



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Χημεία

Ενότητα 5: Ιοντικός δεσμός

Τόλης Ευάγγελος
e-mail: etolis@uowm.gr

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ψηφιακά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



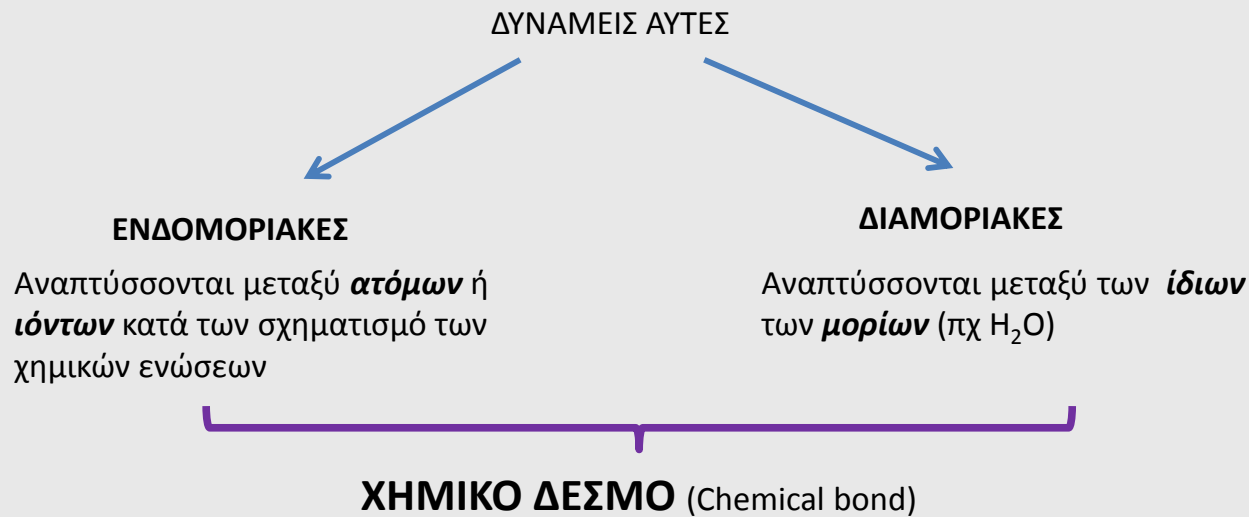
Κεφάλαιο 5^ο

5 Ιοντικός δεσμός



Ιοντικός δεσμός (1/19)

Ιδιότητες των ενώσεων που απαντούμε γύρω μας **οφείλονται** σε **δυνάμεις** που **αναπτύσσονται** ανάμεσα στις δομικές μονάδες της ύλης (άτομα, μόρια και ιόντα).



Το σύνολο των **ελκτικών αλληλεπιδράσεων** που αναπτύσσονται **ανάμεσα** στα **δομικά στοιχεία** της ύλης με σκοπό την δημιουργία σταθερών και ανεξάρτητων χημικών ειδών.



Ιοντικός δεσμός (2/19)

Ανάλογα με τη φύση του δεσμού διακρίνουμε τα παρακάτω είδη δεσμών:

- **Ιοντικός** ή ετεροπολικός δεσμός.
- **Ομοιοπολικός** δεσμός.
- **Μεταλλικός** δεσμός.
- Διαμοριακοί δεσμοί:
 - Δεσμός υδρογόνου.
 - Δυνάμεις Van der Waals.
 - Δυνάμεις London.



Ιοντικός δεσμός (3/19)

Ηλεκτρονιακή θεωρία σθένους (Kossel, Lewis και Langmuir)
με βασική αρχή τη θεωρία της οκτάδας:

Τα άτομα που συμμετέχουν στη δημιουργία δεσμών τείνουν να αποκτήσουν σταθερή δομή ευγενούς αερίου (συμπληρωμένη στιβάδα σθένους με οκτώ ηλεκτρόνια) μέσω αποβολής, πρόσληψης ή αμοιβαίας συνεισφοράς ηλεκτρονίων. Εξαιρέση αποτελεί η στιβάδα K η οποία συμπληρώνεται με δυο ηλεκτρόνια.

