

Εισαγωγή
στον Μεταβολισμό
I

Σύνοψη: Εισαγωγή στον Μεταβολισμό I

Καταβολισμός, Αναβολισμός: Πρόσληψη, χρήση, μετασχηματισμοί ενέργειας

Σχεδιασμός του μεταβολισμού

Σύζευξη αντιδράσεων - Νόμισμα ενέργειας

Δομή ADP, ATP - Δεσμός υψηλής ενέργειας

ATP ως παράγοντας σύζευξης

Δυναμικό μεταφοράς φωσφορικής ομάδας

Φωσφορική κρεατίνη

Φωσφορυλίωση στο επίπεδο υποστρώματος

ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ είναι

ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ είναι

Το σύνολο των χημικών αντιδράσεων που επιτελούνται σε έναν οργανισμό για να εξυπηρετήσουν την **πρόσληψη ενέργειας** από το περιβάλλον και την **χρήση** της για τις λειτουργικές του ανάγκες.

ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ είναι

Το σύνολο των χημικών αντιδράσεων που επιτελούνται σε έναν οργανισμό για να εξυπηρετήσουν την **πρόσληψη ενέργειας** από το περιβάλλον και την **χρήση** της για τις λειτουργικές του ανάγκες.

Πρόσληψη

Φωτότροφοι (ηλιακή ενέργεια) -Αυτότροφοι

Χημειότροφοι (**οξειδωση** χημικών ενώσεων) -

Ετερότροφοι

ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ είναι

Το σύνολο των χημικών αντιδράσεων που επιτελούνται σε έναν οργανισμό για να εξυπηρετήσουν την **πρόσληψη ενέργειας** από το περιβάλλον και την **χρήση** της για τις λειτουργικές του ανάγκες.

Πρόσληψη

Φωτότροφοι (ηλιακή ενέργεια) -Αυτότροφοι

Χημειότροφοι (**οξειδωση** χημικών ενώσεων) -

Ετερότροφοι

Χρήση

Βιοσυνθέσεις

Μηχανικό έργο

Ενεργός μεταφορά ιόντων

ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ είναι

Το σύνολο των χημικών αντιδράσεων που επιτελούνται σε έναν οργανισμό για να εξυπηρετήσουν την **πρόσληψη ενέργειας** από το περιβάλλον και την **χρήση** της για τις λειτουργικές του ανάγκες.

Πρόσληψη

Φωτότροφοι (ηλιακή ενέργεια) - Αυτότροφοι

Χημειότροφοι (**οξείδωση** χημικών ενώσεων) -

Ετερότροφοι

Χρήση

Βιοσυνθέσεις

Μηχανικό έργο

Ενεργός μεταφορά ιόντων

Μετασχηματισμοί ενέργειας

Οξείδωση



Χημική Ενέργεια → Μηχανική ενέργεια



Βαθμίδωση συγκέντρωσης ιόντων



Μετακίνηση μορίων, νευρική ώση

ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ είναι

Το σύνολο των χημικών αντιδράσεων που επιτελούνται σε έναν οργανισμό για να εξυπηρετήσουν την **πρόσληψη ενέργειας** από το περιβάλλον και την **χρήση** της για τις λειτουργικές του ανάγκες.

Πρόσληψη

Φωτότροφοι (ηλιακή ενέργεια) -Αυτότροφοι

Χημειότροφοι (οξείδωση χημικών ενώσεων) -

Ετερότροφοι

Χρήση

Βιοσυνθέσεις

Μηχανικό έργο

Ενεργός μεταφορά ιόντων

Μετασχηματισμοί ενέργειας

Οξείδωση



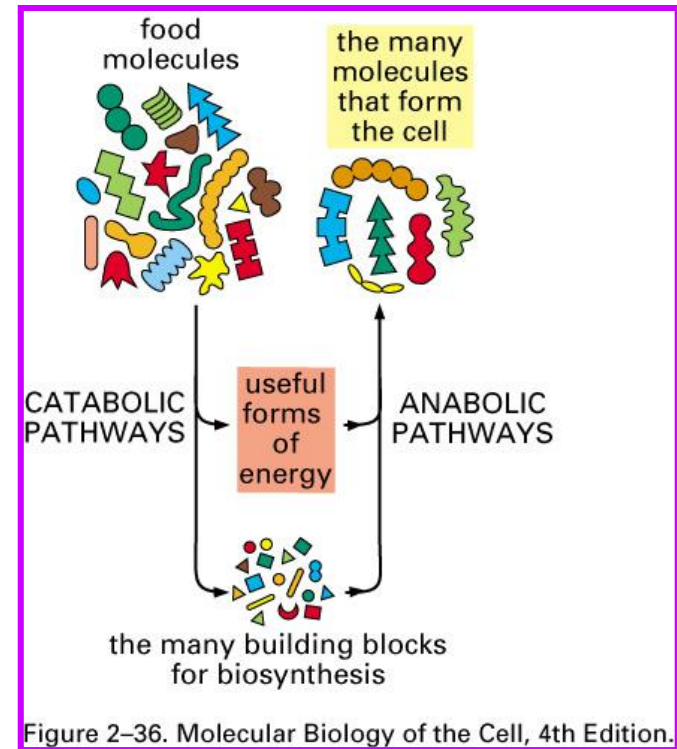
Χημική Ενέργεια → Μηχανική ενέργεια



Βαθμίδωση συγκέντρωσης ιόντων



Μετακίνηση μορίων, νευρική ώση



Καταβολικές/αναβολικές αντιδράσεις

Καταβολισμός

Ο τρόπος που το κύτταρο αντλεί ενέργεια και αναγωγική ισχύ από το περιβάλλον

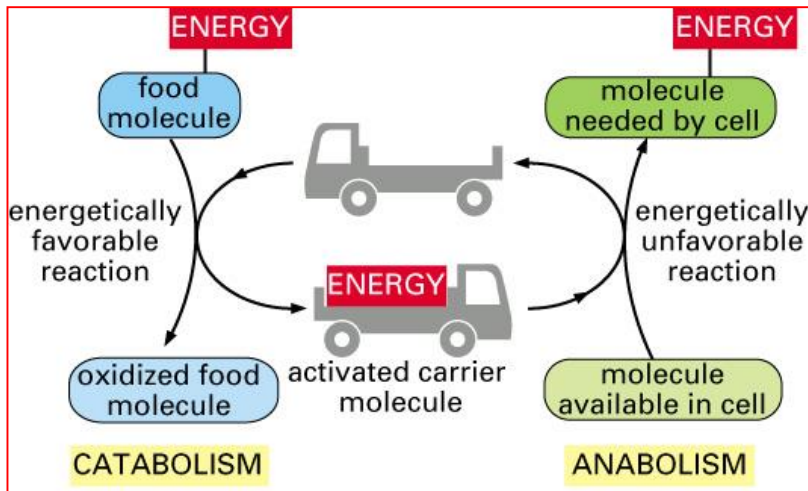
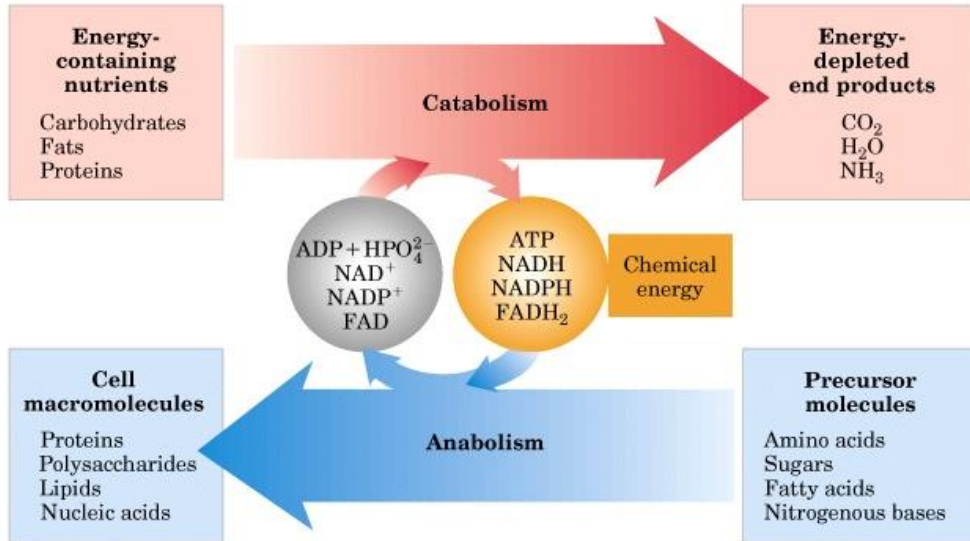


Figure 2-55. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

Αναβολισμός

Ο τρόπος που το κύτταρο συνθέτει τις δομικές μονάδες των μακρομορίων του και τα ίδια τα μακρομόρια



Καταβολισμός

Ο τρόπος που το κύτταρο αντλεί ενέργεια και αναγωγική ισχύ από το περιβάλλον

Οι αντιδράσεις που μετασχηματίζουν καύσιμα σε χημική ενέργεια

Καύσιμα (υδατάνθρακες, λίπη) → CO₂ + H₂O + Ενέργεια

Αναβολισμός

Ο τρόπος που το κύτταρο συνθέτει τις δομικές μονάδες των μακρομορίων του και τα ίδια τα μακρομόρια

