



Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Εργαστήριο Βιολογίας, Τομέας Βασικών Ιατρικών Επιστημών
Τμήμα Ιατρικής, Σχολή Επιστημών Υγείας

Παραγωγή Ενέργειας στα Κύτταρα I

ΚΕΦ. 3, Alberts, MED1952

Νεφέλη Λαγοπάτη
Επίκουρη Καθηγήτρια Βιολογίας-Νανοϊατρικής
nlagopati@med.uoa.gr

Αναβολισμός

Μεταβολισμός

Πέψη

Καταβολισμός

Μιτοχόνδρια

Ένζυμα

Θερμίδες

ΑΤΡ

Τροφή

Οξειδωση

Αναπνοή

Φωτοσύνθεση

Εκπαιδευτικοί Στόχοι Διάλεξης

Θα γνωρίσουμε:

- Τη σημασία της μετατροπής της ενέργειας σε χρήσιμη μορφή
- Την αξιοποίηση της ενέργειας από τα κύτταρα
- Πότε οι χημικές αντιδράσεις είναι ενεργειακά ευνοϊκές
- Το ρόλο των ενζύμων στην κατάλυση των αντιδράσεων
- Τους ενεργοποιημένους φορείς – μόρια και το ρόλο τους στη βιοσύνθεση

Θερμοδυναμική
και
Εντροπία

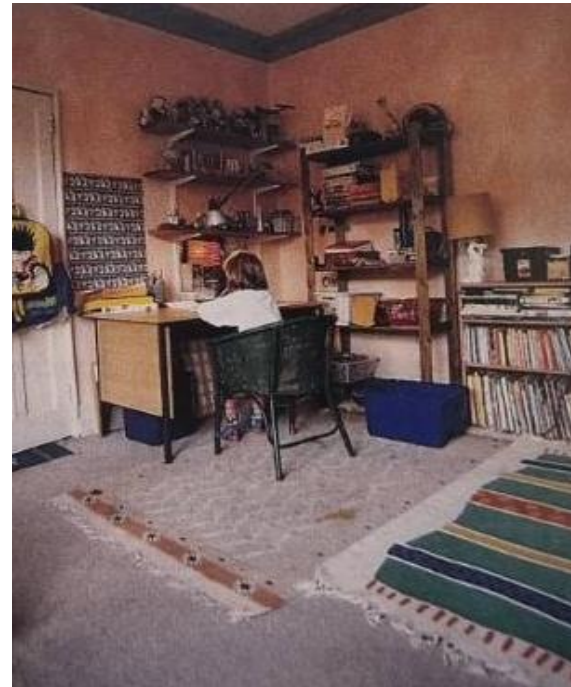
Δεύτερο Αξίωμα Θερμοδυναμικής

«Στο σύμπαν ή σε οποιοδήποτε απομονωμένο σύστημα, ο βαθμός της αταξίας (η συνολική **εντροπία** στις μεταβολές του συστήματος αυτού) μπορεί μόνο να αυξάνει»



Δεύτερο Αξίωμα Θερμοδυναμικής

Οργανωμένη προσπάθεια που απαιτεί παροχή ενέργειας



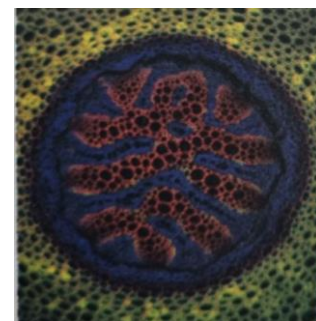
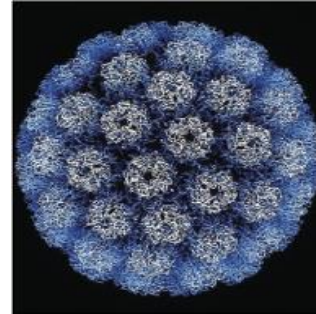
*Adapted from Alberts,
4^η έκδοση,
Εκδ. Πασχαλίδης*

Αυθόρμητη Αντίδραση με την πάροδο του χρόνου

Εντροπία και Ζωή

- Ο βαθμός αταξίας ενός συστήματος μπορεί να εκφραστεί ποσοτικά (**εντροπία**).
- Όσο μεγαλύτερη είναι η αταξία, τόσο μεγαλύτερη και η εντροπία.
- Η εντροπία στο σύμπαν τείνει να αυξάνεται.
- Τα ζωντανά κύτταρα επιβιώνουν, αυξάνουν και δημιουργούν σύνθετους οργανισμούς.
- Τα έμβια όντα δημιουργούν και συντηρούν **τάξη** μέσα στο σύμπαν.

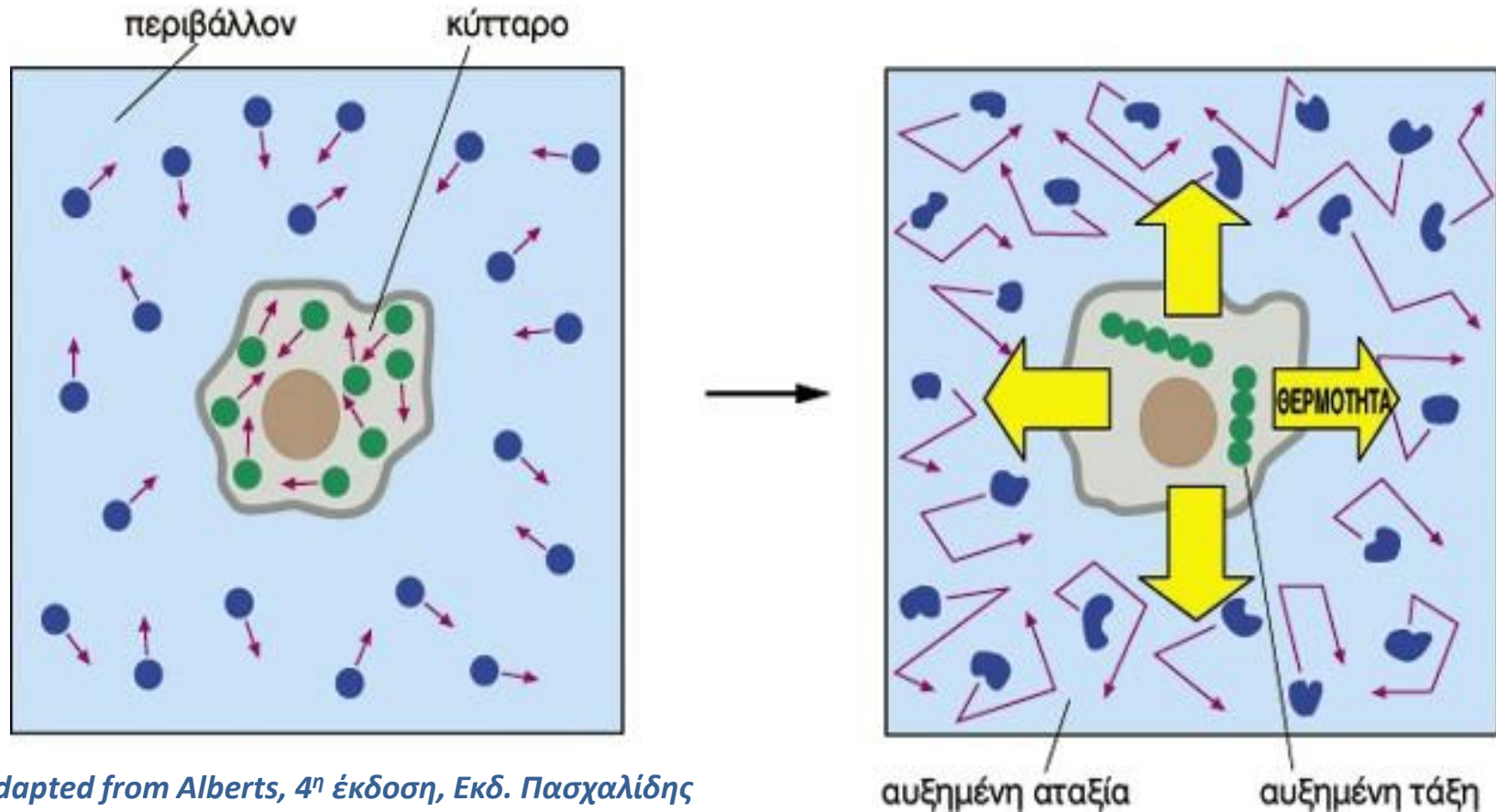
Εντροπία και Κύτταρο



*Adapted from Alberts,
4^η έκδοση, Εκδ.
Πασχαλίδης*

Τα κύτταρα παραβιάζουν το 2^ο αξίωμα της θερμοδυναμικής???

Δεύτερο Αξίωμα Θερμοδυναμικής στο σύστημα κύτταρο-περιβάλλον



Adapted from Alberts, 4^η έκδοση, Εκδ. Πασχαλίδης

Η Βιολογική τάξη επιτυγχάνεται με έκλυση θερμότητας από τα κύτταρα

Πρώτο Αξίωμα Θερμοδυναμικής

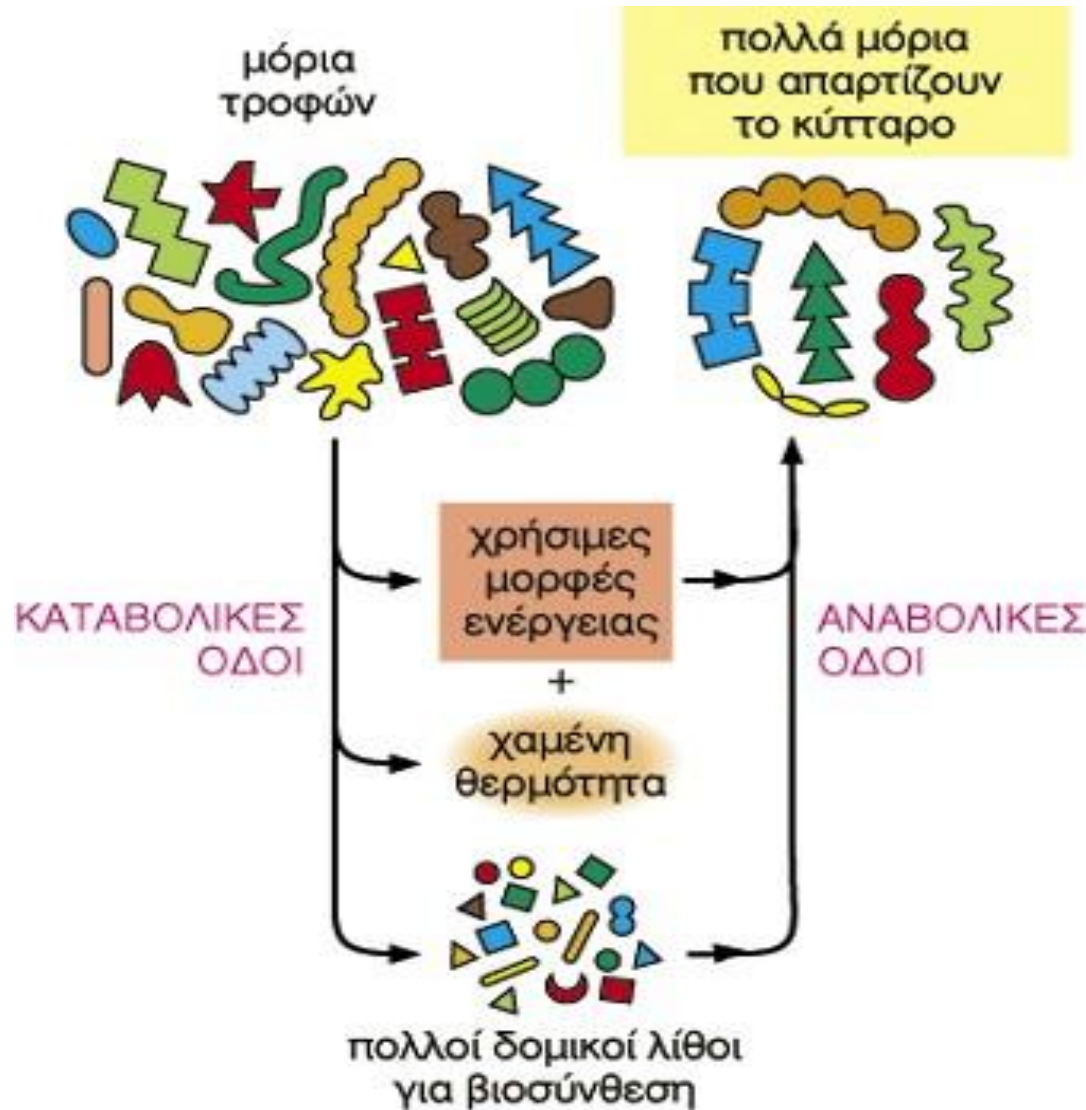
**«Η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί.
Μετατρέπεται από τη μια μορφή στην άλλη»**



Adapted from:
<http://physiclessons.blogspot.com/10>

Χημικές Αντιδράσεις

Μεταβολισμός



ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Χημικές Αντιδράσεις

- Οι περισσότερες βιοχημικές αντιδράσεις που επιτελούνται, θα ήταν πραγματοποιήσιμες σε υψηλότερες θερμοκρασίες από τη θερμοκρασία στο εσωτερικό των κυττάρων.
- Απαιτείται κάποια ώθηση ! (?) ! (?) !
- Τα ένζυμα αναλαμβάνουν το ρόλο αυτό.
- Τα ένζυμα είναι εξειδικευμένες πρωτεΐνες.
- Τα ένζυμα ελέγχουν ενδελεχώς και μοναδικά τις χημικές αντιδράσεις και τις καταλύουν.