Στην περίπτωση του **ιοντικού δεσμού** μεταφέρονται 1 ή 2 e⁻ από το λιγότερο ηλεκτραρνητικό άτομο στο περισσότερο ηλεκτραρνητικό άτομο. Η **αποβολή** και πρόσληψη e⁻ οδηγεί στο σχηματισμό **ανιόντων** και **κατιόντων** μεταξύ των οποίων αναπτύσσονται **ισχυρές ηλεκτροστατικές δυνάμεις** οι οποίες συνιστούν και τον **ιοντικό δεσμό**.



Ιοντικός δεσμός (4/19)

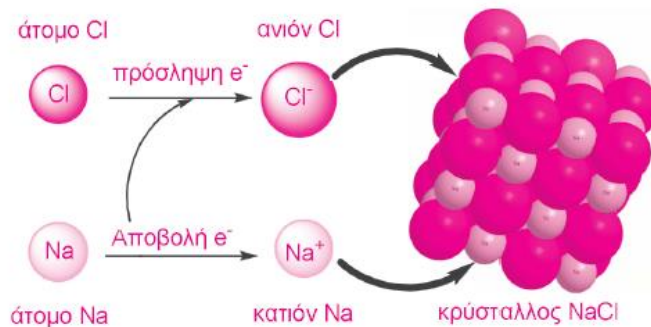
ΟΡΙΣΜΟΣ:

ΙΟΝΤΙΚΟΣ ΔΕΣΜΟΣ (ionic bond): είναι ο δεσμός που οφείλεται στην ηλεκτροστατική έλξη των αντίθετα φορτισμένων ιόντων από τα οποία αποτελείται το κρυσταλλικό πλέγμα της ένωσης.



Ιοντικός δεσμός (5/19)

Παράδειγμα ιοντικής ένωσης: **NaCl**.



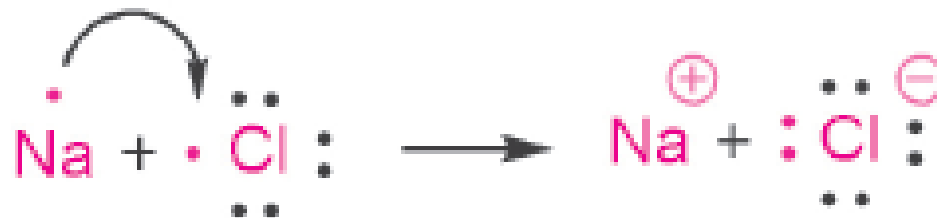
Ανάπτυξη ηλεκτροστατικών δυνάμεων ανάμεσα στα ιόντα Na⁺ Cl⁻ (ιοντικός δεσμός) και σχηματισμός της κρυσταλλικής ένωσης NaCl.



Ιοντικός δεσμός (6/19)

Αναπαράσταση ιοντικού δεσμού με βάση τον συμβολισμό κατά *Lewis*:

Τα ηλεκτρόνια σθένους τοποθετούνται γύρω από το στοιχείο με την μορφή κουκίδων.



Ιοντικός δεσμός (7/19)

Σύγχρονη αντίληψη περί του ιοντικού δεσμού.



Απαιτεί την μελέτη της μεταβολής της **ενέργειας** που υπεισέρχεται κατά την δημιουργία του δεσμού.

- Όταν τα άτομα πλησιάσουν μεταξύ τους για να ενωθούν πρέπει να η διαδικασία αυτή να συνοδεύεται από ελάττωση της ενέργειας έτσι ώστε να οδηγήσει σε μια κατάσταση με την χαμηλότερη ενέργεια, σε σχέση με πριν, και συνεπώς σταθερότερη κατάσταση.



Ιοντικός δεσμός (8/19)

Ποια η μεταβολή της ενέργειας κατά τον σχηματισμό ετεροπολικών ενώσεων; (πχ. NaCl).

1° Στάδιο: Απομάκρυνση και πρόσληψη e^- από το Na και Cl αντίστοιχα.

2° Στάδιο: Έλξη και δημιουργία του κρυσταλλικού πλέγματος.