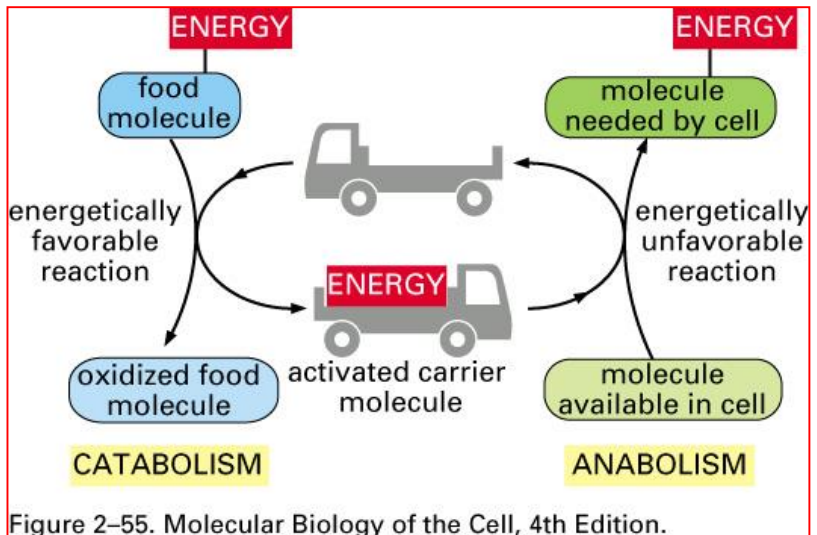
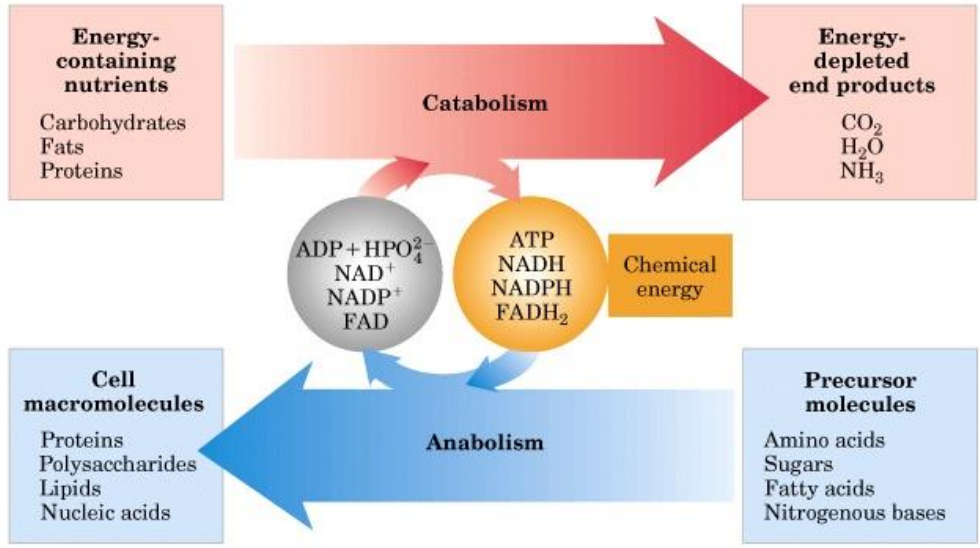


Figure 2-55. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.



Καταβολισμός

Ο τρόπος που το κύτταρο αντλεί ενέργεια και αναγωγική ισχύ από το περιβάλλον

Οι αντιδράσεις που μετασχηματίζουν καύσιμα σε χημική ενέργεια

Καύσιμα (υδατάνθρακες, λίπη) → CO₂ + H₂O + Ενέργεια

Αναβολισμός

Ο τρόπος που το κύτταρο συνθέτει τις δομικές μονάδες των μακρομορίων του και τα ίδια τα μακρομόρια

Οι αντιδράσεις που χρειάζονται ενέργεια (σύνθεση γλυκόζης, λιπών, DNA)

Ενέργεια + Μικρά μόρια → Πολύπλοκα μόρια

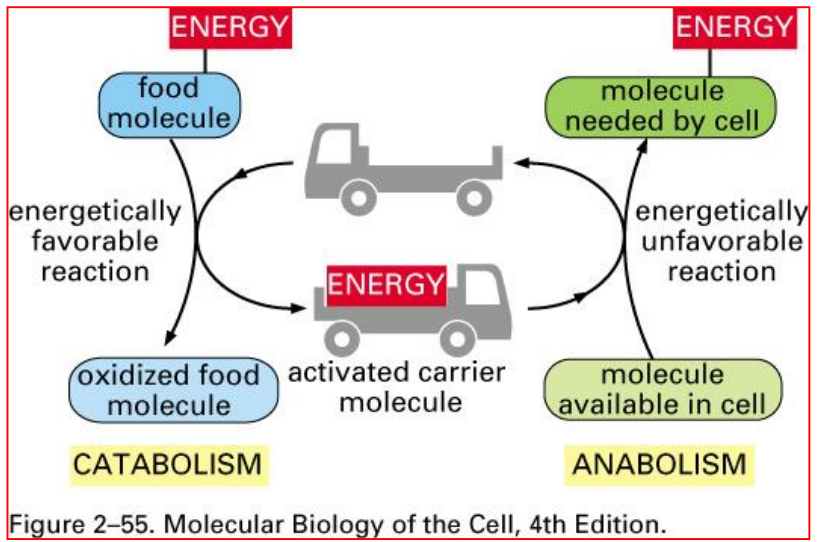
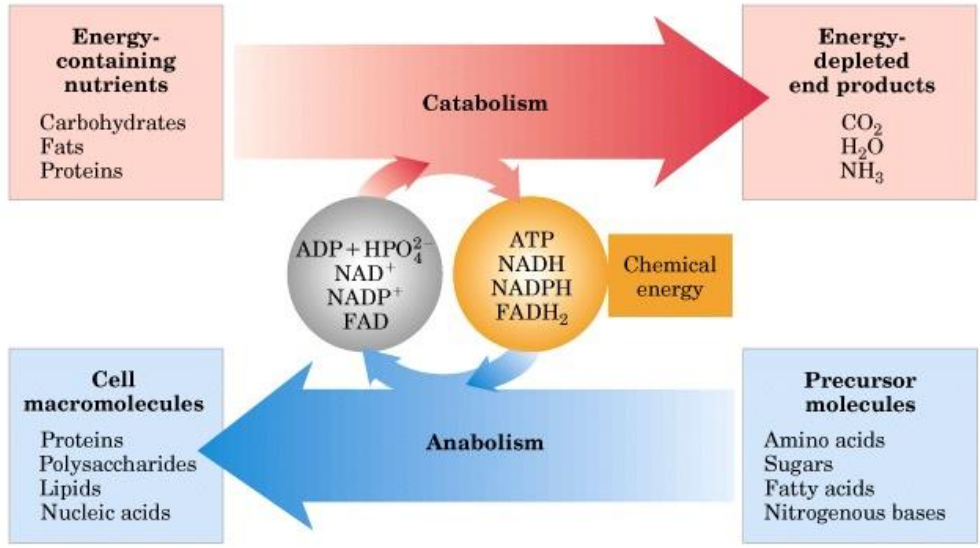
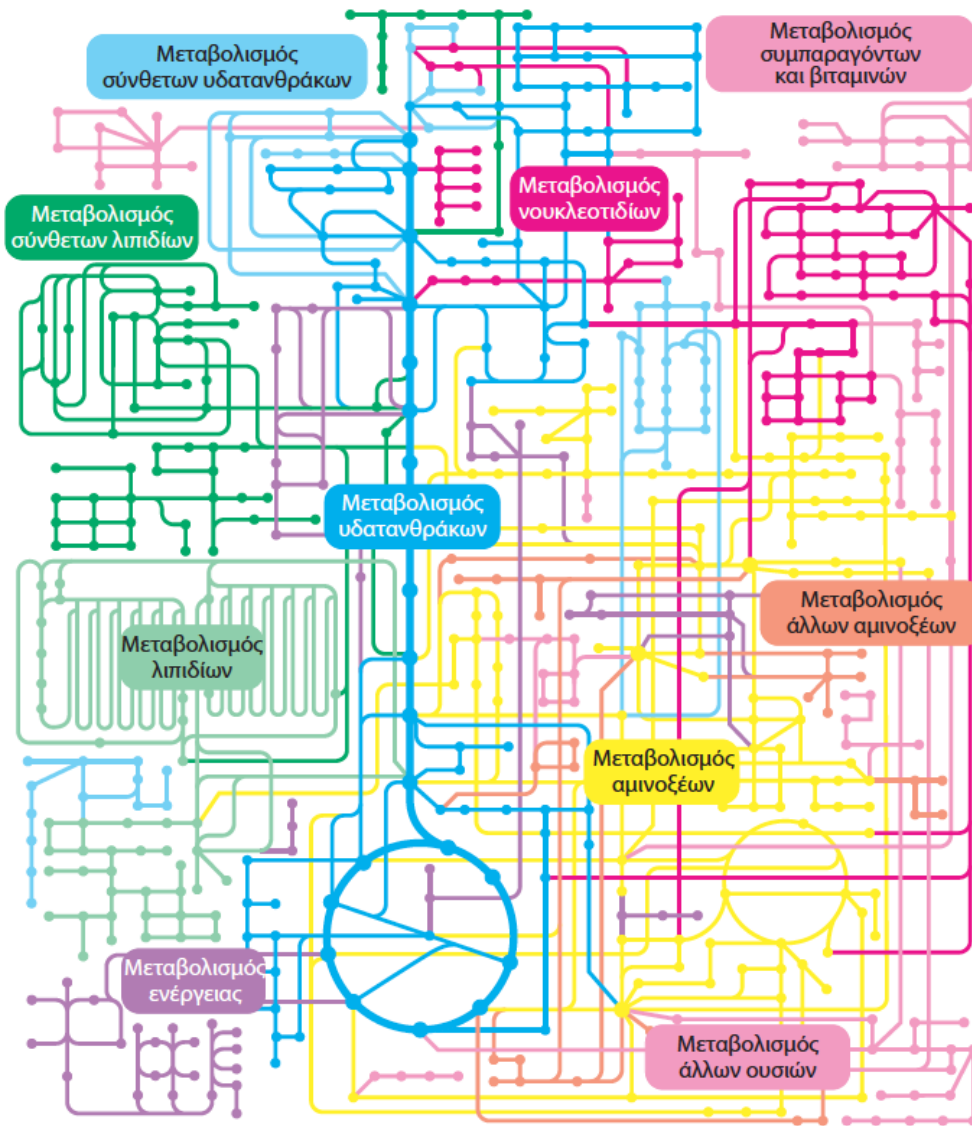


Figure 2-55. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.



