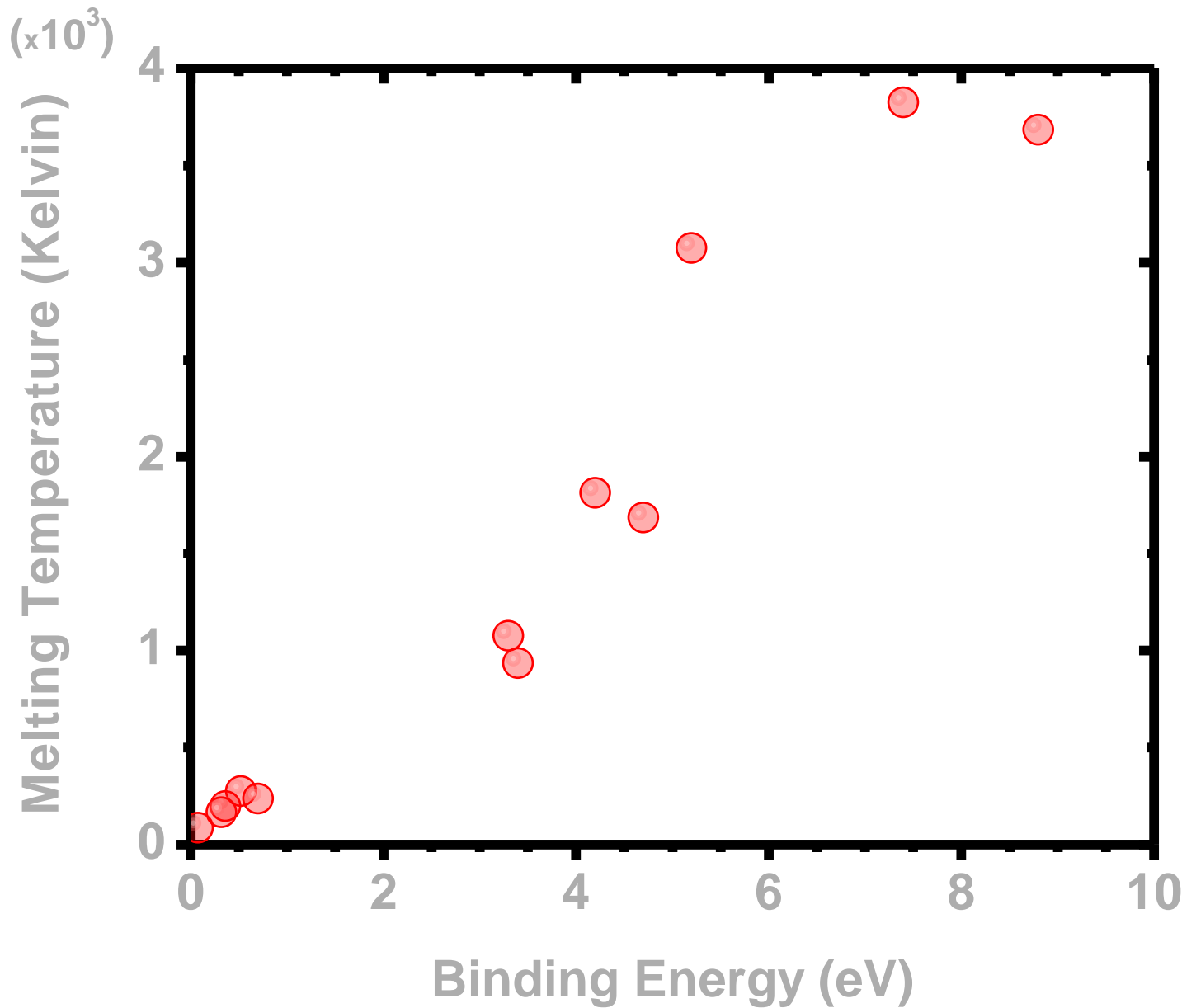
Van der Waals



~(0.08 έως 0.3) eV



Χημικοί δεσμοί



Συσχέτιση ενέργειας δεσμού με θερμοκρασία τήξης
compilation of data from ChemSpider & Wikipedia