Μεταβολικές Οδοί

Πρώτη ύλη ή
Υπόστρωμα

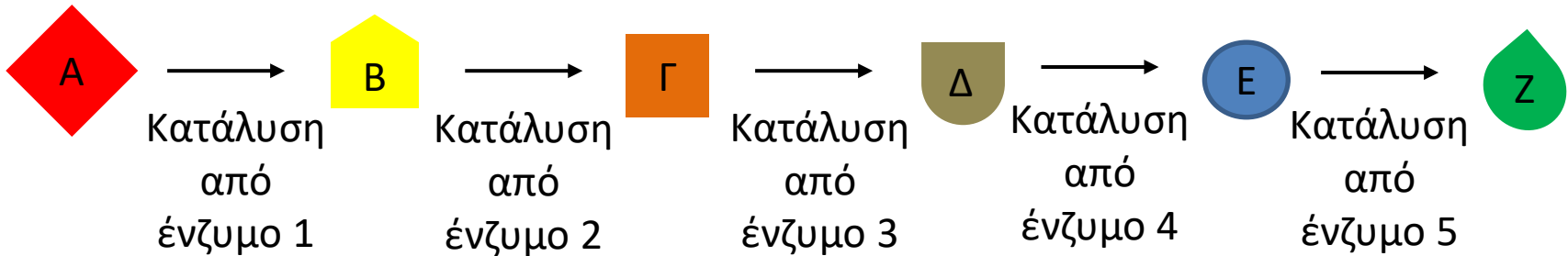
Προϊόν

Υπόστρωμα

Προϊόν

Υπόστρωμα

Προϊόν



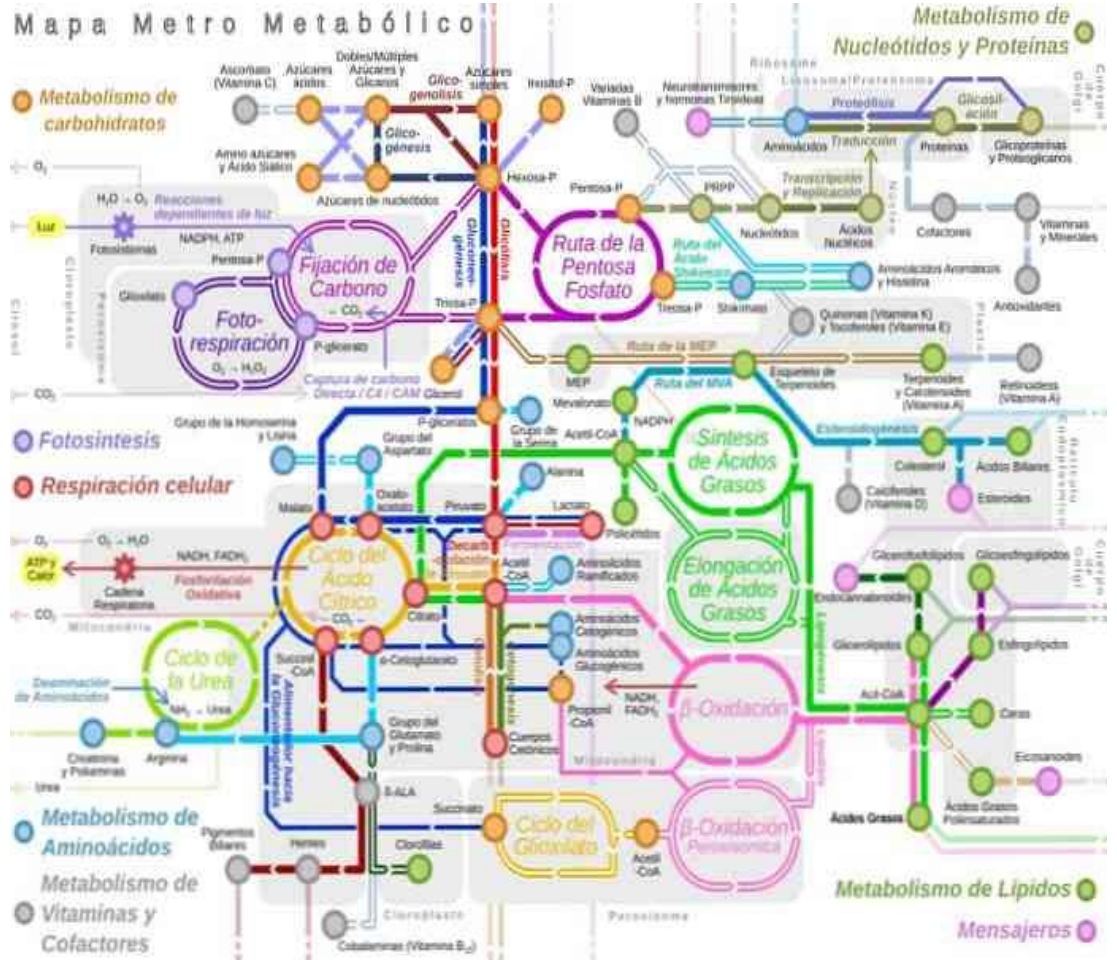
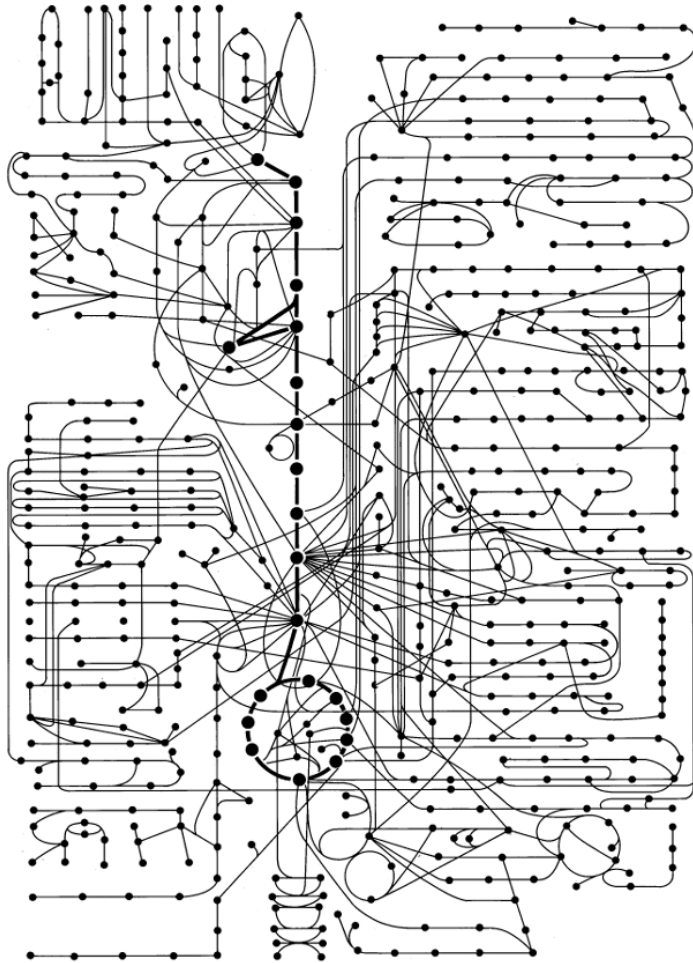
Υπόστρωμα

Προϊόν

Υπόστρωμα

Προϊόν

Μεταβολικές Οδοί

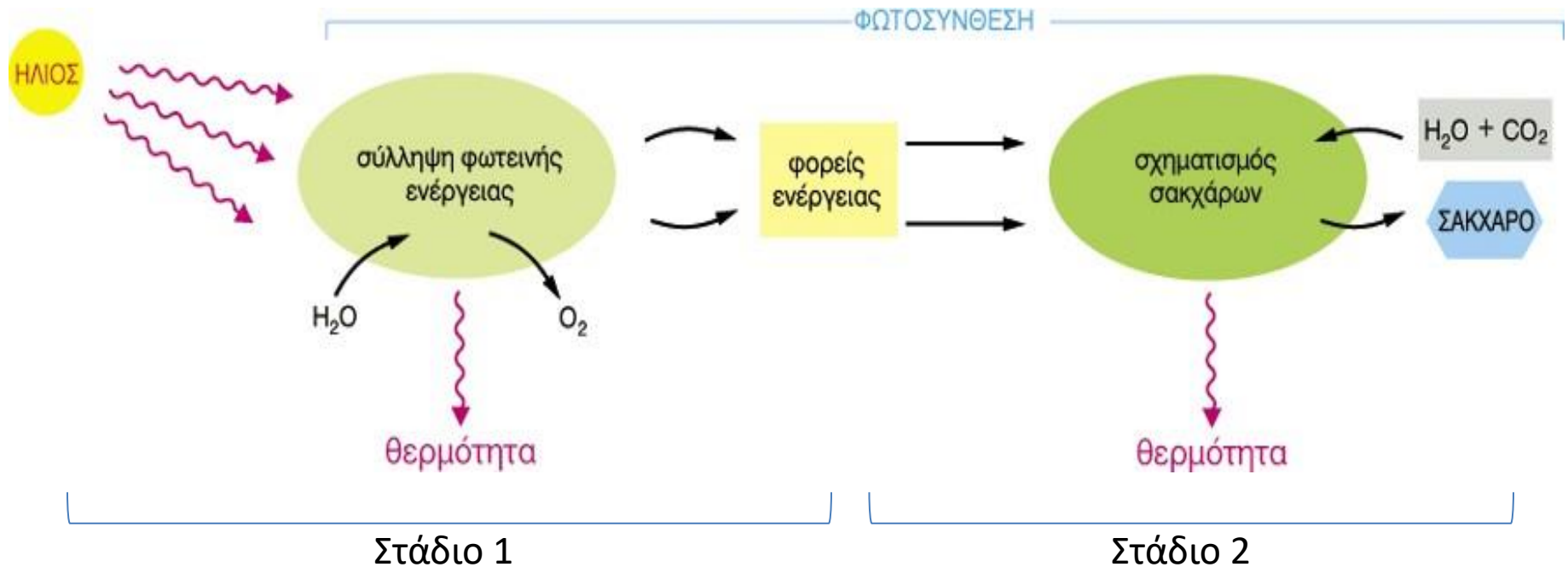


Adapted from <https://el.thpanora>

Φωτοσύνθεση



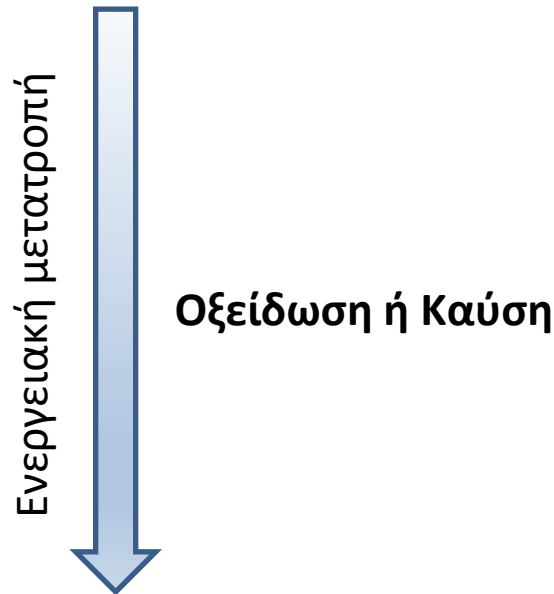
Φωτοσύνθεση: 2 στάδια



Φωτεινή ενέργεια + CO₂ + H₂O → σάκχαρα + O₂ + θερμική ενέργεια

Οξείδωση οργανικών μορίων

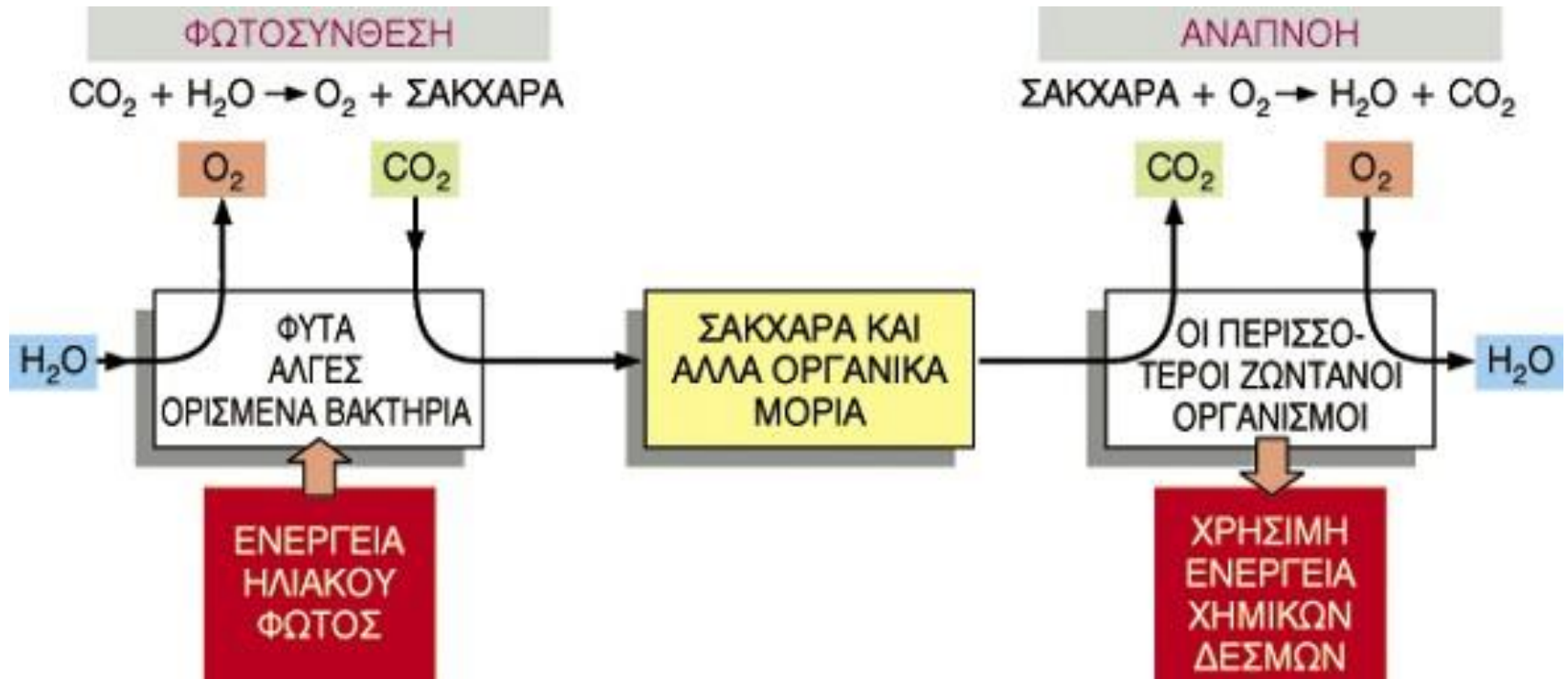
Χημική ενέργεια, αποθηκευμένη στους χημικούς δεσμούς οργανικών μορίων



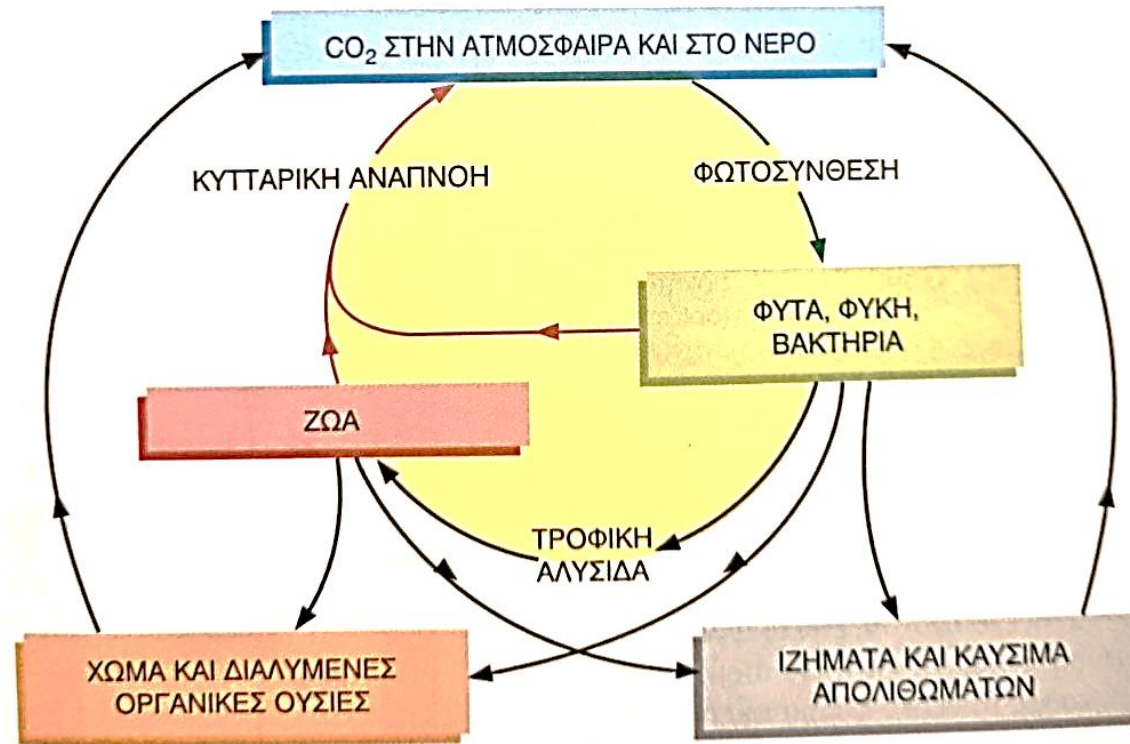
Ενέργεια, σε χρήσιμη μορφή για τη ζωή

Φωτοσύνθεση και Αναπνοή

Συμπληρωματικές διεργασίες στον έμβιο κόσμο



Ο κύκλος του άνθρακα



Adapted from Alberts, 4^η έκδοση, Εκδ. Πασχαλίδης

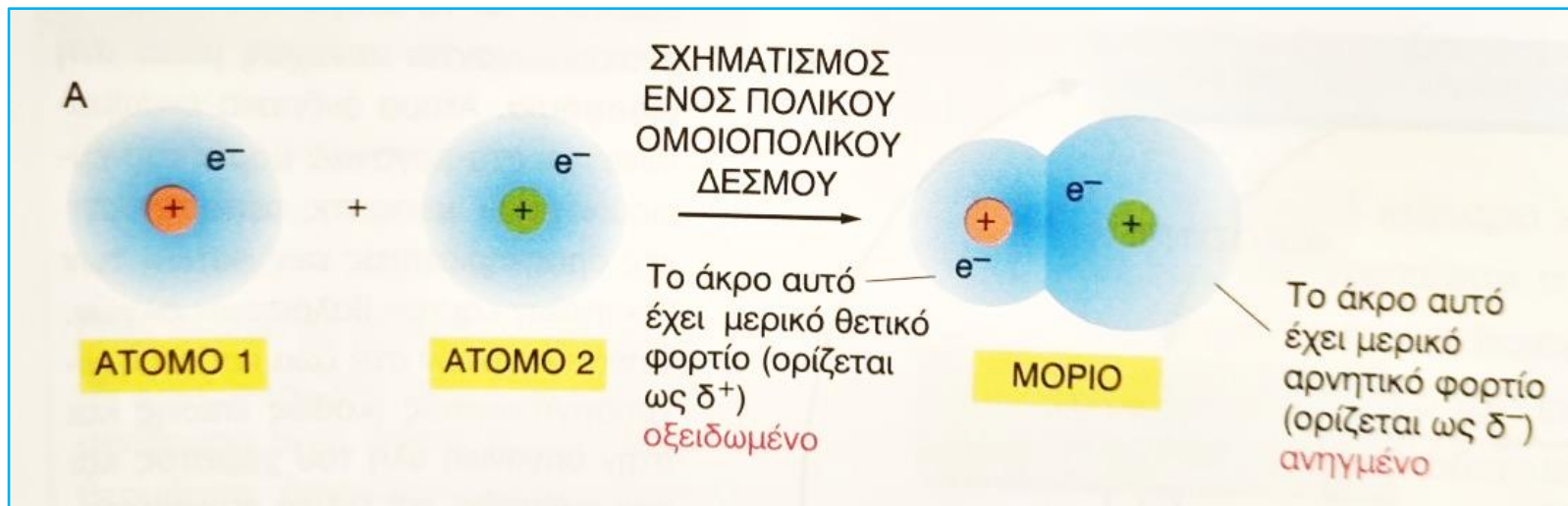
Άτομα άνθρακα ενσωματώνονται στα οργανικά μόρια του έμβιου κόσμου, μέσω της φωτοσύνθεσης. Περνούν στα ζώα και επανέρχονται στην ατμόσφαιρα ως CO₂, μέσω της αναπνοής.