Μεταβολικές πορείες-οδοί

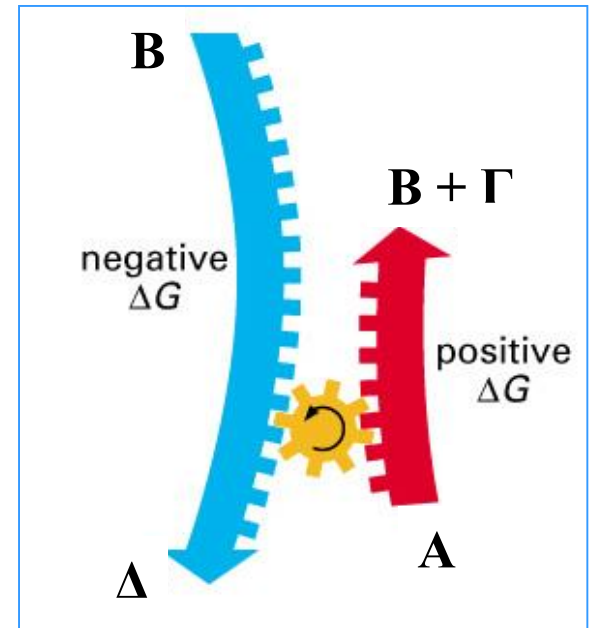


Πολλές συζευγμένες, αλληλοσυνδεόμενες αντιδράσεις!

- Λογικός σχεδιασμός (σύζευξη)
- Κοινά μοτίβα
- ✓ Νόμισμα ενέργειας
- ✓ Επαναλαμβανομένη εμφάνιση λίγων σχετικά (100) ενεργοποιημένων ενδιάμεσων
- ✓ Μικρός αριθμός ειδών αντιδράσεων
- ✓ Απλοί μηχανισμοί
- ✓ Κοινή ρύθμιση

Σύζευξη αντιδράσεων

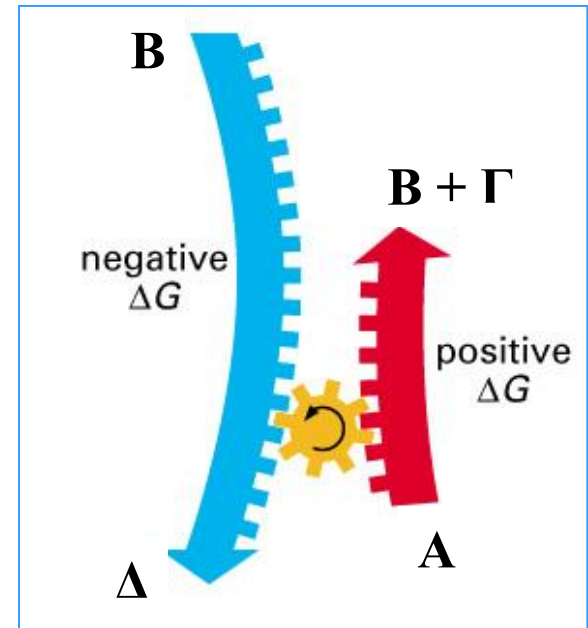
Μια μεταβολική πορεία για να είναι εφικτή πρέπει να ευνοείται θερμοδυναμικά
(ΔG : Μεταβολή ελεύθερης ενέργειας < 0)
ακόμη και αν περιέχει θερμοδυναμικά μη ευνοούμενες αντιδράσεις



Σύζευξη αντιδράσεων

Μια μεταβολική πορεία για να είναι εφικτή πρέπει να ευνοείται θερμοδυναμικά (ΔG : Μεταβολή ελεύθερης ενέργειας < 0)
ακόμη και αν περιέχει θερμοδυναμικά μη ευνοούμενες αντιδράσεις

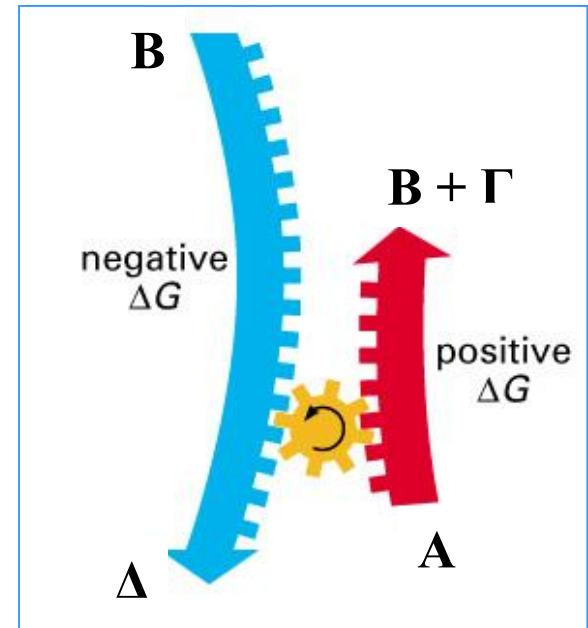
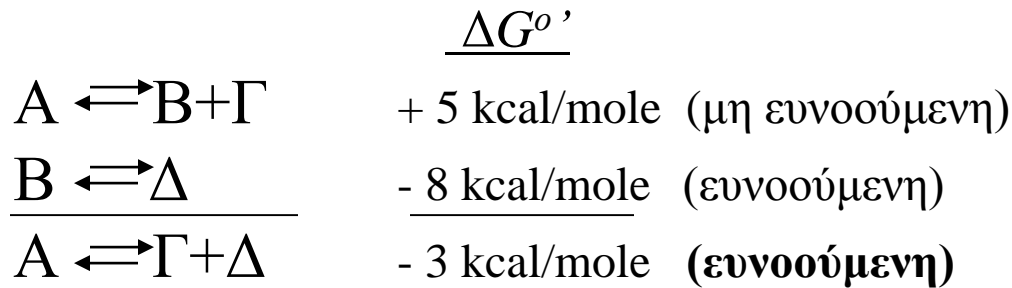
Η λειτουργία των μεταβολικών οδών εξασφαλίζεται μέσω της **σύζευξης** αντιδράσεων γιατί ολική ΔG για μια σειρά συζευγμένων χημικών αντιδράσεων ισούται με το άθροισμα των επιμέρους ΔG



Σύζευξη αντιδράσεων

Μια μεταβολική πορεία για να είναι εφικτή πρέπει να ευνοείται θερμοδυναμικά (ΔG : Μεταβολή ελεύθερης ενέργειας < 0) ακόμη και αν περιέχει θερμοδυναμικά μη ευνοούμενες αντιδράσεις

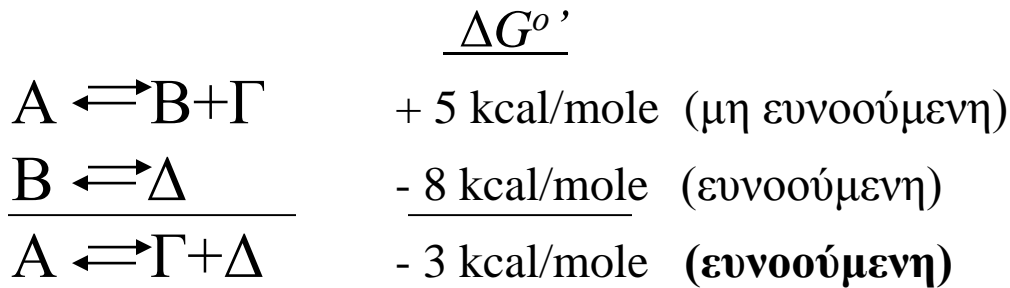
Η λειτουργία των μεταβολικών οδών εξασφαλίζεται μεσω της **σύζευξης** αντιδράσεων γιατί ολική ΔG για μια σειρά συζευγμένων χημικών αντιδράσεων ισούται με το άθροισμα των επιμέρους ΔG



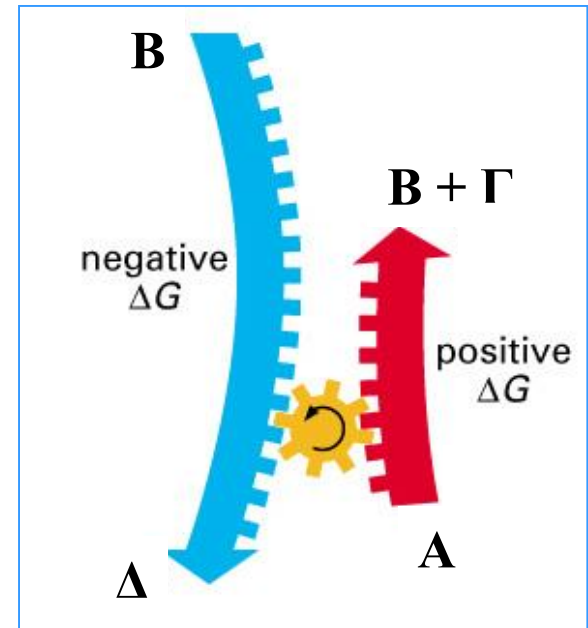
Σύζευξη αντιδράσεων

Μια μεταβολική πορεία για να είναι εφικτή πρέπει να ευνοείται θερμοδυναμικά (ΔG : Μεταβολή ελεύθερης ενέργειας < 0) ακόμη και αν περιέχει θερμοδυναμικά μη ευνοούμενες αντιδράσεις

Η λειτουργία των μεταβολικών οδών εξασφαλίζεται μέσω της **σύζευξης** αντιδράσεων γιατί ολική ΔG για μια σειρά συζευγμένων χημικών αντιδράσεων ισούται με το άθροισμα των επιμέρους ΔG