Ιοντικός δεσμός (9/19)

Ποια η μεταβολή της ενέργειας κατά τον σχηματισμό ετεροπολικών ενώσεων; (πχ. NaCl).

1^ο Στάδιο: Απομάκρυνση και πρόσληψη e⁻ από το Na και Cl αντίστοιχα.

Η ενέργεια E που απαιτείτε για την διαδικασία αυτή θα ισούται με την ενέργεια που απαιτείτε για την απομάκρυνση του e⁻ από το Na E₁, συν την ενέργεια που απαιτείτε για την πρόσληψη του e⁻ από το Cl E₂.

$$E = E_1 + E_2 \rightarrow E = I_1(\text{Na}) + \Delta H_{EA,1}(\text{Cl})$$

όπου:

- $I_1(\text{Na})$: *πρώτη ενέργεια ιονισμού του Νατρίου.*
- $\Delta H_{EA,1}(\text{Cl})$: *πρώτη ενθαλπία δέσμευσης του χλωρίου.*

$$(I_1 = 496 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}})$$

$$(\Delta H_{EA,1} = -349 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}})$$



Ιοντικός δεσμός (10/19)

Ποια η μεταβολή της ενέργειας κατά τον σχηματισμό ετεροπολικών ενώσεων; (πχ. NaCl).

1^ο Στάδιο: Απομάκρυνση και πρόσληψη e^- από το Na και Cl αντίστοιχα.

Άρα με αντικατάσταση:

$$E = E_1 + E_2 \rightarrow E = I_1(\text{Na}) + \Delta H_{EA,1}(\text{Cl}) \rightarrow E_{1\text{ου σταδίου}} = 469 - 349 = \mathbf{147 \text{ kJ/mole.}}$$

2^ο Στάδιο: Έλξη και δημιουργία του κρυσταλλικού πλέγματος.

Η ενέργεια που εκλύεται από την **ελκτική** αλληλεπίδραση των δύο ιόντων δίνεται από τον νόμο του *Coulomb*:

$$E_{Coulomb} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Z_1 \cdot Z_2 \cdot e^2}{r}$$



Ιοντικός δεσμός (11/19)

Ποια η μεταβολή της ενέργειας κατά τον σχηματισμό ετεροπολικών ενώσεων; (πχ. NaCl).

2° Στάδιο: Έλξη και δημιουργία του κρυσταλλικού πλέγματος.

$$E_{Coulomb} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Z_1 \cdot Z_2 \cdot e^2}{r}$$

Όπου:

ϵ_0 = διηλεκτρική σταθερά του κενού ($8,854 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{J}\cdot\text{sec}$).

$Z_{1,2}$ = τα φορτία των ιόντων (+1 και -1).

e = το φορτίο του ηλεκτρονίου ($1,6022 \times 10^{-19} \text{ C}$).

r = η απόσταση ανάμεσα στο δύο ιόντα (από πειραματικά δεδομένα

$r=282\text{pm}$, pico).

Με αντικατάσταση προκύπτει: $E_{Coulomb,NaCl} = -8,16 \times 10^{-19} \text{ J}$



Ιοντικός δεσμός (12/19)

Ποια η μεταβολή της ενέργειας κατά τον σχηματισμό ετεροπολικών ενώσεων; (πχ. NaCl).

2^ο Στάδιο: Έλξη και δημιουργία του κρυσταλλικού πλέγματος.

$$E_{Coulomb,NaCl} = -8,16 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Η ενέργεια αυτή αφορά 1 μόριο οπότε **X** με τον αριθμό Avogadro ($6,022 \times 10^{23}$) έχουμε την ενέργεια ανά mole:

$$E_{Coulomb,NaCl} = -493 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$



Ιοντικός δεσμός (13/19)

Ποια η μεταβολή της ενέργειας κατά τον σχηματισμό ετεροπολικών ενώσεων? (πχ. NaCl).

2^ο Στάδιο: Έλξη και δημιουργία του κρυσταλλικού πλέγματος.