Οξείδωση και Αναγωγή

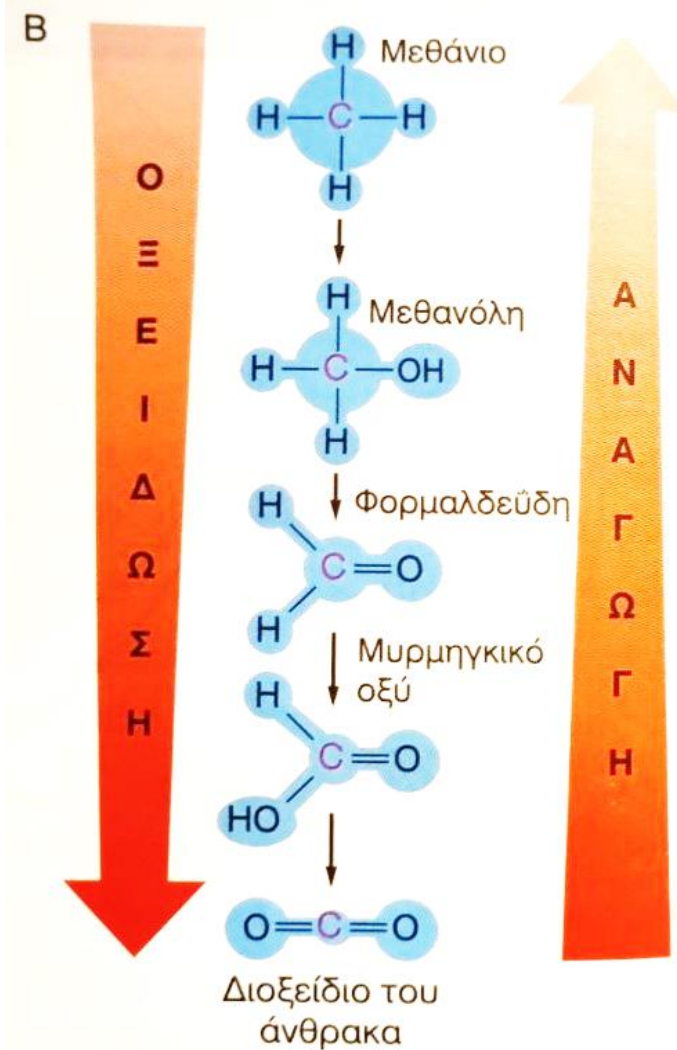
- Οξείδωση \longrightarrow Αφαίρεση ηλεκτρονίων
- Αναγωγή \longrightarrow Προσθήκη ηλεκτρονίων

Οξείδωση \rightleftharpoons Αναγωγή

Η οξείδωση και η αναγωγή ισχύουν όταν συμβαίνει ακόμα και μερική μετατόπιση ηλεκτρονίων ανάμεσα σε άτομα που συνδέονται μεταξύ τους με ομοιοπολικό δεσμό.



Οξείδωση και Αναγωγή



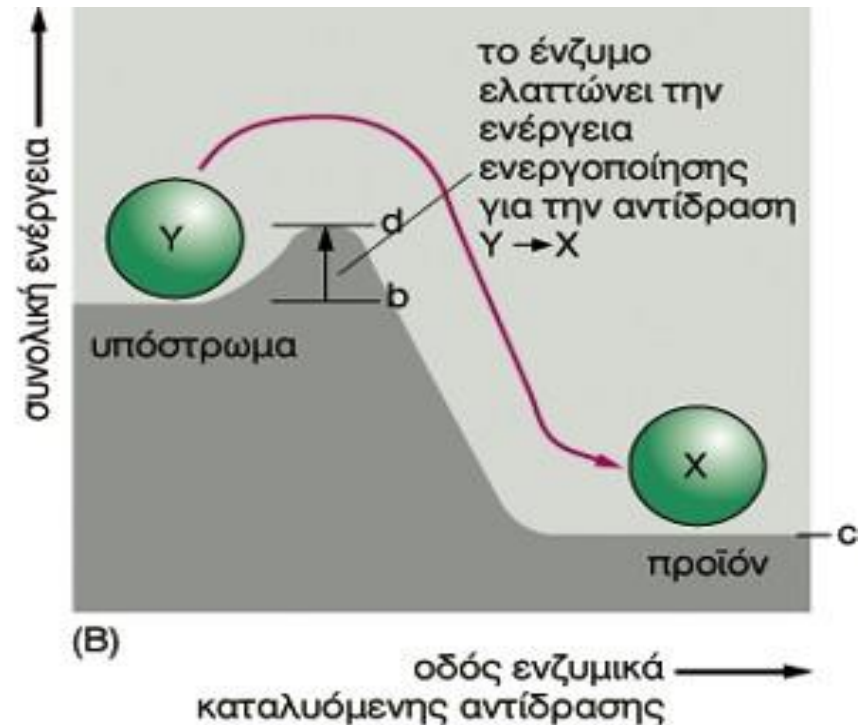
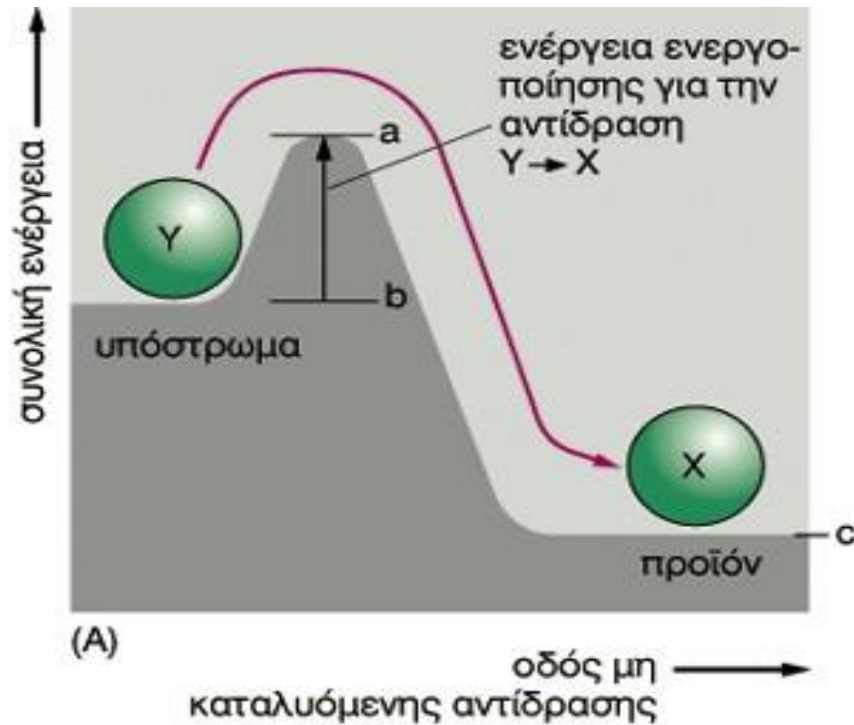
Κατεύθυνση Αντιδράσεων

Οι χημικές αντιδράσεις εξελίσσονται προς την κατεύθυνση που οδηγεί σε απώλεια της ελεύθερης ενέργειας!

Η αυθόρμητη κατεύθυνση για κάθε αντίδραση είναι εκείνη που οδεύει σε χαμηλότερα επίπεδα ενέργειας και ονομάζεται ενεργειακά ευνοϊκή

Χημικές Αντιδράσεις
και
Ένζυμα

Ενέργεια Ενεργοποίησης και Ένζυμα



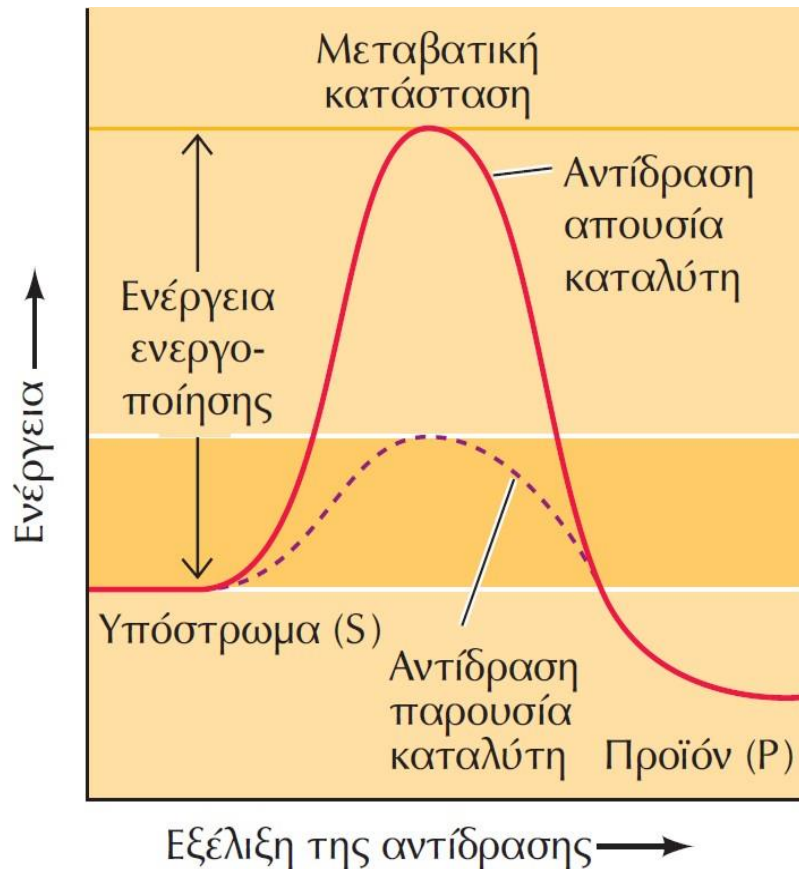
Adapted from Alberts, 4^η έκδοση, Εκδ. Πασχαλίδης

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ:

ΩΘΗΣΗ (αρχική ενέργεια) ΕΝΟΣ ΜΟΡΙΟΥ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΚΑΠΟΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΦΡΑΓΜΟ ΠΡΟΚΕΙΜΕΝΟΥ ΝΑ ΣΥΜΜΕΤΕΧΕΙ ΣΕ ΜΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΠΟΥ ΘΑ ΤΟ ΦΕΡΕΙ ΣΕ ΜΙΑ ΠΙΟ ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.

Τα ένζυμα προσφέρουν την ώθηση αυτή!

Αντιδράσεις παρουσία καταλύτη

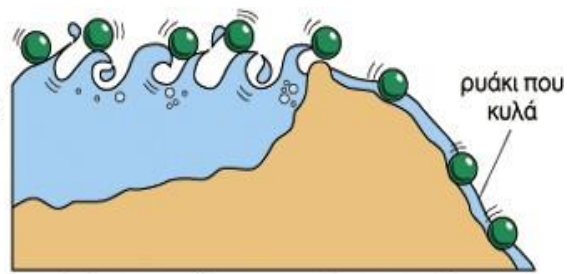
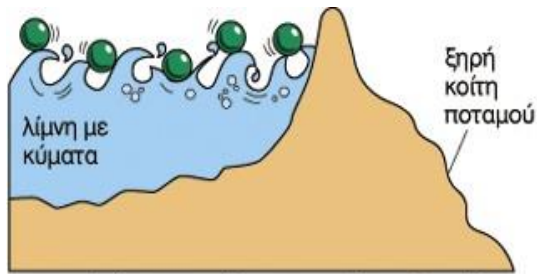


Ενεργειακά διαγράμματα για αντιδράσεις παρουσία και απουσία καταλύτη.

- Η αντίδραση που απεικονίζεται είναι η απλή μετατροπή του S στο προϊόν P.
- Επειδή η τελική ενεργειακή κατάσταση του P είναι χαμηλότερη από εκείνη του S, η αντίδραση έχει κατεύθυνση από αριστερά προς τα δεξιά.
- Προκειμένου όμως να πραγματοποιηθεί η αντίδραση, το S πρέπει να διέλθει από μια μεταβατική κατάσταση υψηλής ενέργειας. Η ενέργεια που απαιτείται για να φτάσει στη μεταβατική κατάσταση (η ενέργεια ενεργοποίησης) συνιστά έναν φραγμό στην εξέλιξη της αντίδρασης και κατά συνέπεια καθορίζει την ταχύτητα με την οποία διεξάγεται η αντίδραση.
- Παρουσία ενός καταλύτη (π.χ. ενός ενζύμου), η ενέργεια ενεργοποίησης μειώνεται και η αντίδραση πραγματοποιείται με μεγαλύτερη ταχύτητα.

Adapted from Cooner, Hausman, Ακαδ. Εκδόσεις.