Μια αντίδραση θερμοδυναμικά ευνοούμενη (εξεργονική) μπορεί να ωθήσει μια μετατροπή θερμοδυναμικά μη ευνοούμενη (ενδεργονική) με την οποία είναι **σύζευγμένη (στρατηγική του κοινού ενδιαμέσου)**



Οι αναβολικές πορείες εξασφαλίζουν την ενέργεια που χρειάζονται από την υδρόλυση του **ATP**

Οι αναβολικές πορείες εξασφαλίζουν την ενέργεια που χρειάζονται από την υδρόλυση του **ATP**

Μια σειρά μη ευνοούμενων θερμοδυναμικά αντιδράσεων μπορούν να μετατραπούν σε ευνοούμενες με τη σύζευξη τους με την υδρόλυση ικανού αριθμού μορίων ATP

Οι αναβολικές πορείες εξασφαλίζουν την ενέργεια που χρειάζονται από την υδρόλυση του **ATP**

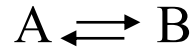
Μια σειρά μη ευνοούμενων θερμοδυναμικά αντιδράσεων μπορούν να μετατραπούν σε ευνοούμενες με τη σύζευξη τους με την υδρόλυση ικανού αριθμού μορίων ATP

Το **ATP είναι παράγοντας ενεργειακής σύζευξης**

Οι αναβολικές πορείες εξασφαλίζουν την ενέργεια που χρειάζονται από την υδρόλυση του **ATP**

Μια σειρά μη ευνοούμενων θερμοδυναμικά αντιδράσεων μπορούν να μετατραπούν σε ευνοούμενες με τη σύζευξη τους με την υδρόλυση ικανού αριθμού μορίων ATP

Το **ATP είναι παράγοντας ενεργειακής σύζευξης**



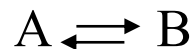
$$\Delta G^{\circ'} = +4 \text{ kcal/mole}$$

$$[B] / [A] = 1/1150$$

Οι αναβολικές πορείες εξασφαλίζουν την ενέργεια που χρειάζονται από την υδρόλυση του **ATP**

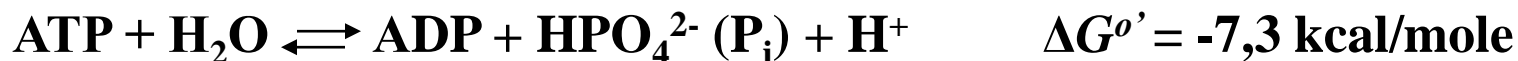
Μια σειρά μη ευνοούμενων θερμοδυναμικά αντιδράσεων μπορούν να μετατραπούν σε ευνοούμενες με τη σύζευξη τους με την υδρόλυση ικανού αριθμού μορίων ATP

Το **ATP είναι παράγοντας ενεργειακής σύζευξης**



$$\Delta G^{\circ'} = +4 \text{ kcal/mole}$$

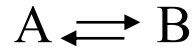
$$[B] / [A] = 1/1150$$



Οι αναβολικές πορείες εξασφαλίζουν την ενέργεια που χρειάζονται από την υδρόλυση του **ATP**

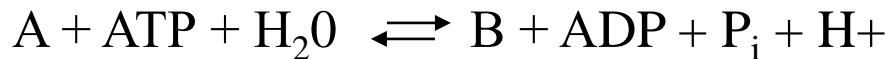
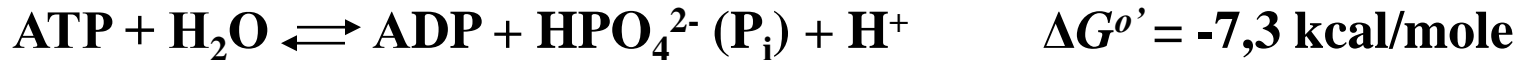
Μια σειρά μη ευνοούμενων θερμοδυναμικά αντιδράσεων μπορούν να μετατραπούν σε ευνοούμενες με τη σύζευξη τους με την υδρόλυση ικανού αριθμού μορίων ATP

Το **ATP είναι παράγοντας ενεργειακής σύζευξης**



$$\Delta G^{\circ'} = +4 \text{ kcal/mole}$$

$$[B] / [A] = 1/1150$$



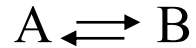
$$\Delta G^{\circ'} = -3,3 \text{ kcal/mole}$$

$$\text{Αν } [ATP] / [ADP] [P_i] = 500 \text{ M}^{-1} \text{ τότε } [B] / [A] = 130.000$$

Οι αναβολικές πορείες εξασφαλίζουν την ενέργεια που χρειάζονται από την υδρόλυση του **ATP**

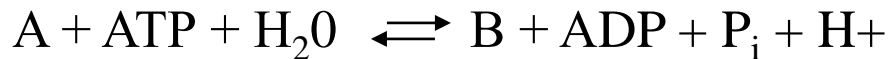
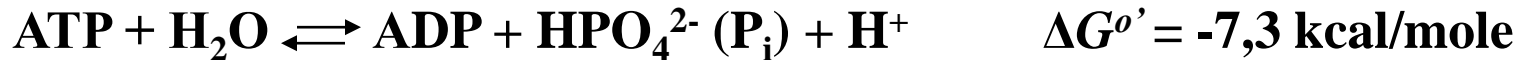
Μια σειρά μη ευνοούμενων θερμοδυναμικά αντιδράσεων μπορούν να μετατραπούν σε ευνοούμενες με τη σύζευξη τους με την υδρόλυση ικανού αριθμού μορίων ATP

Το **ATP είναι παράγοντας ενεργειακής σύζευξης**



$$\Delta G^{\circ'} = +4 \text{ kcal/mole}$$

$$[B] / [A] = 1/1150$$



$$\Delta G^{\circ'} = -3,3 \text{ kcal/mole}$$

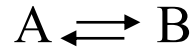
$$\text{Αν } [ATP] / [ADP] [P_i] = 500 \text{ M}^{-1} \text{ τότε } [B] / [A] = 130.000$$

Οι καταβολικές πορείες αποθηκεύουν προσωρινά μέρος της ελεύθερης ενέργειας που παράγεται από την οξείδωση των τροφών στο **ATP**

Οι αναβολικές πορείες εξασφαλίζουν την ενέργεια που χρειάζονται από την υδρόλυση του **ATP**

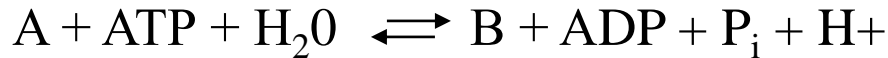
Μια σειρά μη ευνοούμενων θερμοδυναμικά αντιδράσεων μπορούν να μετατραπούν σε ευνοούμενες με τη σύζευξη τους με την υδρόλυση ικανού αριθμού μορίων ATP

Το **ATP** είναι παράγοντας ενεργειακής σύζευξης



$$\Delta G^{\circ'} = +4 \text{ kcal/mole}$$

$$[B] / [A] = 1/1150$$



$$\Delta G^{\circ'} = -3,3 \text{ kcal/mole}$$

$$\text{Αν } [ATP] / [ADP] [P_i] = 500 \text{ M}^{-1} \text{ τότε } [B] / [A] = 130.000$$

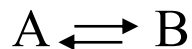
Οι καταβολικές πορείες αποθηκεύουν προσωρινά μέρος της ελεύθερης ενέργειας που παράγεται από την οξείδωση των τροφών στο **ATP**



Οι αναβολικές πορείες εξασφαλίζουν την ενέργεια που χρειάζονται από την υδρόλυση του **ATP**

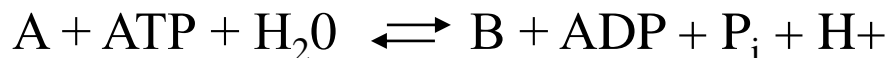
Μια σειρά μη ευνοούμενων θερμοδυναμικά αντιδράσεων μπορούν να μετατραπούν σε ευνοούμενες με τη σύζευξη τους με την υδρόλυση ικανού αριθμού μορίων ATP

Το **ATP** είναι παράγοντας ενεργειακής σύζευξης



$$\Delta G^{\circ'} = + 4 \text{ kcal/mole}$$

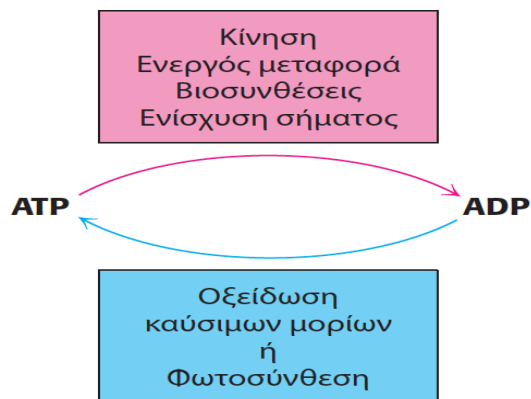
$$[B] / [A] = 1/1150$$



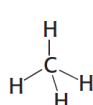
$$\Delta G^{\circ'} = - 3,3 \text{ kcal/mole}$$

Αν $[ATP] / [ADP] [P_i] = 500 \text{ M}^{-1}$ τότε $[B] / [A] = 130.000$

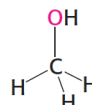
Οι καταβολικές πορείες αποθηκεύουν προσωρινά μέρος της ελεύθερης ενέργειας που παράγεται από την οξείδωση των τροφών στο **ATP**



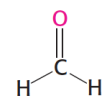
Μέγιστη ενέργεια → Ελάχιστη ενέργεια



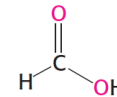
Μεθάνιο



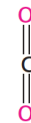
Μεθανόλη



Φορμαλδεϋδη



Μυρμηκικό οξύ



Διοξείδιο του άνθρακα

$\Delta G^{\circ'}_{\text{οξειδωσης}}$
(kJ mol⁻¹)