Η ελκτική ενέργεια Coulomb εκτείνεται σε ολόκληρο το κρυσταλλικό πλέγμα οπότε εκλύεται ένα επιπλέον ποσό ενέργειας που δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$E_{Coulomb} = \frac{A}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r} = \frac{A}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Z^+ \cdot Z^- \cdot e^2}{r}$$

Όπου $A > 1$ και εξαρτάται από την γεωμετρική διάταξη των ιόντων, για το NaCl = 1.748.



Ιοντικός δεσμός (14/19)

Ποια η μεταβολή της ενέργειας κατά τον σχηματισμό ετεροπολικών ενώσεων? (πχ. NaCl).

1^ο Στάδιο: Απομάκρυνση και πρόσληψη e^- από το Na και Cl αντίστοιχα.

$$E = E_1 + E_2 \rightarrow E = I_1(\text{Na}) + \Delta H_{EA,1}(\text{Cl}) \rightarrow E_{1\text{ου σταδίου}} = 469 - 349 = \mathbf{147 \text{ kJ/mole.}}$$

2^ο Στάδιο: Έλξη και δημιουργία του κρυσταλλικού πλέγματος.

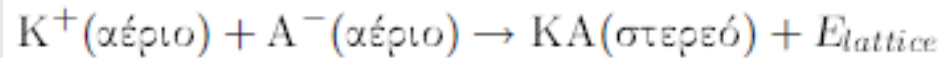
$$E_{2\text{ου σταδίου}} = -1.748 \times (-493) = \mathbf{-862 \text{ kJ/mole.}}$$



Ιοντικός δεσμός (15/19)

Ενέργεια πλέγματος και κύκλος Born-Haber:

Ενέργεια πλέγματος είναι η ενέργεια που εκλύεται κατά τον σχηματισμό 1 mole κρυσταλλικού στερεού από τα ιόντα του, τα οποία βρίσκονται στην αέρια κατάσταση ($E_{lattice}$).



Καθορίζεται κυρίως:

- Από την ενέργεια που εκλύεται λόγω των δυνάμεων Coulomb ($E_{Coulomb}$).
- Η ενέργεια που απαιτείται για να υπερνικηθούν οι απωστικές δυνάμεις (repulsive forces) που αναπτύσσονται ανάμεσα στα e^- ή τους πυρήνες. Οι δυνάμεις είναι πολύ σημαντικές όταν η απόσταση μεταξύ των ιόντων είναι πολύ μικρή.



Ιοντικός δεσμός (16/19)

Με βάση τα παραπάνω για την ενέργεια πλέγματος ισχύει (Εξίσωση *Born – Lande*):

$$E_{lattice} = E_{Coulomb} + E_{repulsive} = \frac{N_A \cdot A}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Z_1 \cdot Z_2 \cdot e^2}{r} \left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

Όπου n μια σταθερά (εκθέτης *Born*) και παίρνει τιμές μεταξύ 5 και 8.

Ο άμεσος προσδιορισμός της $E_{lattice}$ απαιτεί δύσκολους υπολογισμούς.

Ο έμμεσος υπολογισμός μπορεί εύκολα να γίνει από τον **κύκλο Born-Haber** βασιζόμενος στα αξιώματα της αρχικής και τελικής κατάστασης (*νόμος του Hess*):

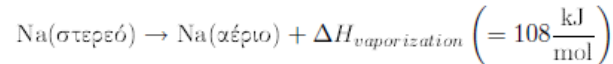
Η ενέργεια που εκλύεται ή απορροφάται κατά τη μετάβαση από μια αρχική κατάσταση σε μια τελική κατάσταση, είναι ανεξάρτητη από τη διαδρομή που θα ακολουθήσουμε προκειμένου να επιτύχουμε τη μεταβολή αυτή.