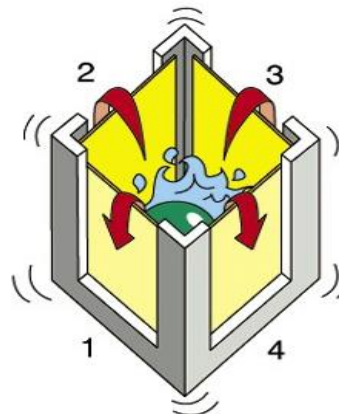
Ελάττωση του φραγμού της ενέργειας ενεργοποίησης



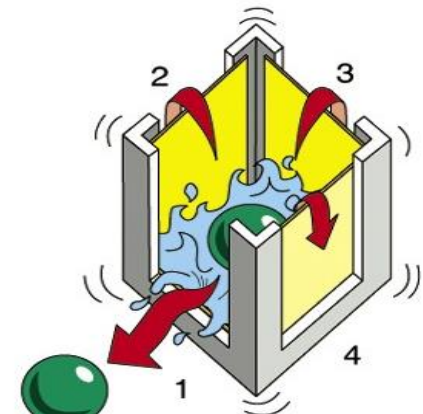
μη καταλυόμενη αντίδραση: τα κύματα δεν είναι τόσο μεγάλα όσο χρειάζεται για να ξεπεράσουν το φράγμα

καταλυόμενη αντίδραση: τα κύματα συχνά ξεπερνούν το φράγμα

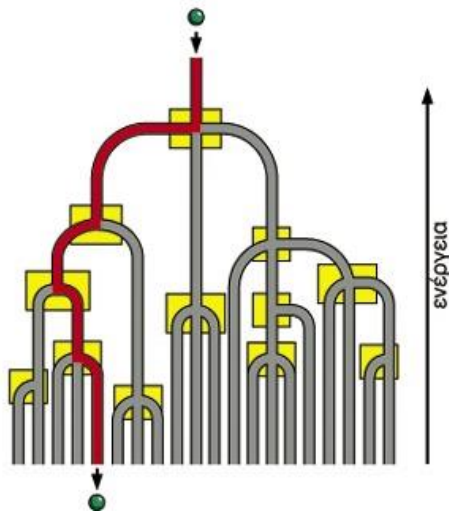
(A)



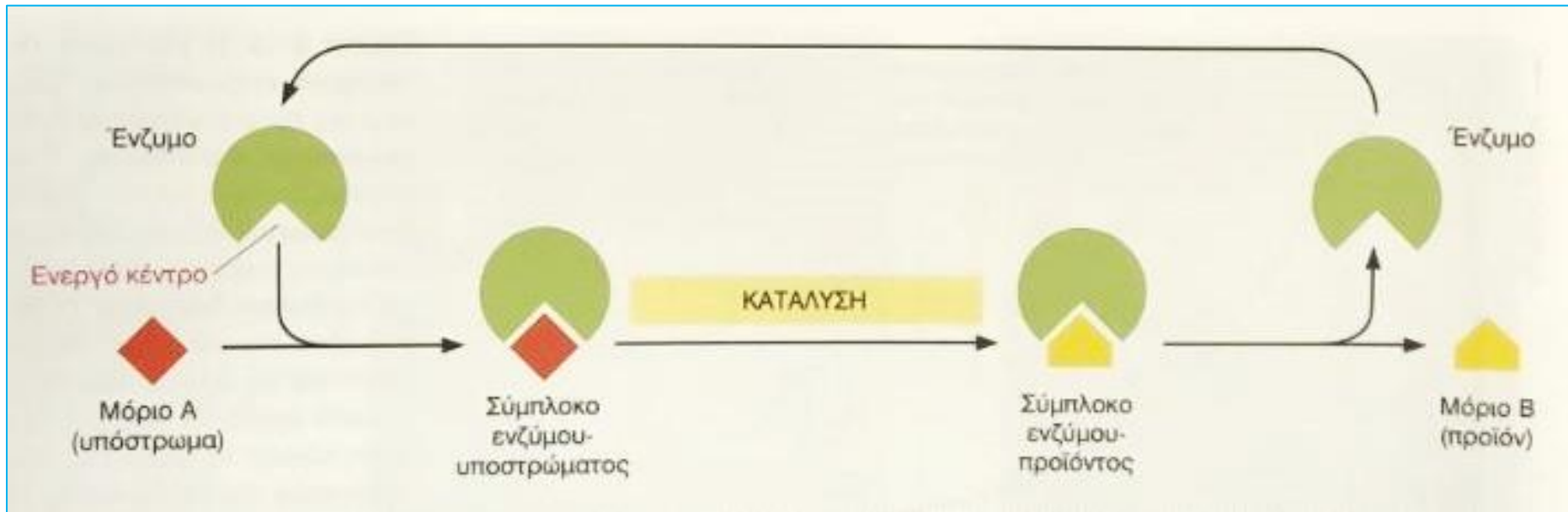
(B)



(Γ)



Ένζυμα και Υποστρώματα



Adapted from Alberts, 4^η έκδοση, Εκδ. Πασχαλίδης

**Τα ένζυμα μετατρέπουν τα υποστρώματα σε προϊόντα χωρίς τα ίδια να μεταβάλλονται.
Καταλύουν (επιταχύνουν) τις αντιδράσεις.**

Κατάλυση Αντίδρασης από Ένζυμα

1

Ένζυμο συνδέεται με υπόστρωμα

2

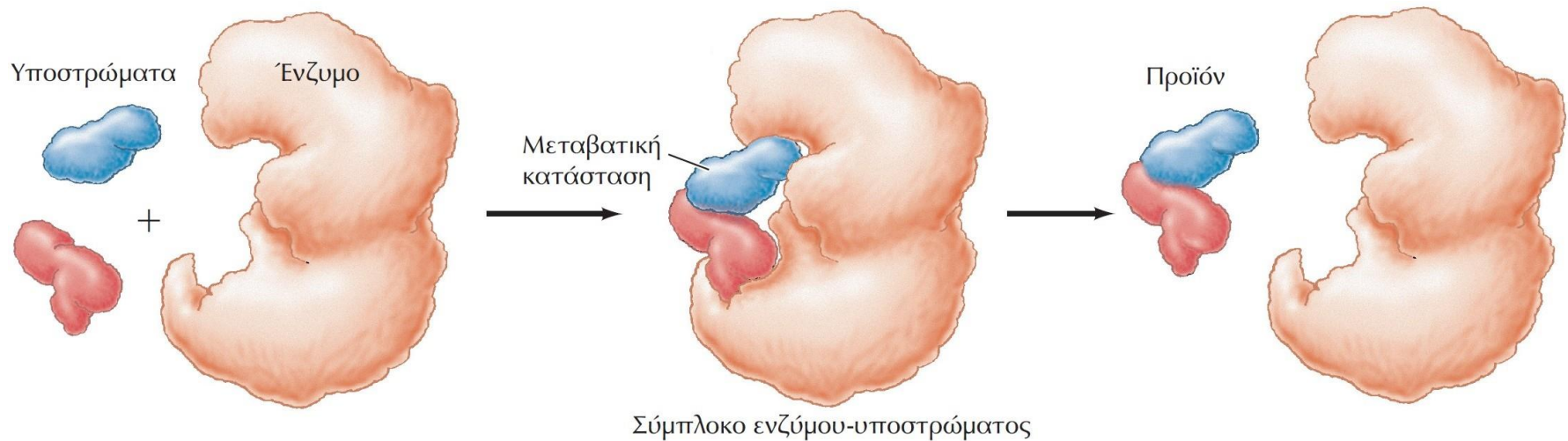
Σχηματισμός προϊόντος που παραμένει συνδεδεμένο με το ένζυμο

3

Απελευθέρωση προϊόντος και ενζύμου

οι ταχύτητες
κάθε σταδίου
ποικίλλουν

Ενζυμική Κατάλυση Αντίδρασης 1

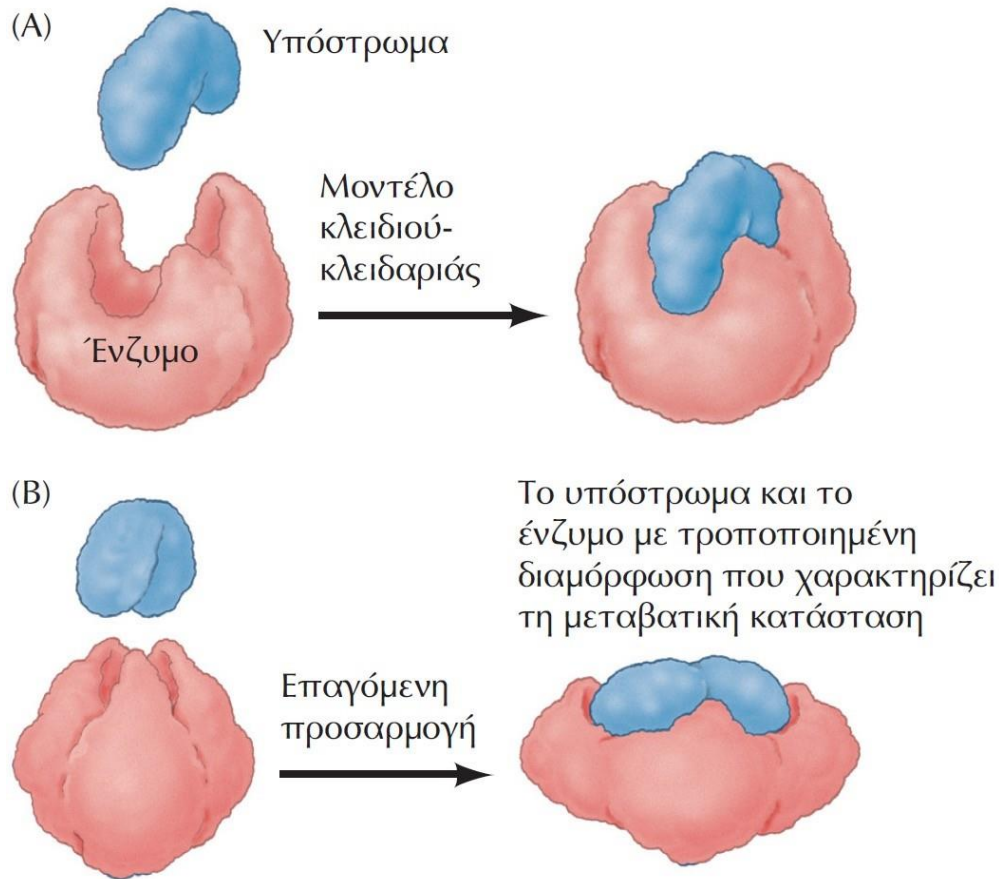


Adapted from Cooner, Hausman, Ακαδ. Εκδόσεις.

Ενζυμική κατάλυση μιας αντίδρασης ανάμεσα σε δύο υποστρώματα.

Το ένζυμο παρέχει μια μήτρα επάνω στην οποία τα δύο υποστρώματα έρχονται στην κατάλληλη θέση και με τον κατάλληλο προσανατολισμό, ώστε να αντιδράσουν μεταξύ τους.

Μοντέλα αλληλεπίδρασης ενζύμου-υποστρώματος



Μοντέλα αλληλεπίδρασης ενζύμου υποστρώματος

(A) Στο μοντέλο κλειδιού-κλειδαριάς το υπόστρωμα ταιριάζει ακριβώς στο ενεργό κέντρο του ενζύμου.

(B) Στο μοντέλο επαγόμενης προσαρμογής, η σύνδεση του υποστρώματος τροποποιεί τη διαμόρφωση τόσο του υποστρώματος όσο και του ενζύμου. Χάρη σε αυτή την τροποποίηση της διαμόρφωσης, το υπόστρωμα προσομοιάζει περισσότερο στη μεταβατική κατάσταση και η αντίδραση επιταχύνεται.

Χημικές Αντιδράσεις,
Ελεύθερη Ενέργεια και
Ισορροπία

Μεταβολή Ελεύθερης Ενέργειας

Μία χημική αντίδραση πραγματοποιείται όταν οδηγεί σε αύξηση της εντροπίας.



Χρήσιμη ενέργεια διασπείρεται ως θερμότητα.



Ελεύθερη ενέργεια
(G)



**Μεταβολή Ελεύθερης
Ενέργειας (ΔG)**

*Εκφράζει τη μεταβολή της
εντροπίας στο σύμπαν*

Μεταβολή Ελεύθερης Ενέργειας

Μία ενεργειακά ευνοϊκή αντίδραση ελαττώνει την ελεύθερη ενέργεια



Αρνητική ΔG



Αύξηση Αταξίας

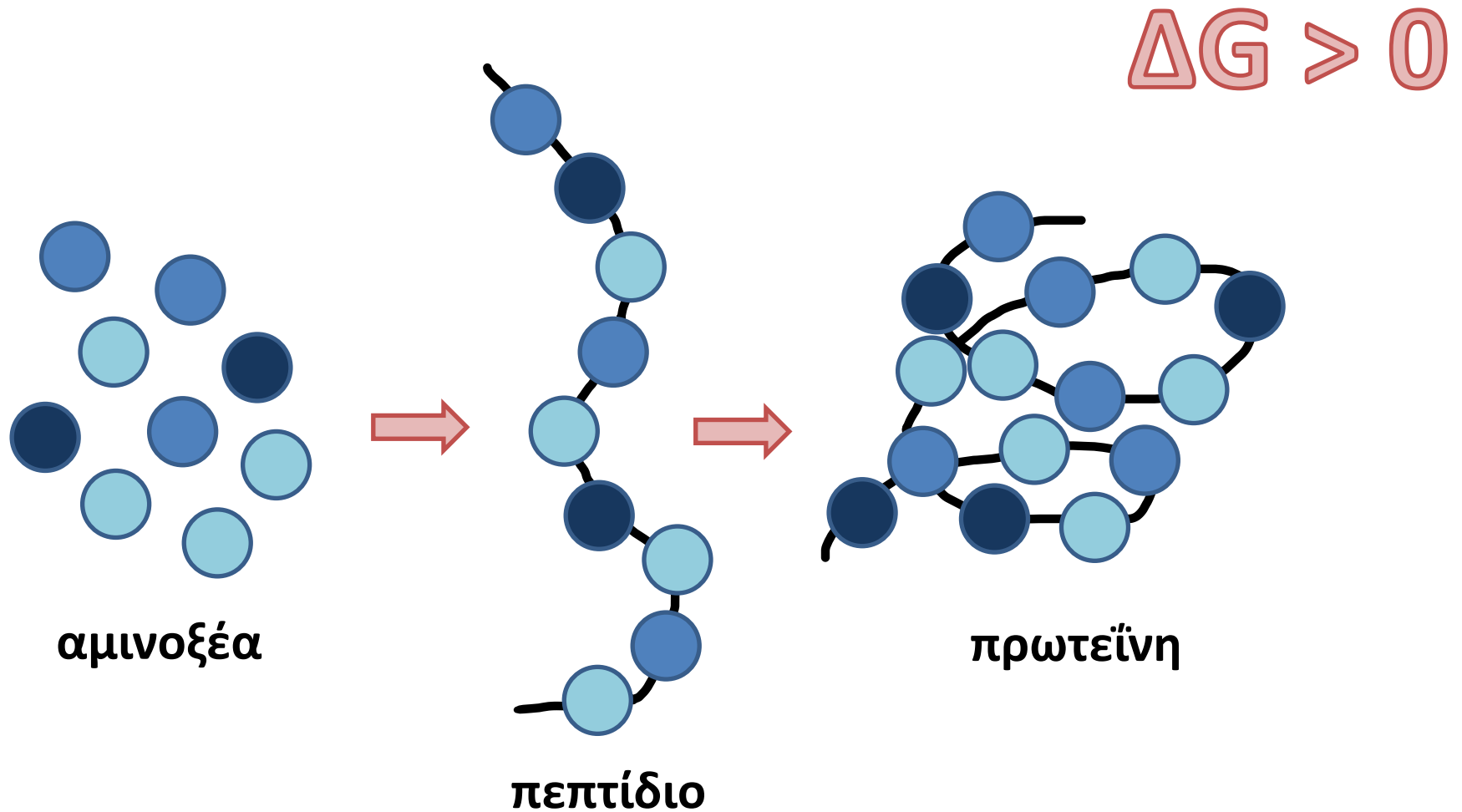
Αυθόρμητες «Αντιδράσεις»



$$\Delta G < 0$$




Μη ευνοϊκές αντιδράσεις



Ευνοϊκές και μη ευνοϊκές αντιδράσεις

**ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ
ΕΥΝΟΪΚΗ
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ**



Η ελεύθερη ενέργεια του Y είναι μεγαλύτερη από την ελεύθερη ενέργεια του X. Επομένως $\Delta G < 0$, και η αστάθεια του σύμπαντος αυξάνεται κατά τη διάρκεια της αντίδρασης $Y \rightarrow X$.