-820

-703

-523

-285

0

$\Delta G^{\circ'}_{\text{οξειδωσης}}$
(kcal mol⁻¹)

-196

-168

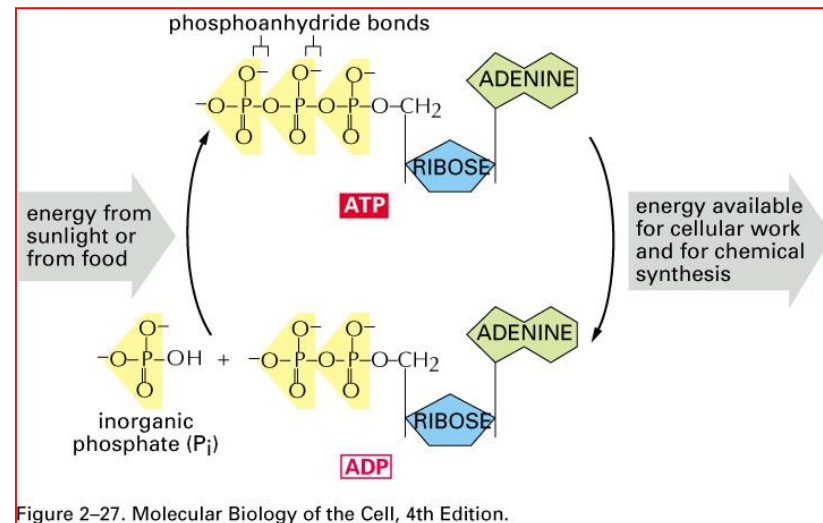
-125

-68

0

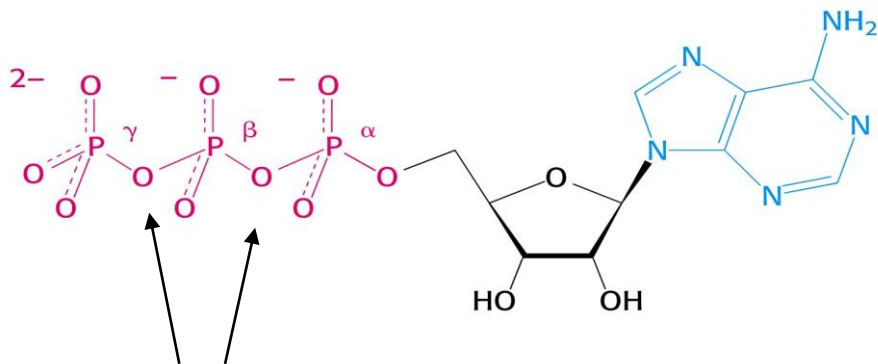
Το ATP είναι το παγκόσμιο βιολογικό νόμισμα ελεύθερης ενέργειας

Το ATP είναι το παγκόσμιο βιολογικό νόμισμα ελεύθερης ενέργειας



Το ATP είναι το παγκόσμιο βιολογικό νόμισμα ελεύθερης ενέργειας

Τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP)



Δύο δεσμοί φωσφορικού ανυδρίτη
(πλούσιοι ενεργειακά, δεσμοί υψηλής ενέργειας)

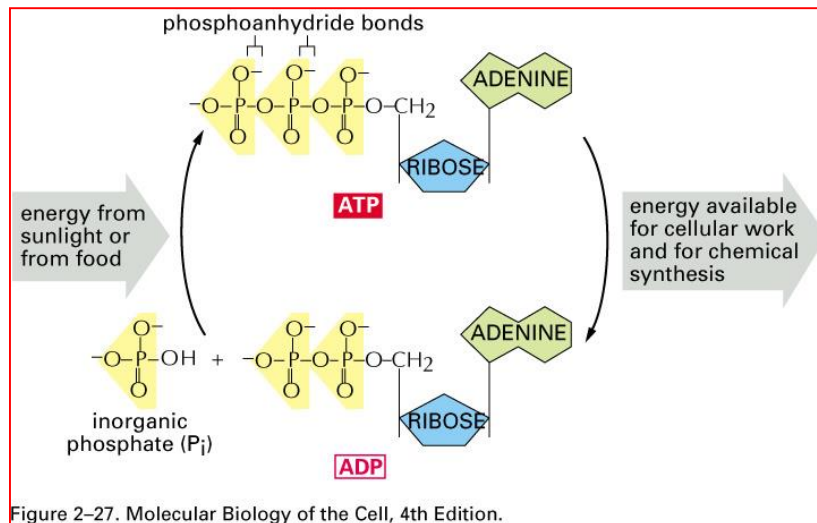
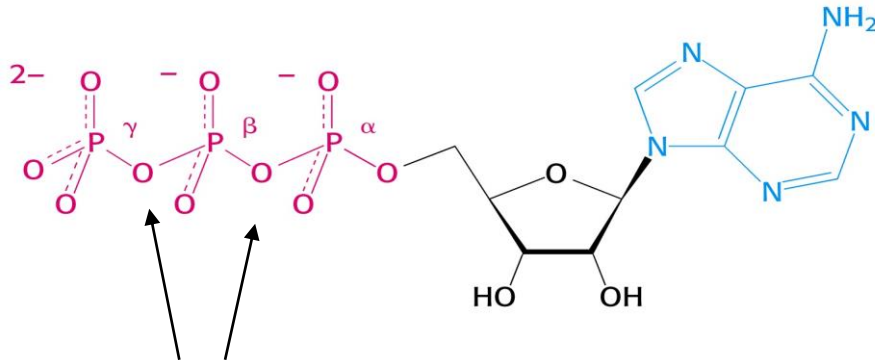


Figure 2-27. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

Το ATP είναι το παγκόσμιο βιολογικό νόμισμα ελεύθερης ενέργειας

Τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP)



Δύο δεσμοί φωσφορικού ανυδρίτη
(πλούσιοι ενεργειακά, δεσμοί υψηλής ενέργειας)

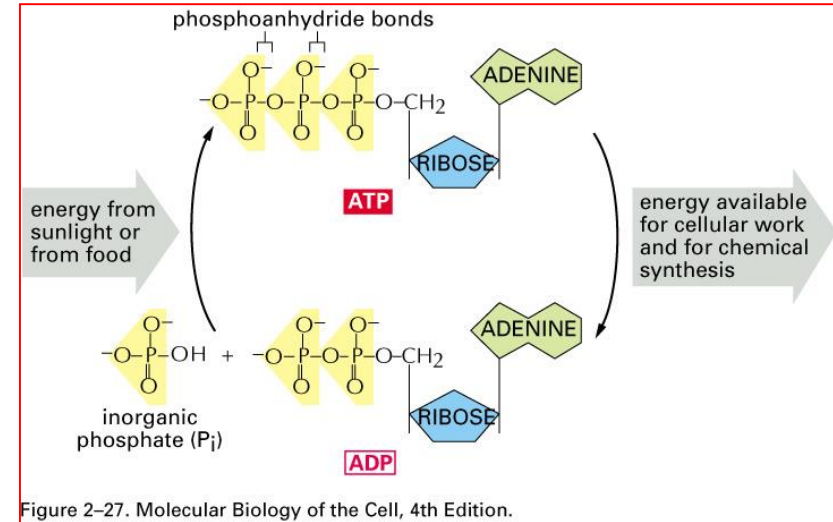


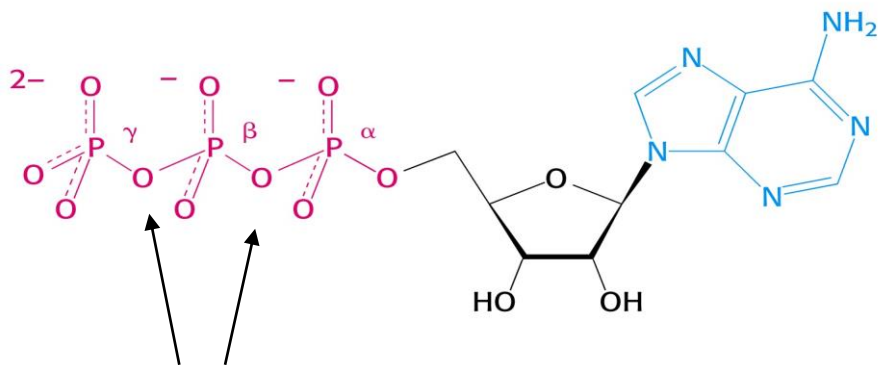
Figure 2-27. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.