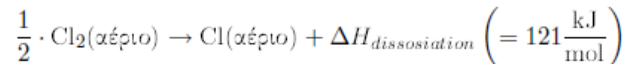
Ιοντικός δεσμός (17/19)

Κύκλος Born-Haber

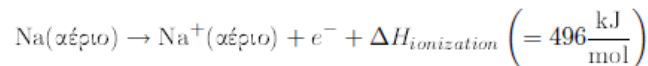
Βήμα 1: εξάχνωση μετάλλου



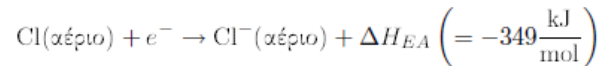
Βήμα 2: διάσπαση αλογόνου



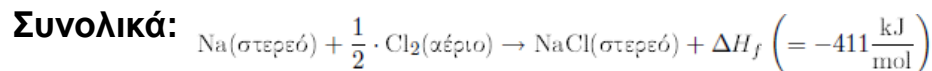
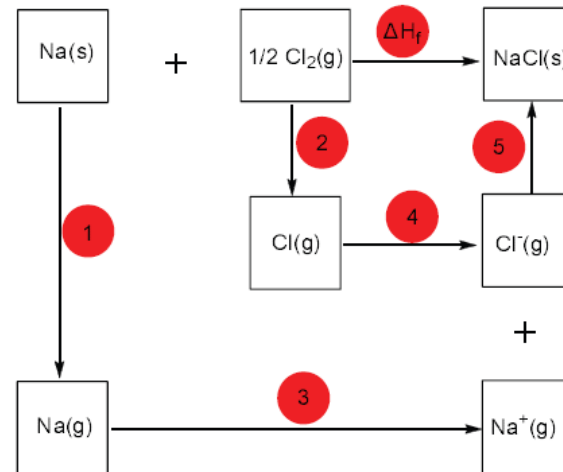
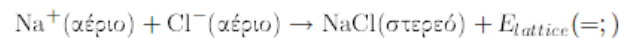
Βήμα 3: αποβολή ηλεκτρονίου από το μέταλλο



Βήμα 4: πρόσληψη ηλεκτρονίου από το αλογόνο



Βήμα 5: ενέργεια κρυσταλλικού πλέγματος



Νόμος Hess

$$\Delta H_f = \Delta H_{\text{vaporization}} + \Delta H_{\text{dissociation}} + \Delta H_{\text{ionization}} + \Delta H_{\text{EA}} + E_{\text{lattice}}$$



Ιοντικός δεσμός (18/19)

- Προσδιορισμός ιοντικών ακτίνων

- Από το μήκος δεσμού: $r_{\text{NaCl}} = r_{\text{Na}^+} + r_{\text{Cl}^-}$

$r_{\text{Na}^+ \cdot \text{Cl}^-}$ = ιοντική ακτίνα $\text{Na}^+ \text{Cl}^-$ r_{NaCl} = μήκος δεσμού NaCl

- Προσδιορισμός κατά Pauling:

$$\frac{r_{\text{ανιόντος}}}{r_{\text{κατιόντος}}} = \frac{Z_{\text{κατιόντος}}^*}{Z_{\text{ανιόντος}}^*}$$

Με βάση τις δύο παραπάνω σχέσεις μπορούμε να υπολογίσουμε τις ιοντικές ακτίνες αν γνωρίζουμε το μήκος δεσμού της ιοντικής ένωσης



Ιοντικός δεσμός (19/19)

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΙΟΝΤΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ

- Σώματα σκληρά και εύθραυστα.
- Σώματα με υψηλό σημείο τήξεως.
- Μη αγώγιμα σε στερεά κατάσταση.
- Αγώγιμα σε τήγματα ή διαλύματα.
- Δεν είναι ελατά και όλκιμα.

Τα ιόντα δεν
μπορούν να
μετακινηθούν
στο πλέγμα



Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σημείωμα Αναφοράς

- Copyright Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Μαρνέλλος Γεώργιος. «Χημεία». Έκδοση: 1.0. Κοζάνη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: [https:// eclass.uowm.gr/courses/MECH100/](https://eclass.uowm.gr/courses/MECH100/)



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Όχι Παράγωγα Έργα Μη Εμπορική Χρήση 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ως Μη Εμπορική ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

- Γενική Χημεία. Θεωρία & Εφαρμογές, Μ.Ι. Κονσολάκης, Εκδόσεις ΑΕΝΑΟΣ, 2008



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