Αυτή η αντίδραση μπορεί να συμβεί αυθόρμητα

Adapted from Alberts, 4^η έκδοση, Εκδ. Πασχαλίδης

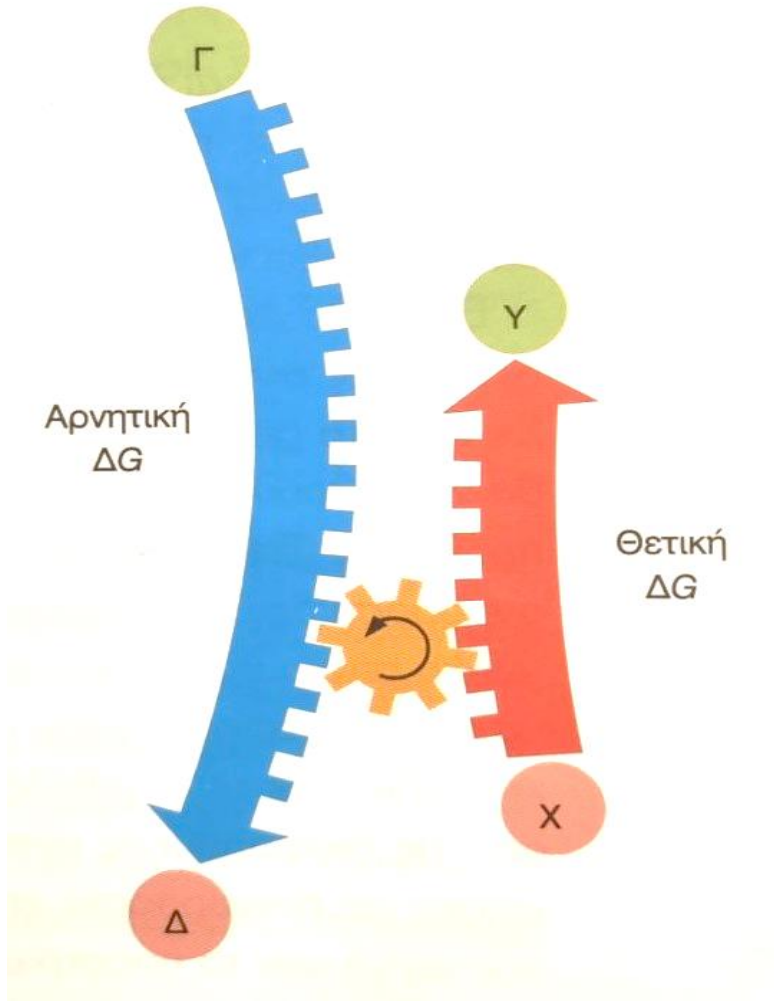
**ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ
ΜΗ ΕΥΝΟΪΚΗ
ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ**



Αν συνέβαινε η αντίδραση $X \rightarrow Y$, η ΔG θα ήταν μεγαλύτερη από το μηδέν και η τάξη του σύμπαντος θ' αυξανόταν

Αυτή η αντίδραση μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο αν συζευχθεί με μια δεύτερη, ενεργειακά ευνοϊκή αντίδραση


Μεταβολές ΔG και Σύζευξη Αντιδράσεων

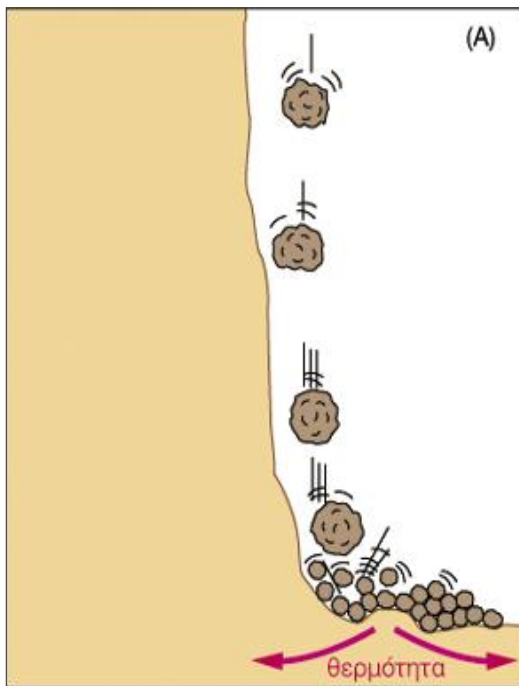


Η ενεργειακά μη ευνοϊκή αντίδραση $X \rightarrow Y$ μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο αν συζευχθεί με την ενεργειακά ευνοϊκή αντίδραση $\Gamma \rightarrow \Delta$.

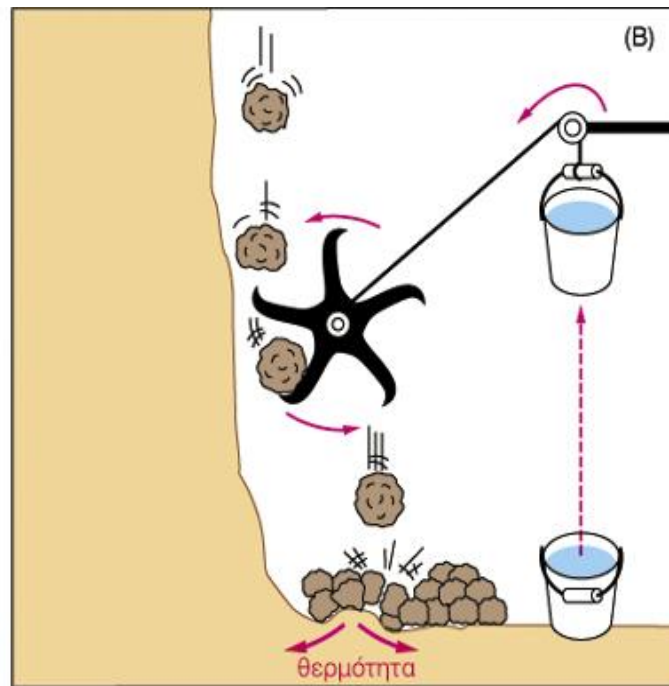
Η τελική ενέργεια που εκλύεται είναι αρνητική.

Μεταβολές ΔG και Σύζευξη Αντιδράσεων

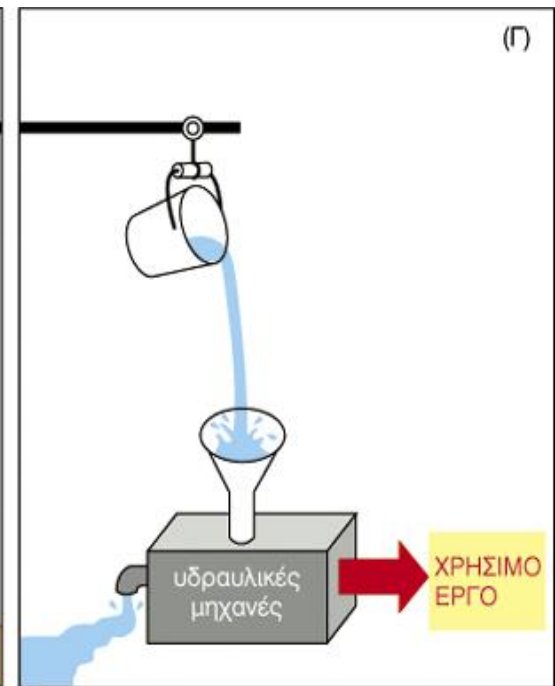
Ευνοϊκή ενεργειακά αντίδραση  Μη ευνοϊκή ενεργειακά αντίδραση
πρώθηση



η κινητική ενέργεια μετατρέπεται μόνο σε θερμότητα



ένα μέρος της κινητικής ενέργειας χρησιμοποιείται για την ανύψωση ενός κουβά με νερό. Έτσι, η ποσότητα της θερμότητας που εκλύεται είναι αντίστοιχα μικρότερη



η δυναμική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στον ανυψωμένο κουβά με το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προωθήσει τη λειτουργία υδραυλικών μηχανημάτων τα οποία κάνουν πολλές χρήσιμες δουλειές

Μεταβολές ΔG και ισορροπία



- Ⓢ Εξελίσσεται ενεργειακά ευνοϊκή αντίδραση $Y \rightarrow X$.
- Ⓢ Η συγκέντρωση του X αυξάνεται και του Y ελαττώνεται.
- Ⓢ Το αρνητικό ΔG σταδιακά είναι λιγότερο αρνητικό.
- Ⓢ Αν δεν προστεθεί Y, θα σταματήσει η αντίδραση, όταν $\Delta G=0$.

ΧΗΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ

Πρότυπη μεταβολή ελεύθερης ενέργειας ΔG^0

Πρότυπη μεταβολή ελεύθερης ενέργειας ΔG^0

- Ανεξάρτητη από τη συγκέντρωση
- Εξαρτάται μόνο από τις ιδιαίτερες ιδιότητες των αντιδρώντων
- Βασίζεται στη συμπεριφορά τους σε ιδανικές συνθήκες, όταν οι συγκεντρώσεις όλων των αντιδρώντων μορίων είναι 1 mole/l
- Υπολογίζεται για τις μεταβολικές αντιδράσεις, με βάση θερμοδυναμικά δεδομένα.

Σχέση ΔG και ΔG^0



$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln \frac{[X]}{[Y]}$$

Kcal/mol

Σταθερά των
αερίων

Απόλυτη
Θερμοκρασία

Συγκεντρώσεις Y και X

$RT = 0,616$ στους 37°C

Όταν $[Y]=[X] \rightarrow \frac{[X]}{[Y]}=1 \rightarrow \ln 1=0 \rightarrow \Delta G = \Delta G^0$

Σχέση K και συγκέντρωσης



$$K = \frac{[X]}{[Y]}$$

Σταθερά
Ισορροπίας

Συγκεντρώσεις Y και X

Σχέση K και ΔG^0

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln \frac{[X]}{[Y]}$$

Στην ισορροπία $\Delta G = 0$

Στους 37 °C, $RT = 0,616$

$$\Delta G^0 = -0,616 \ln \frac{[X]}{[Y]}$$

$$\Delta G^0 = -0,616 \ln K$$

$$\Delta G^0 = -1,43 \log K$$

Σχέση K και ΔG^0

$$\Delta G^0 = -0,616 \ln K$$



$$\ln K = \frac{\log K}{\log e}$$

$$\Delta G^0 = -0,616 \cdot \frac{\log K}{0,43}$$

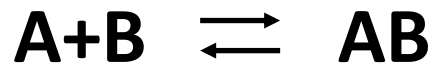


$$\ln K = \frac{\log K}{0,43}$$

$$\Delta G^0 = -0,616 \cdot \frac{\log K}{0,43}$$

$$\Delta G^0 = -1,43 \log K$$

Σχέση K και ΔG^0

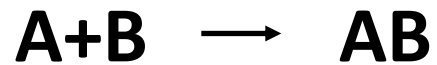


$$K = \frac{[AB]}{[A][B]}$$

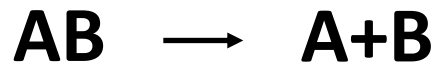
| Σταθερά Ισορροπίας $\frac{[X]}{[Y]}$ | Σταθερή Ελεύθερη Ενέργεια (ΔG^0) του X μείον Ελεύθερη Ενέργεια του Y (kcal/mole) |
|---|---|
| 10^5 | -7,1 |
| 10^4 | -5,7 |
| 10^3 | -4,3 |
| 10^2 | -2,8 |
| 10 | -1,4 |
| 1 | 0 |
| 10^{-1} | 1,4 |
| 10^{-2} | 2,8 |
| 10^{-3} | 4,3 |
| 10^{-4} | 5,7 |
| 10^{-5} | 7,1 |

Adapted from Alberts, 4^η έκδοση, Εκδ. Πασχαλίδης

Ισορροπία



Ταχύτητα Σχηματισμού = $K_{on} [A][B]$

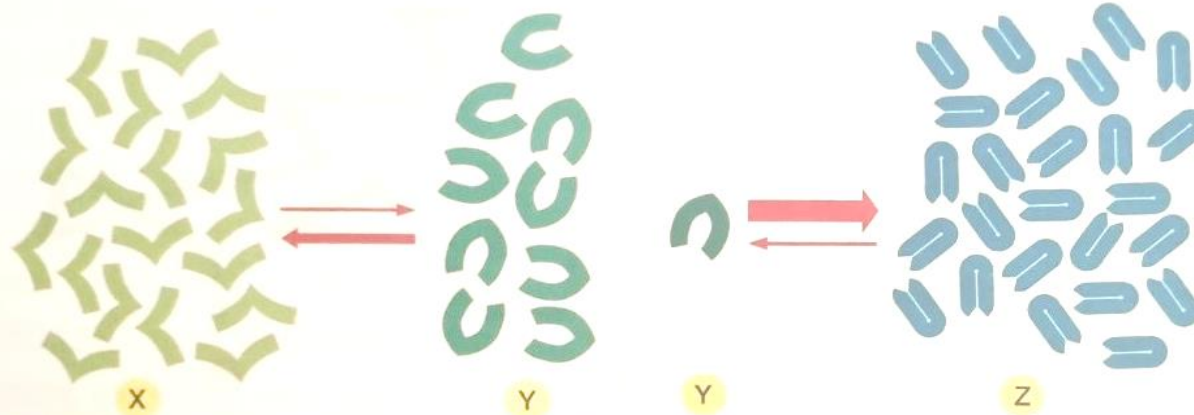


Ταχύτητα διάστασης = $K_{off} [AB]$

Στην ισορροπία: $K_{on} [A][B] = K_{off} [AB]$

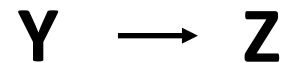
$$\frac{[AB]}{[A][B]} = \frac{K_{on}}{K_{off}} = K = \text{Σταθερά ισορροπίας}$$

Διαδοχικές Αντιδράσεις



Σημείο ισορροπίας για την αντίδραση $X \rightarrow Y$

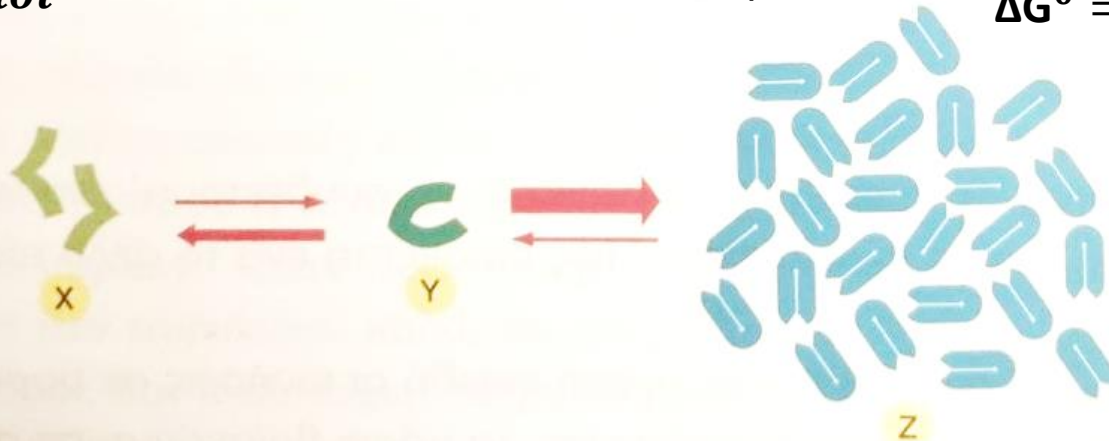
Σημείο ισορροπίας για την αντίδραση $Y \rightarrow Z$



$$\Delta G^0 = +5 \text{ kcal/mol}$$

$$\text{Συνολική } \Delta G^0 = -8 \text{ kcal/mol}$$

$$\Delta G^0 = -13 \text{ kcal/mol}$$



Σημείο ισορροπίας για τη συζευγμένη αντίδραση $X \rightarrow Y \rightarrow Z$



Ένζυμα
και
Υποστρώματα

Ένζυμα και Υποστρώματα

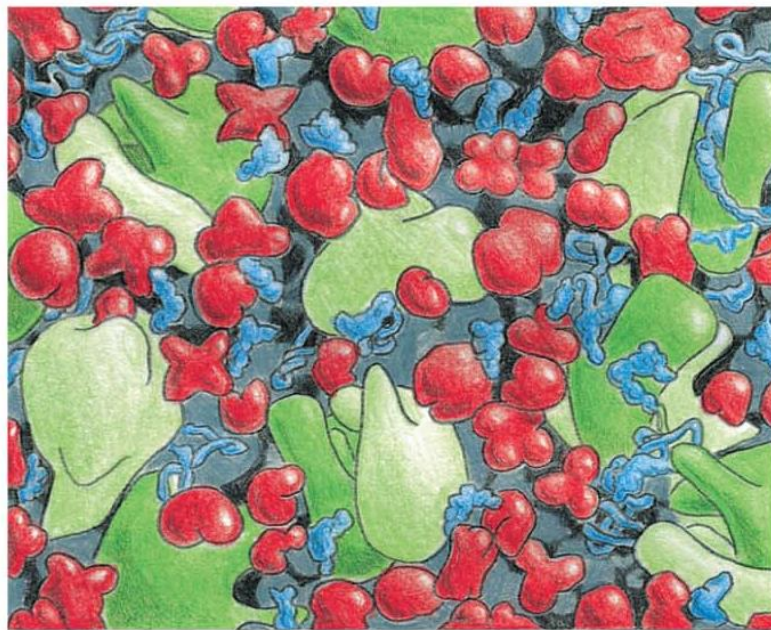
Ένα ένζυμο συλλαμβάνει και επεξεργάζεται περίπου χίλια μόρια υποστρώματος κάθε δευτερόλεπτο.

Η ταχεία σύνδεση επιτυγχάνεται λόγω της μεγάλης ταχύτητας των κινήσεων των μορίων.

Τα μόρια, επειδή συνεχώς κινούνται, εντοπίζουν στόχους στο εσωτερικό του κυττάρου. Η διαδικασία αυτή λέγεται διάχυση (diffusion).