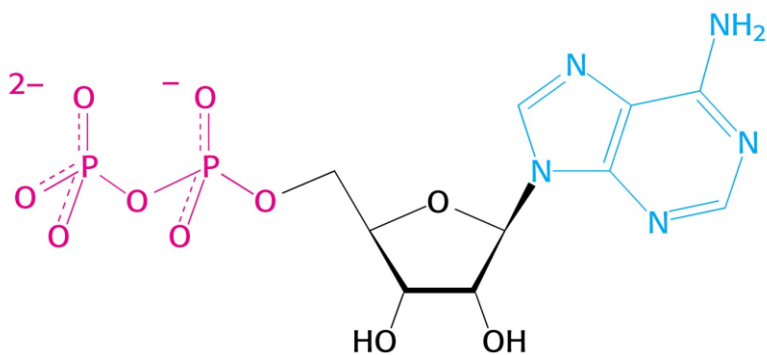
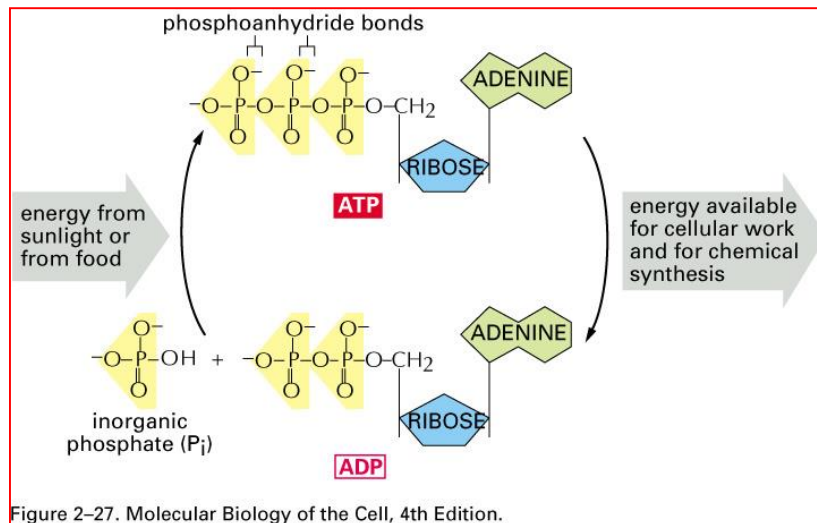
$$\Delta G^{\circ'} = -7,3 \text{ kcal/mole}$$

Το ATP είναι το παγκόσμιο βιολογικό νόμισμα ελεύθερης ενέργειας

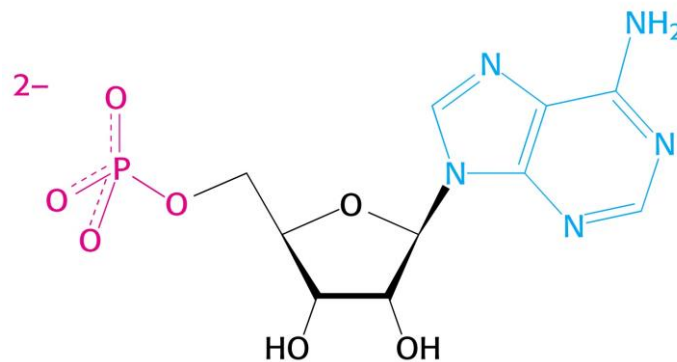
Τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP)



Δύο δεσμοί φωσφορικού ανυδρίτη
(πλούσιοι ενεργειακά, δεσμοί υψηλής ενέργειας)

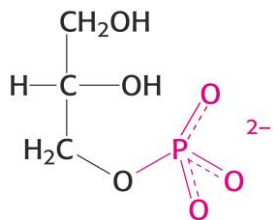
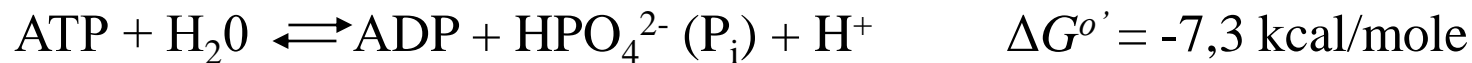


Adenosine diphosphate (ADP)

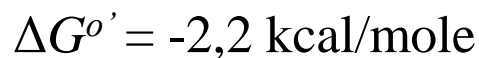
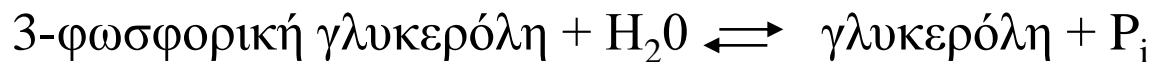


Adenosine monophosphate (AMP)

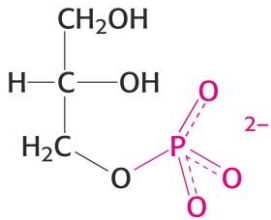
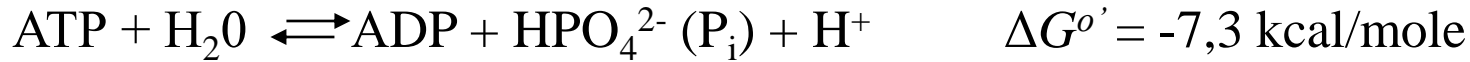
Το ATP έχει υψηλό δυναμικό μεταφοράς φωσφορικής ομάδας: αποτελεσματικός δότης φωσφορικής ομάδας



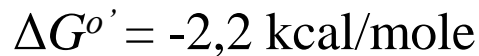
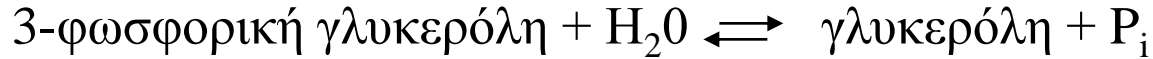
Glycerol 3-phosphate



Το ATP έχει υψηλό δυναμικό μεταφοράς φωσφορικής ομάδας: αποτελεσματικός δότης φωσφορικής ομάδας



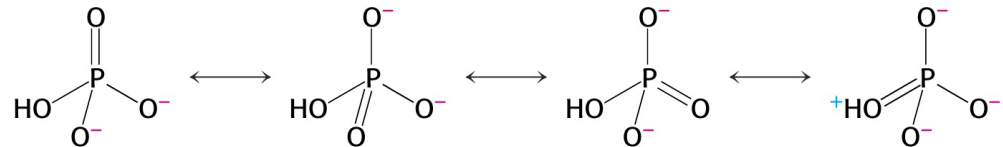
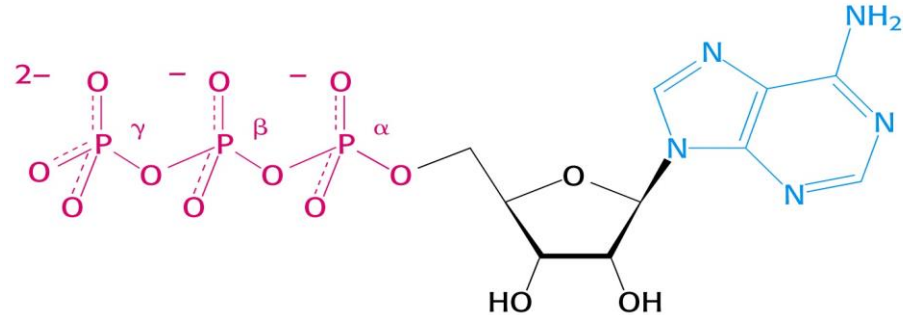
Glycerol 3-phosphate



Επειδή τα προϊόντα υδρόλυσης είναι πιο σταθερά από τα αρχικά η $\Delta G^{\circ'}$ είναι υψηλή

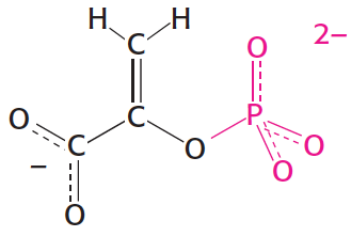
1. Ηλεκτροστατική άπωση

2. Σταθεροποίηση συντονισμού

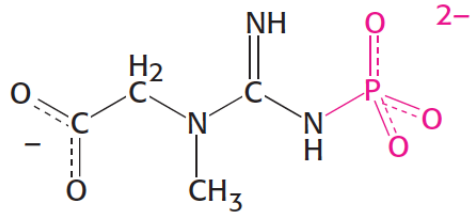


3. Σταθεροποίηση λόγω ενυδάτωσης

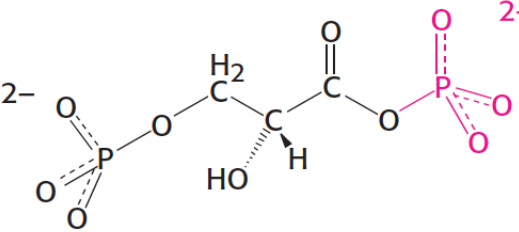
Το ATP έχει δυναμικό μεταφοράς φωσφορικής ομάδας ενδιάμεσο μεταξύ των βιολογικά σημαντικών φωσφορυλιωμένων μορίων: αποτελεσματικός φορέας (δότης και δέκτης) φωσφορικής ομάδας



Φωσφο-ενολοπυροσταφυλικό (PEP)