Ένζυμα και Υποστρώματα



100 nm



Μόρια RNA



Ριβοσώματα



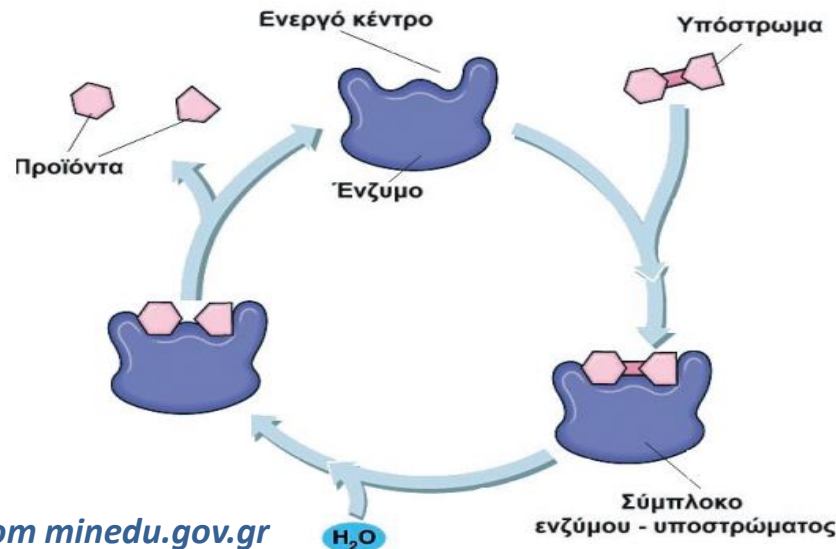
Πρωτεΐνες

Ένζυμα και Υποστρώματα

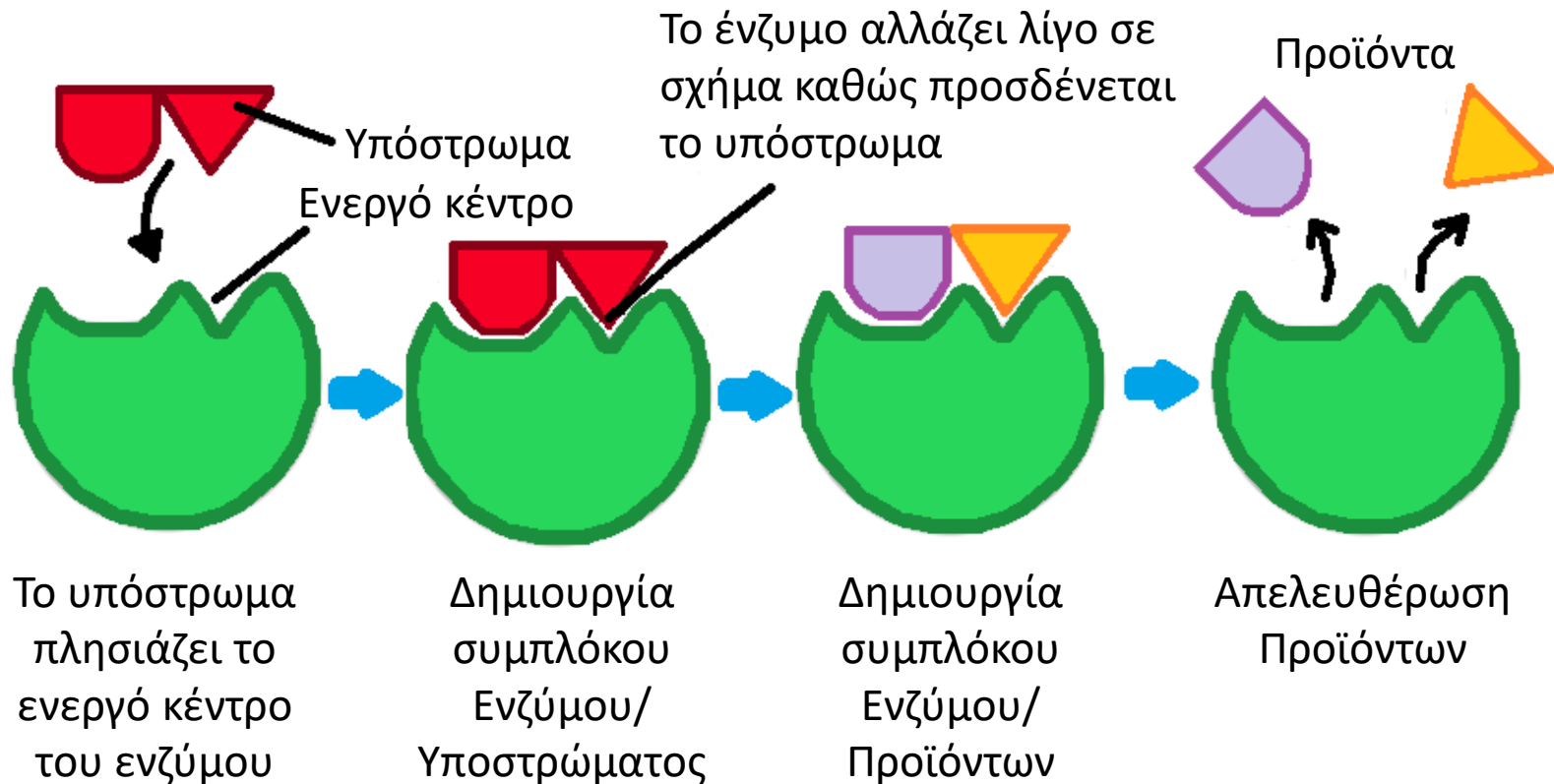
Οι πρωτεΐνες διαχέονται στο κυτταρόπλασμα πιο αργά από άλλα μικρά μόρια.

Τα ένζυμα συναντούν το υπόστρωμα, με ρυθμό που εξαρτάται από τη συγκέντρωση του υποστρώματος.

Η τυχαία συνάντηση ενζύμου-υποστρώματος μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία συμπλόκου.

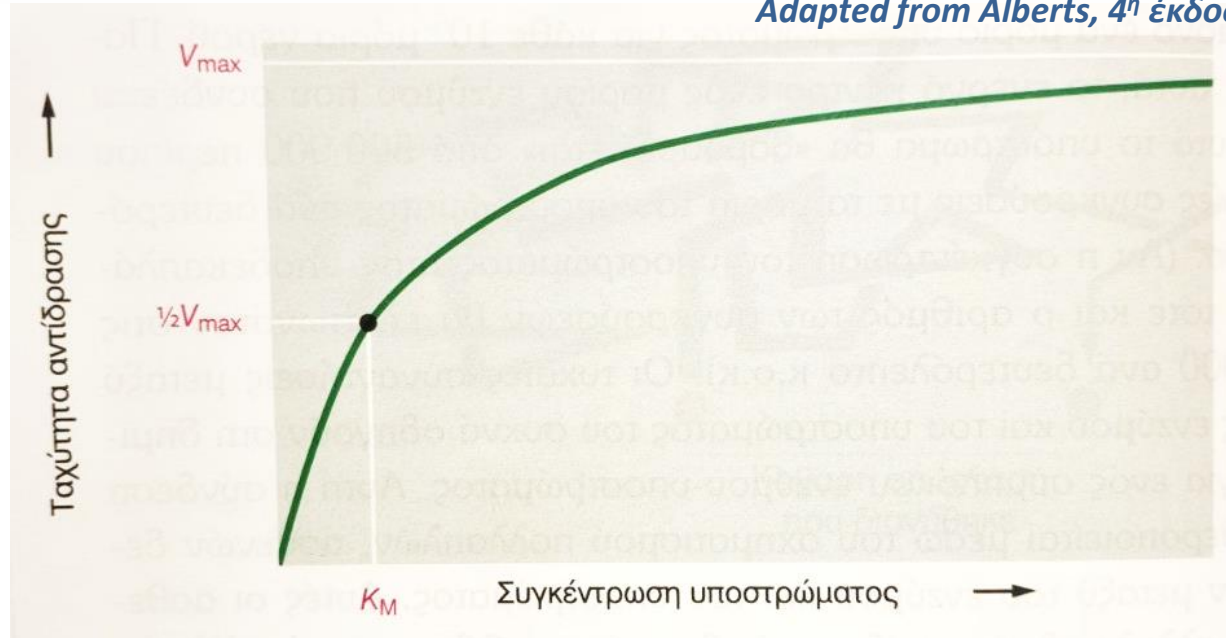


Ένζυμα και Υποστρώματα



Επίδοση Ενζύμων

Adapted from Alberts, 4^η έκδοση, Εκδ. Πασχαλίδης



Η ταχύτητα μιας ενζυμικής αντίδρασης (V) αυξάνει παράλληλα με την αύξηση της συγκέντρωσης του υποστρώματος μέχρι τη μέγιστη τιμή V_{max}

K_M : ορίζεται η συγκέντρωση του υποστρώματος στην οποία το ένζυμο λειτουργεί στο μισό της μέγιστης ταχύτητας του.

Μικρή τιμή K_M → ΙΣΧΥΡΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΝΖΥΜΟΥ/ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Μεγάλη τιμή K_M → ΑΣΘΕΝΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΝΖΥΜΟΥ/ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

K_M → Σταθερά Michaelis

Έλλειψη Ενζύμων και Ασθένειες

Έλλειψη Ενζύμων και Ασθένειες

Σχεδόν όλα τα νεαρά άτομα είναι ικανά να αφομοιώσουν τη λακτόζη.

Αντίθετα η πλειονότητα των ενήλικων ατόμων ορισμένων πληθυσμιακών ομάδων έχει **ανεπάρκεια του ενζύμου λακτάση** και επομένως παρουσιάζει δυσανεξία στο γάλα.

Προκαλείται έτσι συσσώρευση της λακτόζης στο έντερο με αποτέλεσμα κοιλιακή διόγκωση, ναυτία, πόνο και διάρροια.

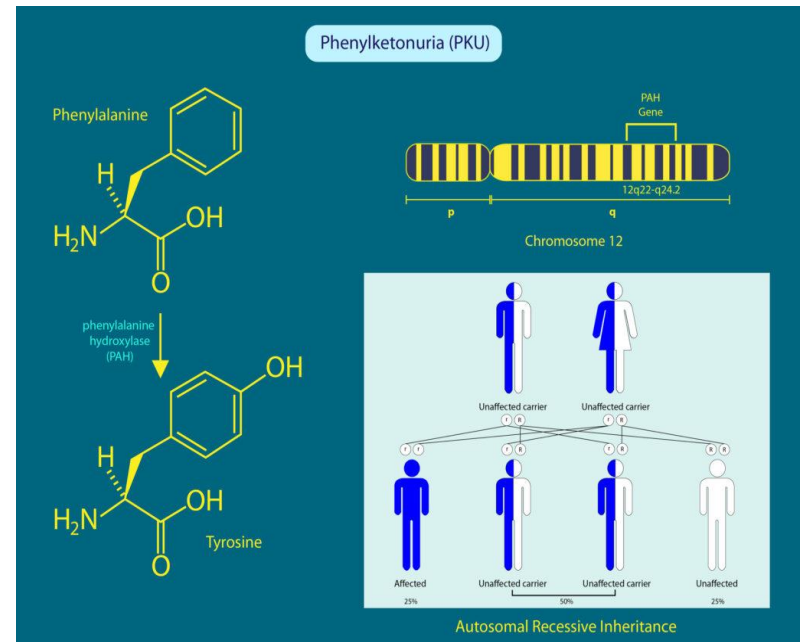


Έλλειψη Ενζύμων και Ασθένειες

Η **φαινυλκετονουρία** οφείλεται στην έλλειψη ενός ενζύμου που συμμετέχει στον καταβολισμό του αμινοξέος φαινυλαλανίνη.

Απουσία του ενζύμου που τη διασπά έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευσή της, γεγονός που προκαλεί βλάβες στο νευρικό σύστημα.

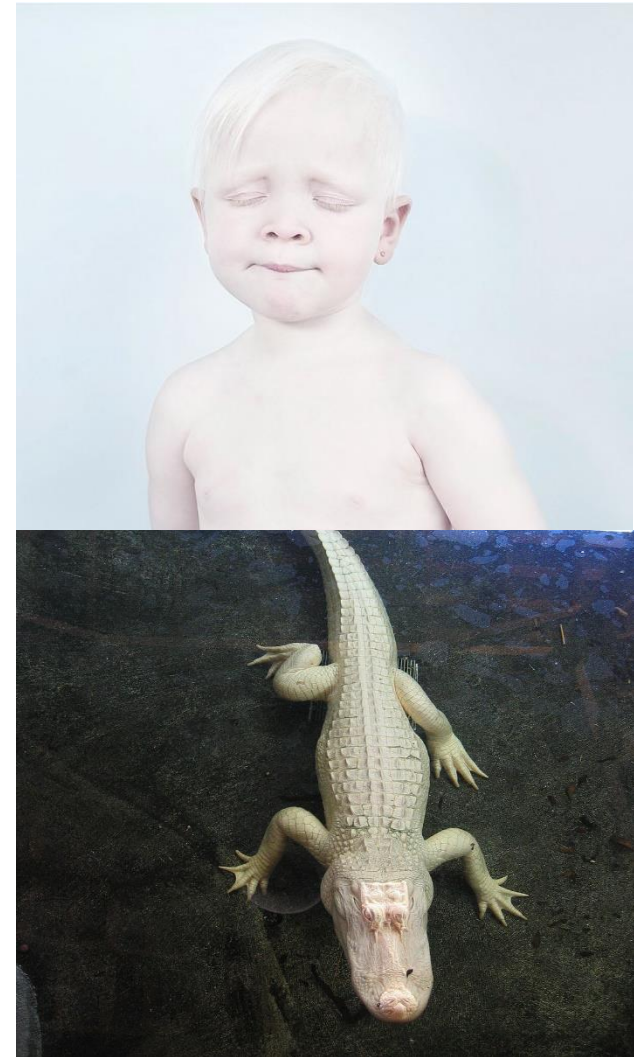
Τα άτομα που πάσχουν από φαινυλκετονουρία πρέπει να αποφεύγουν ορισμένες τροφές και αναψυκτικά που περιέχουν το γλυκαντικό ασπαρτάμη.



Έλλειψη Ενζύμων και Ασθένειες

Ο **αλφισμός** οφείλεται στην έλλειψη ενός ενζύμου που συμμετέχει στο σχηματισμό της χρωστικής του σώματος, των μαλλιών και των ματιών, της μελανίνης.

Τα άτομα που πάσχουν από αλφισμό έχουν άσπρο δέρμα και μαλλιά, καθώς και κόκκινα μάτια. Είναι δε ευαίσθητα στην υπεριώδη ακτινοβολία.



Έλλειψη Ενζύμων και Ασθένειες

Ο **κυαμισμός**, δηλητηρίαση που παθαίνουμε όταν τρώμε κυάμους (κουκιά), οφείλεται στην έλλειψη ενός ενζύμου.

Η έλλειψη αυτού του ενζύμου ή η ελαττωμένη δράση του στα ερυθρά αιμοσφαίρια προκαλεί βαριά αιμολυτική αναιμία, δηλαδή καταστροφή των ερυθρών αιμοσφαιρίων και απελευθέρωση της αιμοσφαιρίνης στον ορό του αίματος.

Ο κυαμισμός είναι συχνός στους μεσογειακούς λαούς και εμφανίζεται πιο συχνά στα αγόρια. Τα παραπάνω συμπτώματα μπορεί να παρατηρηθούν και σε άτομα που έχουν έλθει σε επαφή με ναφθαλίνη ή φάρμακα κατά της ελονοσίας ή σουλφαμίδες κ.ά.

ENZYMES

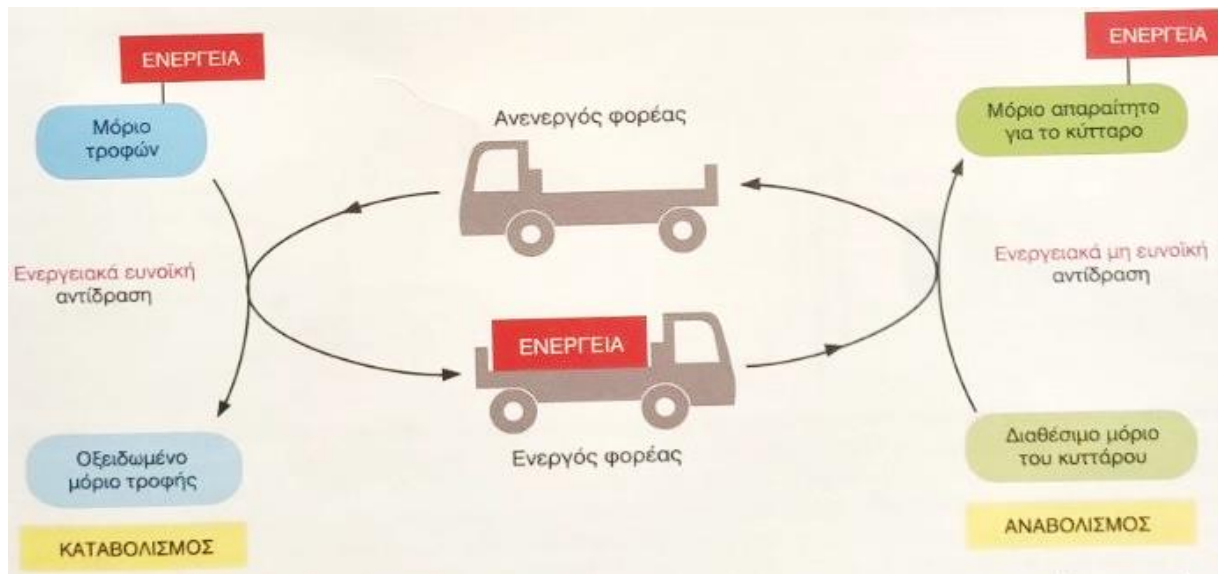
Ενεργοποιημένοι Φορείς / Βιοσύνθεση

Ενεργοποιημένοι Φορείς / Βιοσύνθεση

Μόρια-φορείς ➡ ενεργειακά νομίσματα

- Αποθήκευση ενέργειας σε μόρια φορείς
- Έχουν ομοιοπολικούς δεσμούς πλούσιους σε ενέργεια
- Διαχέονται στο κύτταρο και μεταφέρονται από τις θέσεις παραγωγής ενέργειας στις θέσεις κατανάλωσης

ΑΤΡ , NADH, NADPH



Διττό ρόλο:

- Πηγή ενέργειας
- Πηγή χημικών ομάδων

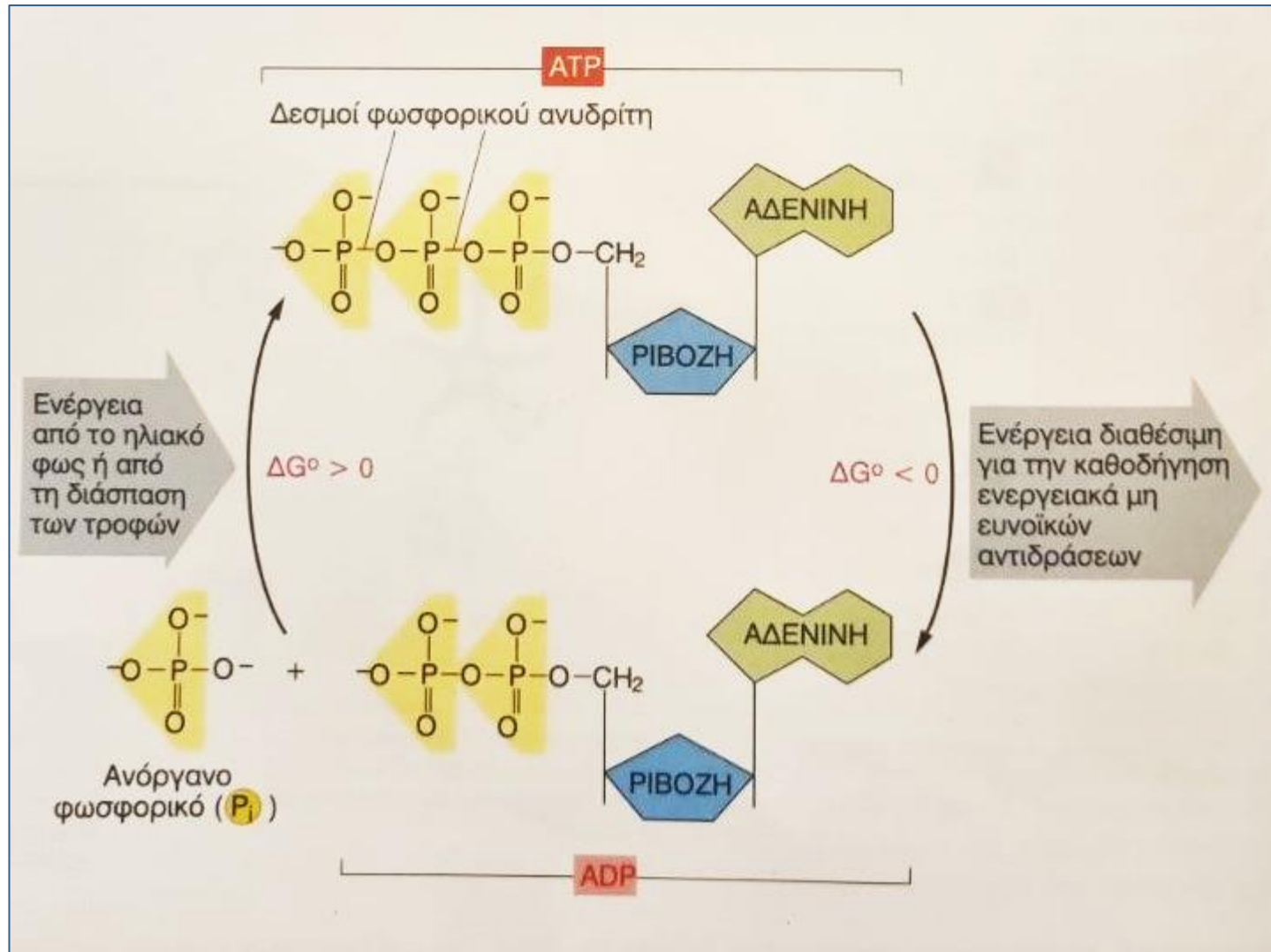
Ενεργοποιημένοι Φορείς / Βιοσύνθεση

ATP τριφωσφορική αδενοσίνη

NADH ανηγμένο νικοτιναμίδο-αδενινο-δινουκλεοτίδιο

NADPH ανηγμένο φωσφορικό νικοτιναμίδο-αδενινο-δινουκλεοτίδιο

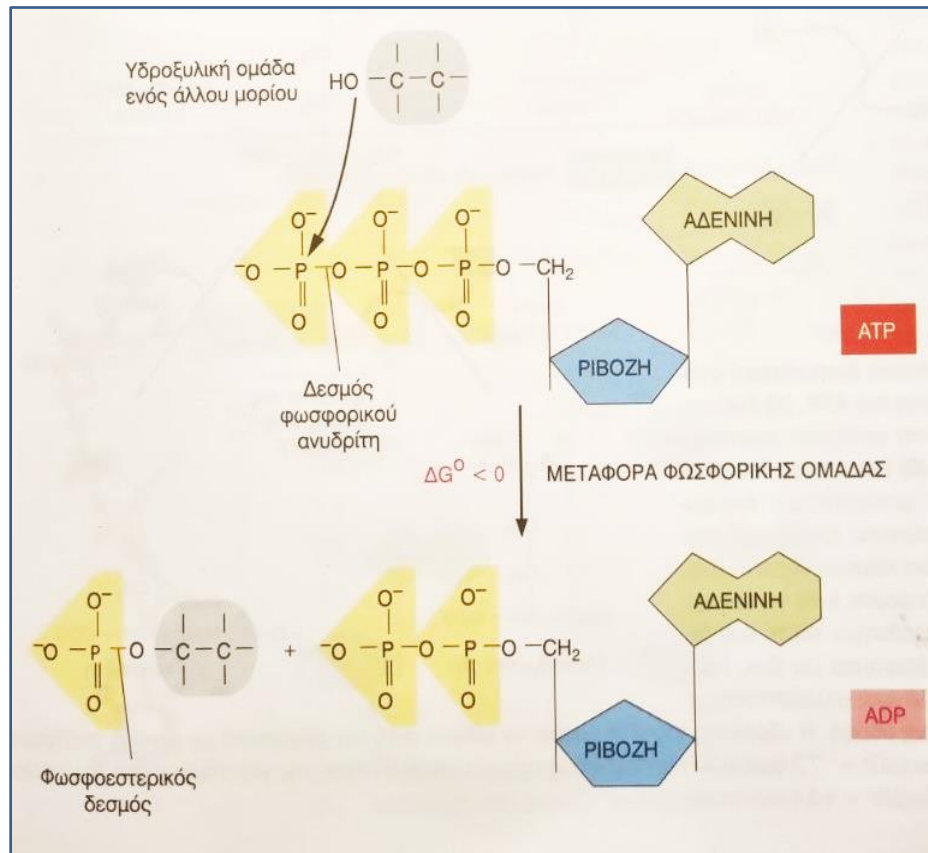
ATP: ο πιο διαδεδομένος ενεργοποιημένος φορέας



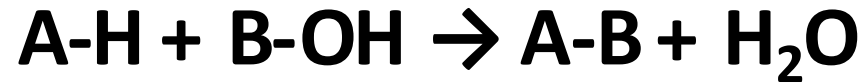
Adapted from Alberts, 4^η έκδοση, Εκδ. Πασχαλίδης

Φωσφορυλίωση

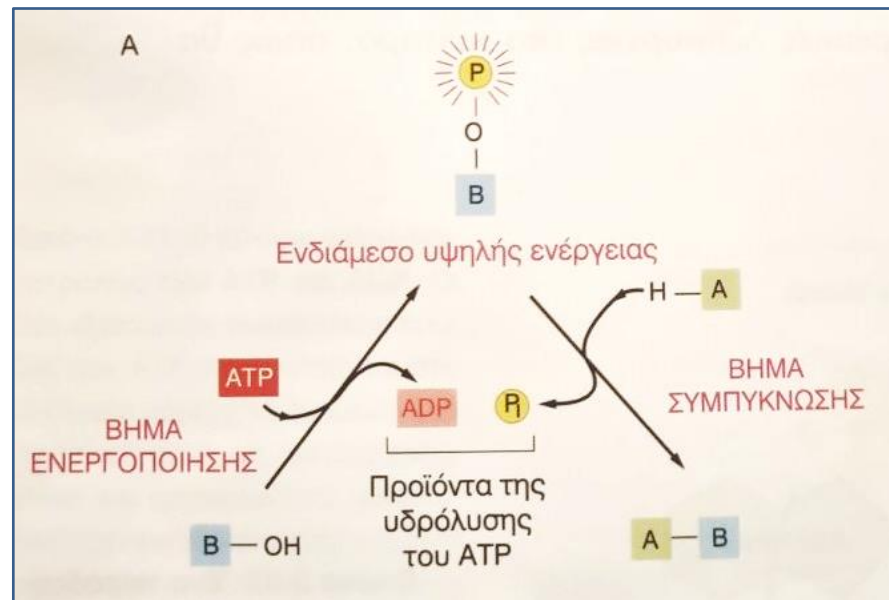
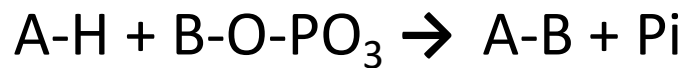
Κάθε αντίδραση που περιλαμβάνει μεταφορά μιας φωσφορικής ομάδας σε ένα μόριο λέγεται φωσφορυλίωση.



Αξιοποίηση ενέργειας ATP για σύνδεση μορίων

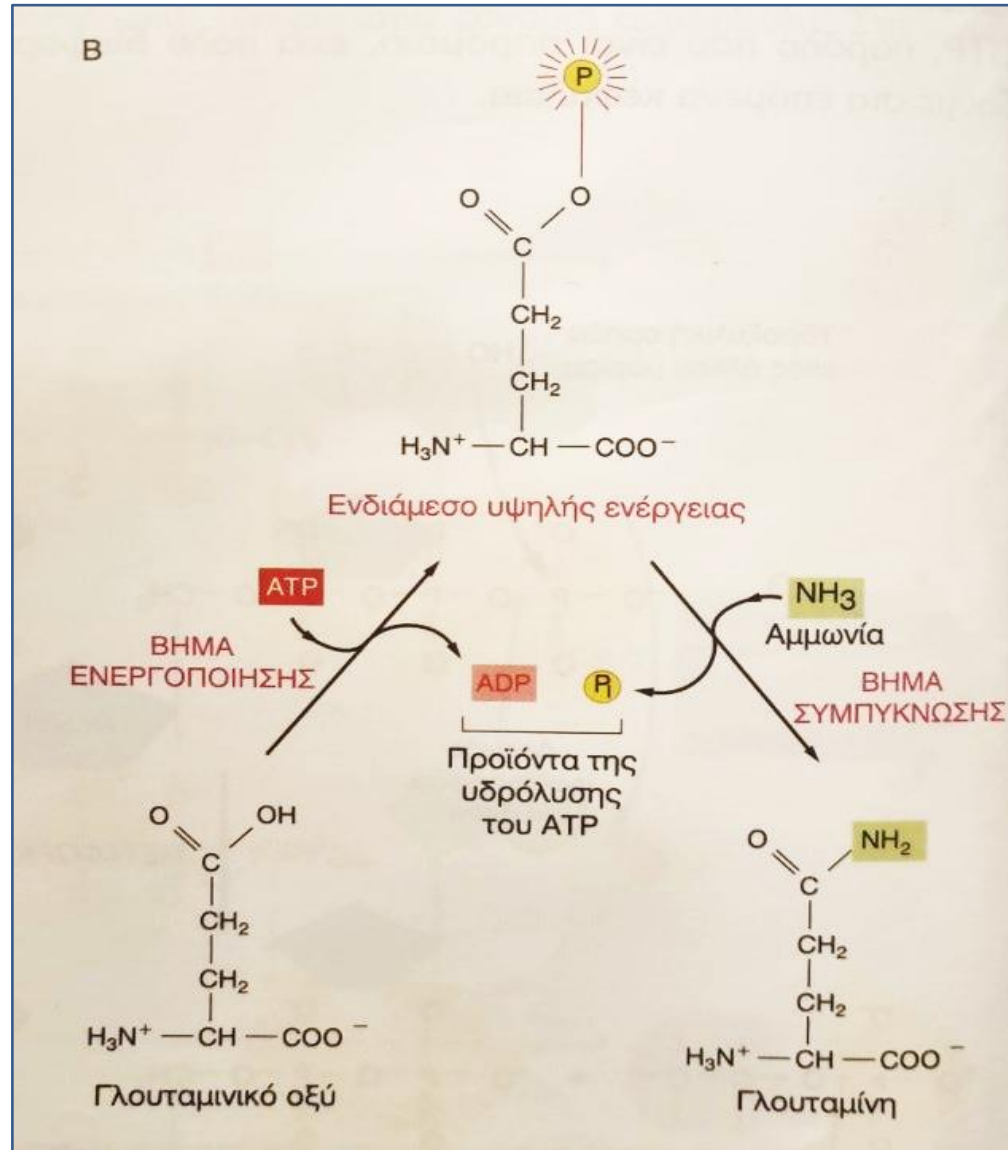


Έμμεσα



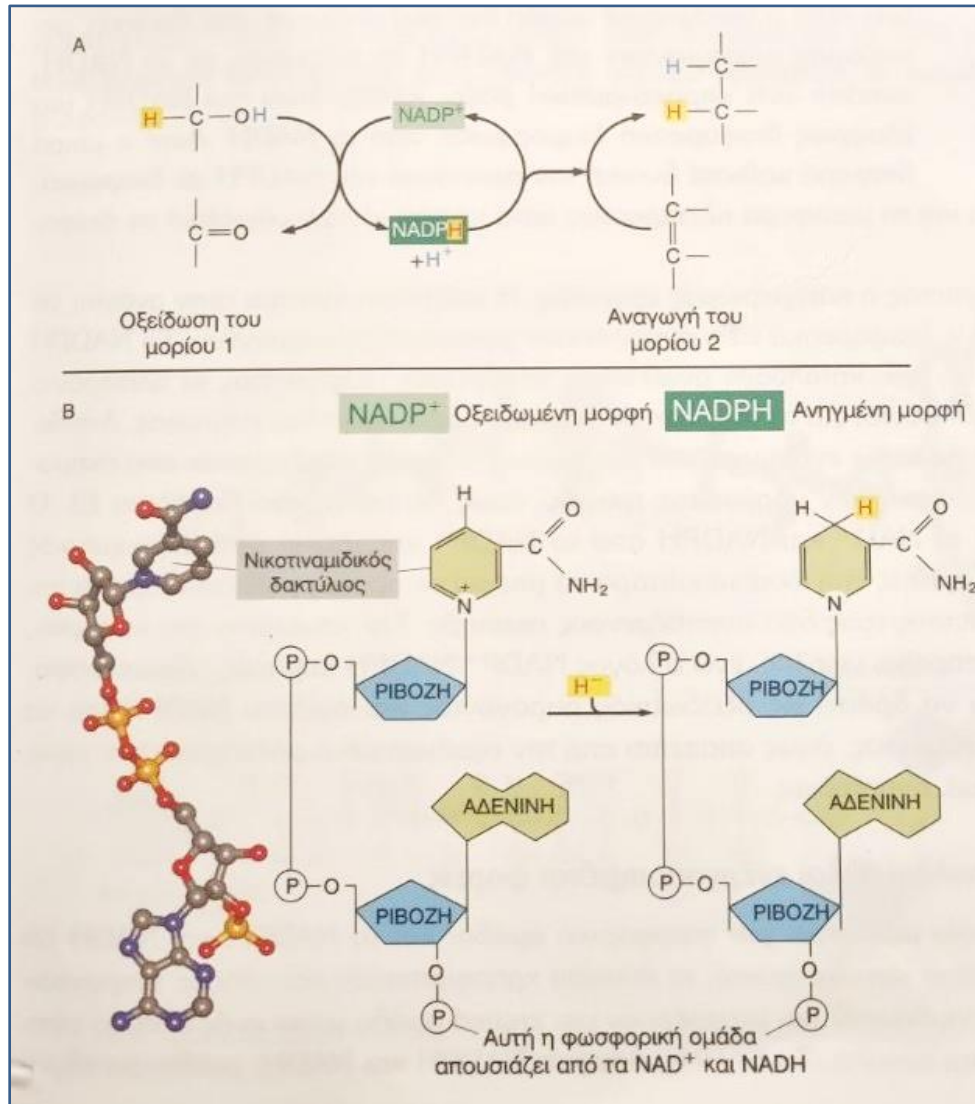
Adapted from Alberts, 4^η έκδοση, Εκδ. Πασχαλίδης