Φωσφορική κρεατίνη

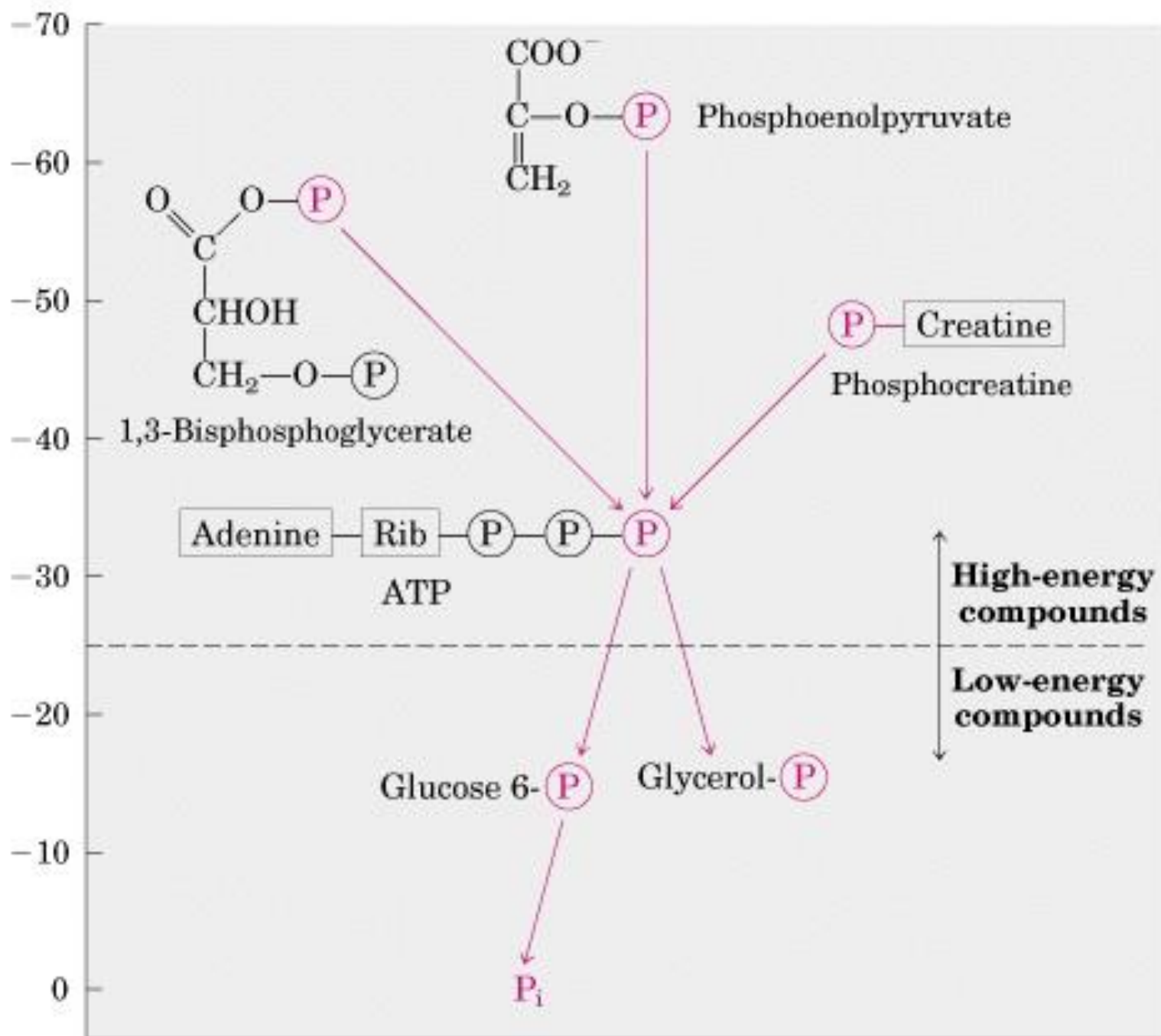


1,3-Διφωσφογλυκερικό (1,3-BPG)

Πίνακας 15.1 Πρότυπες ελεύθερες ενέργειες υδρόλυσης μερικών φωσφορυλιωμένων ενώσεων

| Ένωση | kJ mol ²¹ | kcal mol ²¹ |
|--------------------------|----------------------|------------------------|
| Φωσφο-ενολοπυροσταφυλικό | -61,9 | -14,8 |
| 1,3-Διφωσφογλυκερικό | -49,4 | -11,8 |
| Φωσφορική κρεατίνη | -43,1 | -10,3 |
| ATP (σε ADP) | -30,5 | -7,3 |
| 1-Φωσφορική γλυκόζη | -20,9 | -5,0 |
| Πυροφωσφορικό | -19,3 | -4,6 |
| 6-Φωσφορική γλυκόζη | -13,8 | -3,3 |
| 3-Φωσφορική γλυκερόλη | -9,2 | -2,2 |

ΔG° of hydrolysis (kJ/mol)

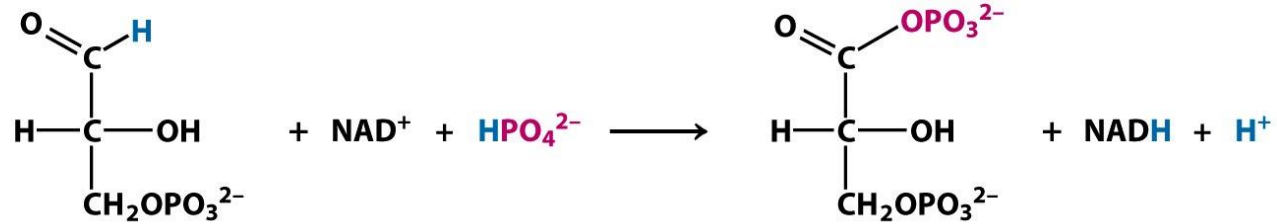


Σύνθεση του ATP μέσω φωσφορυλίωσης σε επίπεδο υποστρώματος

Σύνθεση του ATP μέσω φωσφορυλίωσης σε επίπεδο υποστρώματος

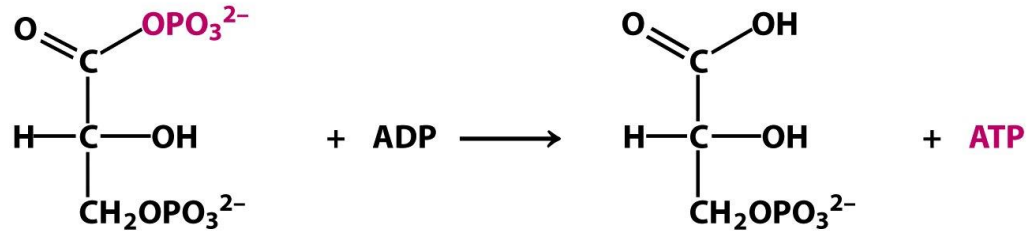
Σύζευξη της σύνθεσης του ATP με εξεργονικές αντιδρασεις:

Η ενέργεια της οξείδωσης του άνθρακα αρχικά δεσμεύεται σε μια ένωση με υψηλό δυναμικό μεταφοράς φωσφορικής ομάδας και μετά χρησιμοποιείται για την σύνθεση ATP από ADP



3-Φωσφορική γλυκεραλδεΐδη (GAP)

1,3-Διφωσφογλυκερικό (1,3-BPG)



1,3-Διφωσφογλυκερικό (1,3-BPG)

3-Φωσφογλυκερικό οξύ

Η ενέργεια που παράγεται από την οξείδωση αποθηκεύεται με μορφή ATP

Σύνθεση του ΑΤΡ από φωσφορική κρεατίνη στους μυς

Περίπτωση δρομέα

Σύνθεση του ATP από φωσφορική κρεατίνη στους μύς



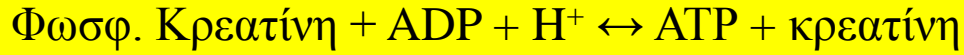
$$\Delta G^{\circ'} = -3,0 \text{ kcal/mole}$$

$$\frac{[\text{ATP}][\text{κρεατίνη}]}{[\text{ADP}][\text{φωσφοκρεατίνη}]} = 162$$

| | |
|--|-------------------------------------|
| $[\text{ATP}] = 4 \text{ mM}$ | $[\text{ADP}] = 0,013 \text{ mM}$ |
| $[\text{φωσφοκρεατίνη}] = 25 \text{ mM}$ | $[\text{κρεατίνη}] = 13 \text{ mM}$ |

Περίπτωση δρομέα

Σύνθεση του ATP από φωσφορική κρεατίνη στους μύς



κινάση της κρεατίνης

$$\Delta G^{\circ'} = -3,0 \text{ kcal/mole}$$

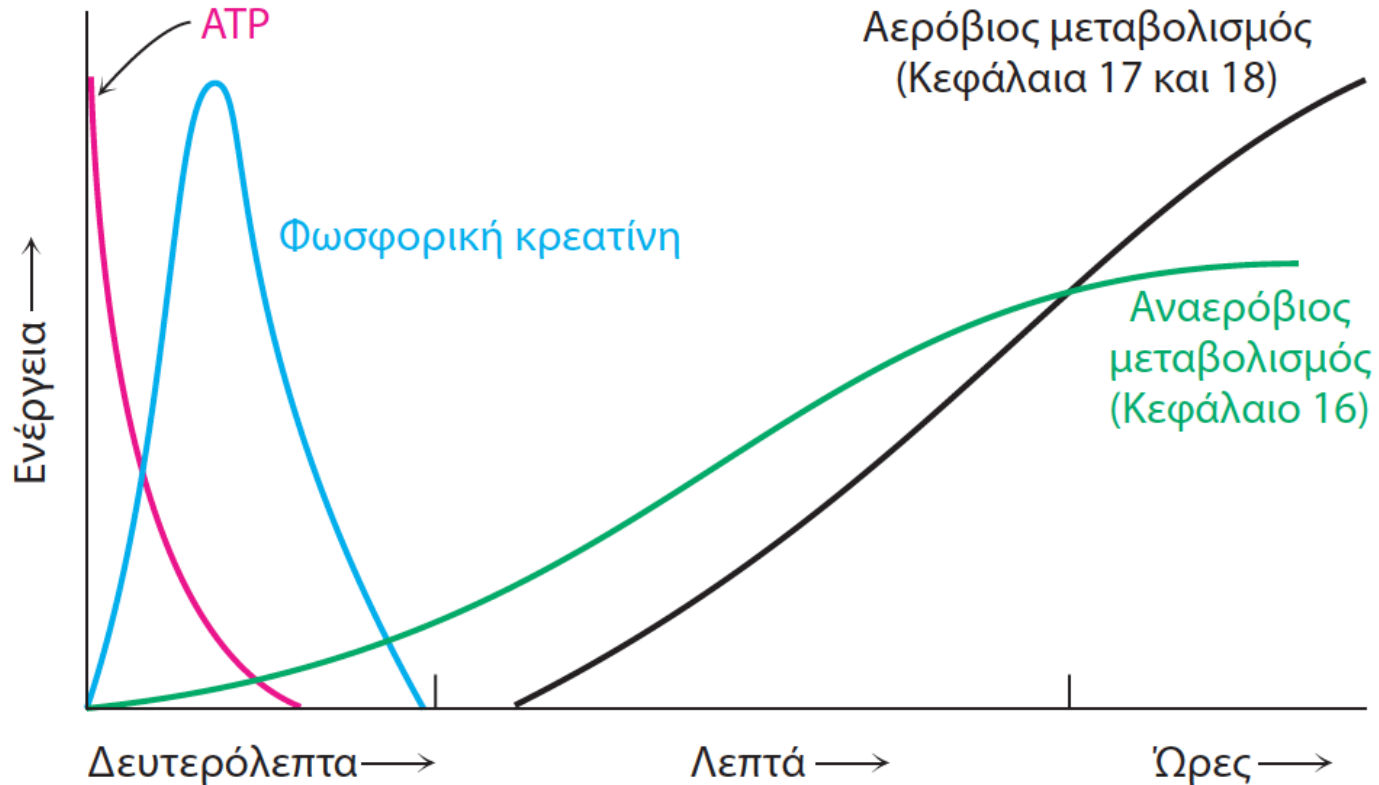
$$\frac{[\text{ATP}][\text{κρεατίνη}]}{[\text{ADP}][\text{φωσφοκρεατίνη}]} = 162$$

$$[\text{ATP}] = 4 \text{ mM}$$

$$[\text{ADP}] = 0,013 \text{ mM}$$

$$[\text{φωσφοκρεατίνη}] = 25 \text{ mM}$$

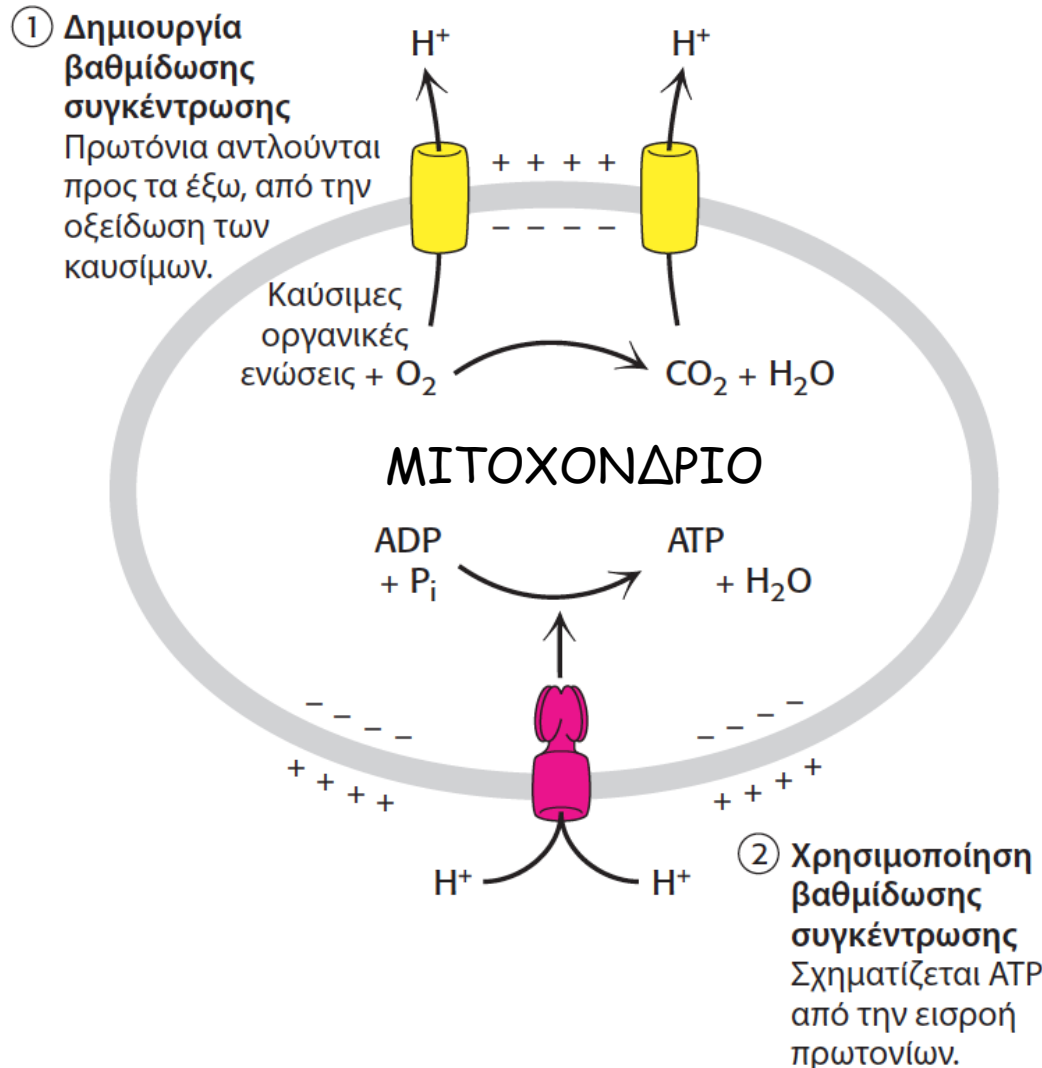
$$[\text{κρεατίνη}] = 13 \text{ mM}$$



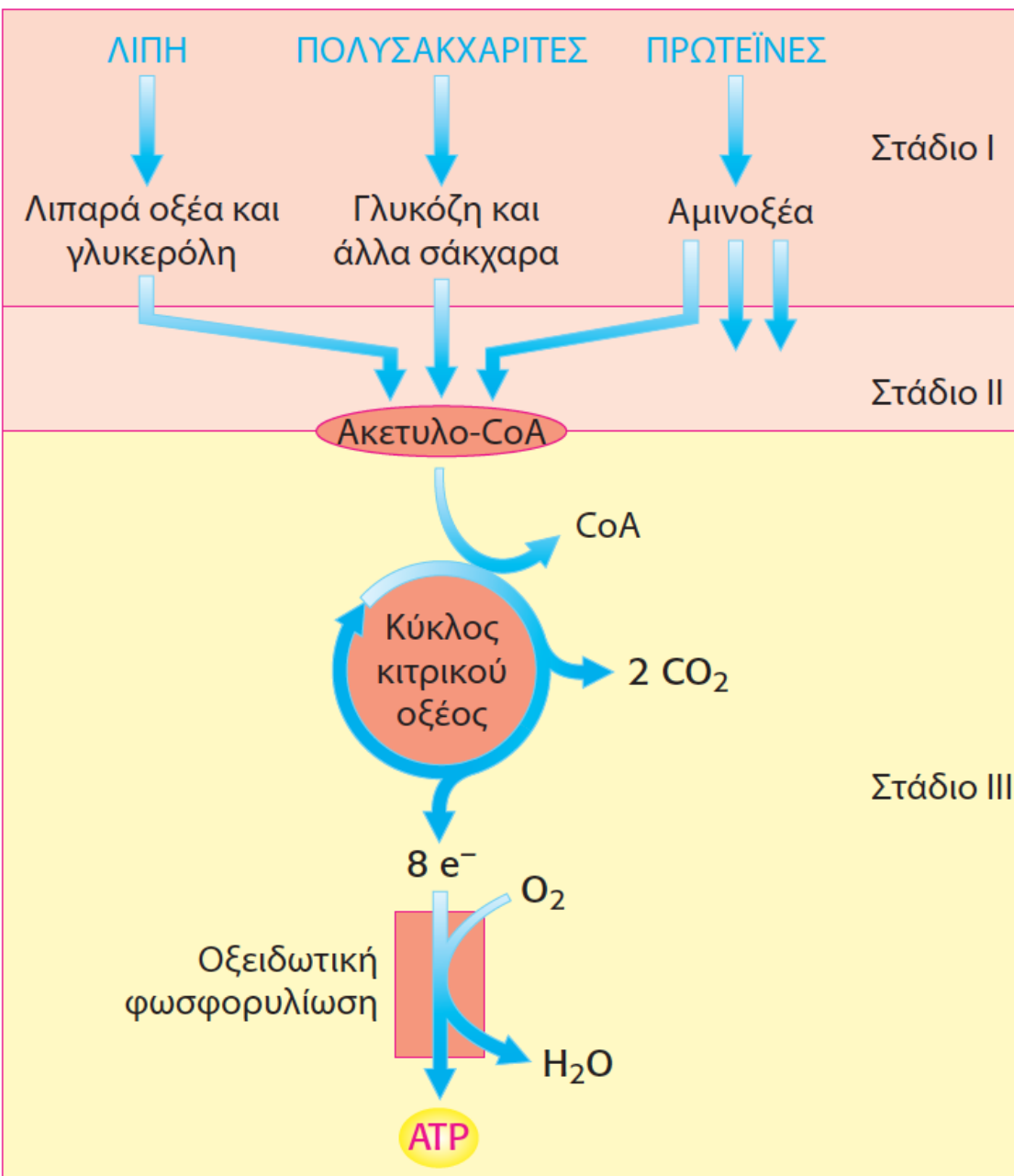
Περίπτωση δρομέα

Σύνθεση του ATP μέσω οξειδωτικής φωσφορυλίωσης

Η ενέργεια της οξείδωσης του άνθρακα (με τη βοήθεια του NADH) μετατρέπεται σε βαθμίδωση συγκέντρωσης ιόντων και μετά χρησιμοποιείται για την σύνθεση ATP από ADP και P_i



Στάδια εξαγωγής ενέργειας (παραγωγής ATP) από τα τρόφιμα



Στάδιο προετοιμασίας:
δεν παράγεται ενέργεια

Παραγωγή μικρής ποσότητας ATP
(μέσω φωσφορυλίωσης σε επίπεδο υποστρώματος, κυρίως στο κυτταρόπλασμα)

Βασικό στάδιο παραγωγής ATP
(κυρίως μέσω οξειδωτικής φωσφορυλίωσης στα μιτοχόνδρια)

Σύνοψη: Εισαγωγή στον Μεταβολισμό I

Καταβολισμός, Αναβολισμός: Πρόσληψη, χρήση, μετασχηματισμοί ενέργειας

Σχεδιασμός του μεταβολισμού

Σύζευξη αντιδράσεων - Νόμισμα ενέργειας

Δομή ADP, ATP - Δεσμός υψηλής ενέργειας

ATP ως παράγοντας σύζευξης

Δυναμικό μεταφοράς φωσφορικής ομάδας

Φωσφορική κρεατίνη

Φωσφορυλίωση στο επίπεδο υποστρώματος