Σύνθεση γλουταμίνης



*Adapted from Alberts,
4^η έκδοση, Εκδ.
Πασχαλίδης*

NADH και NADPH, σημαντικοί φορείς ηλεκτρονίων



Φορείς ηλεκτρονίων

NADH ανηγμένο νικοτιναμίδο-αδενινο-δινουκλεοτίδιο

NADPH ανηγμένο φωσφορικό νικοτιναμίδο-αδενινο-δινουκλεοτίδιο

μεταφορά
ενέργειας

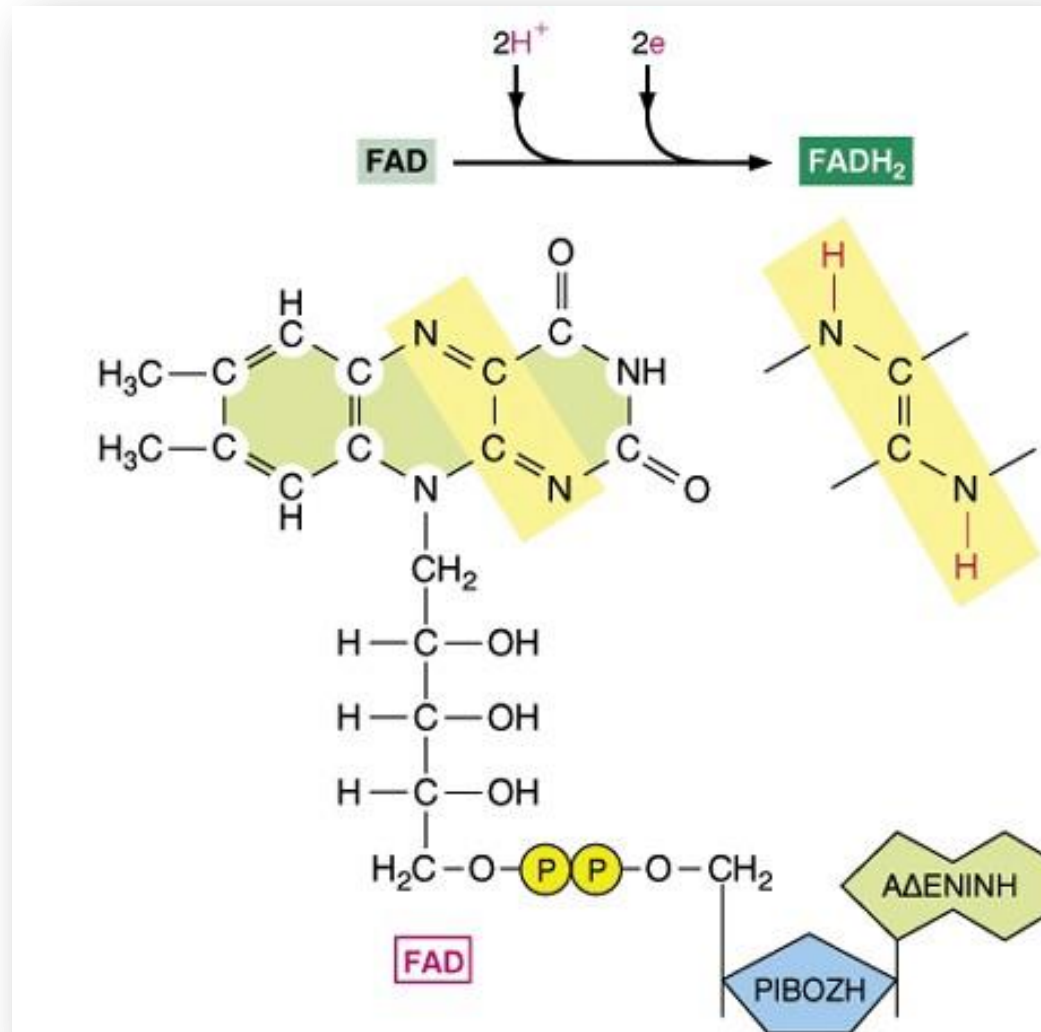


NAD⁺ οξειδωμένο νικοτιναμίδο-αδενινο-δινουκλεοτίδιο

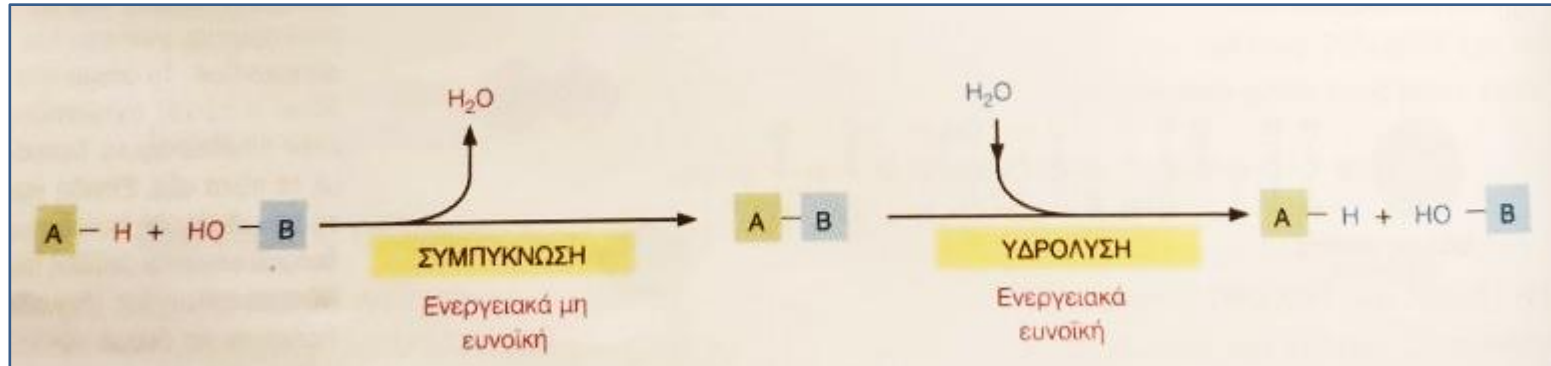
NADP⁺ οξειδωμένο φωσφορικό-νικοτιναμίδο-αδενινο-δινουκλεοτίδιο

FADH₂: ενεργοποιημένος φορέας

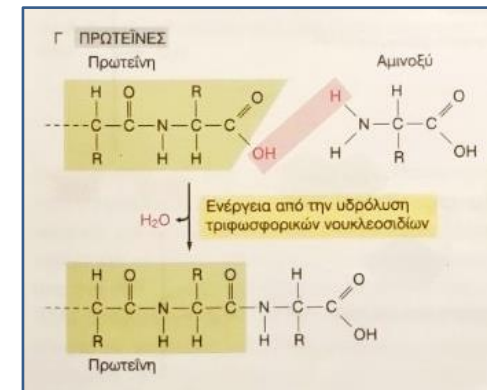
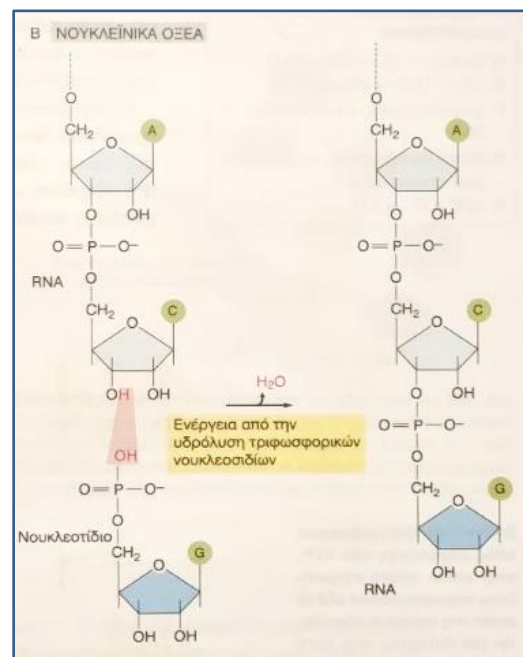
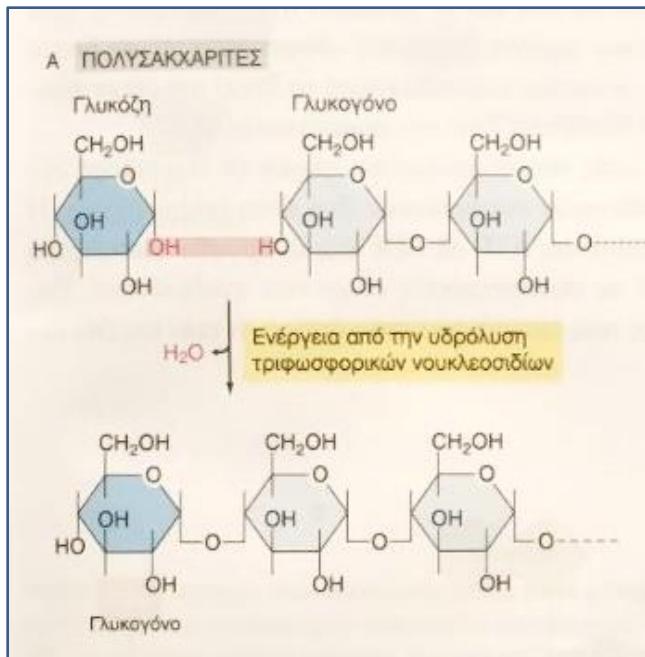
FADH₂ (Φλαβινο-αδενινο-δινουκλεοτίδιο), Φορέας ηλεκτρονίων



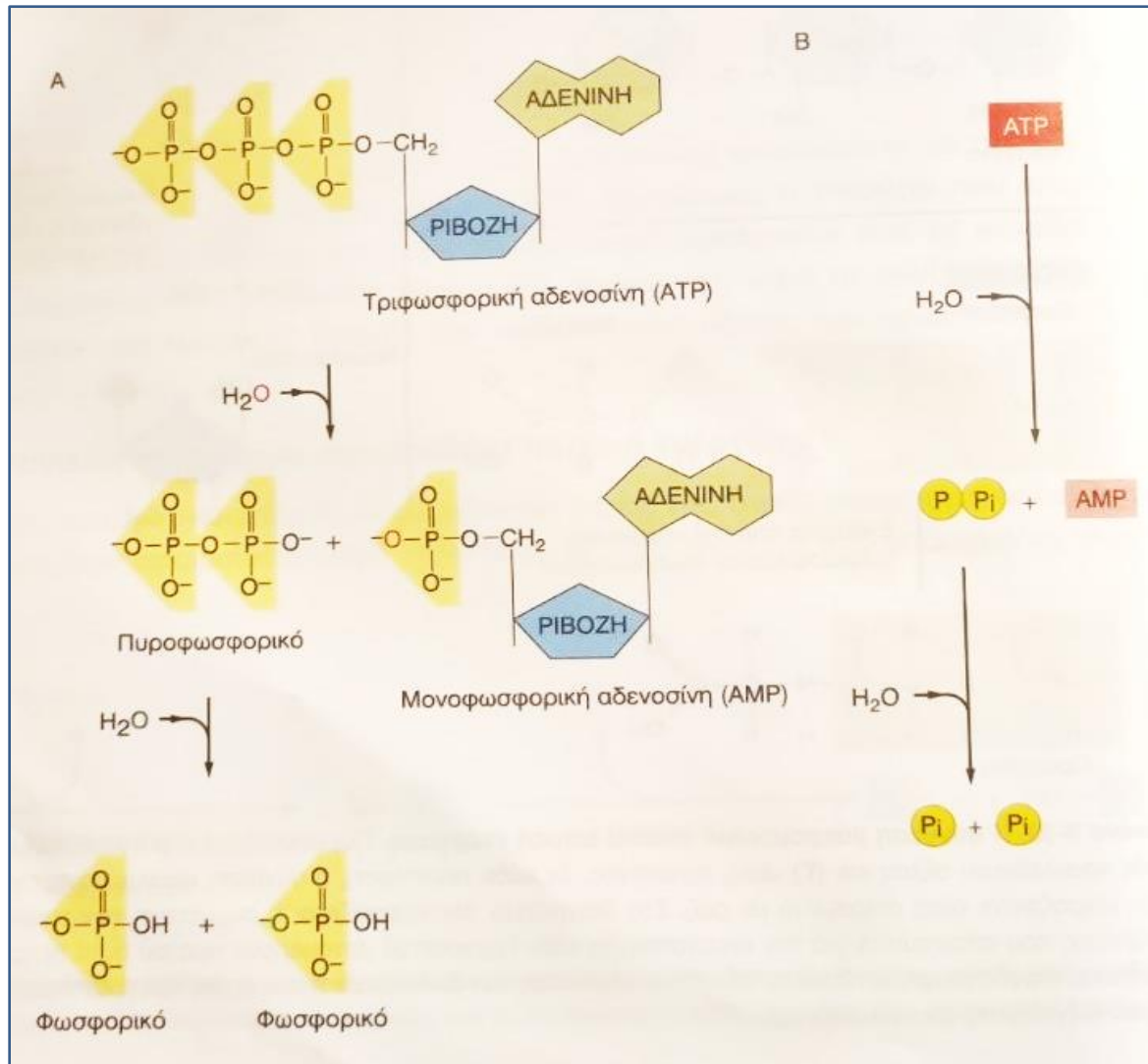
Υδρόλυση και Συμπύκνωση



Adapted from Alberts, 4^η έκδοση, Εκδ. Πασχαλίδης



Υδρόλυση και Συμπύκνωση



Το ATP μπορεί να υδρολυθεί είτε προς ADP και φωσφορική ομάδα (HPO_4^{2-}) είτε προς AMP και πυροφωσφορικό οξύ.

Το πυροφωσφορικό οξύ υδρολύεται άμεσα, απελευθερώνοντας πρόσθετη ελεύθερη ενέργεια.

Για Μελέτη

Alberts: Κεφ. 3

e-class: Διαφάνειες στο MED 1952

Στοιχεία Επικοινωνίας

Νεφέλη Λαγοπάτη

E-mail: nlagopati@med.uoa.gr

Tel: 210-7462362

Ευχαριστώ για την
προσοχή σας!