

Βιολογία

Τμήμα Ωκεανογραφίας και Θαλάσσιων Βιοεπιστημών

Διδάσκουσα: Μεζίτη Αλεξάνδρα

Διάλεξη 8: Μεταβολισμός

26/11/2025

Με τον μεταβολισμό οι οργανισμοί μετασχηματίζουν την ύλη και την ενέργεια

Μεταβολισμός: το σύνολο των χημικών αντιδράσεων ενός οργανισμού

Μεταβολική οδός: το σύνολο των χημικών διεργασιών κατά τις οποίες ένα συγκεκριμένο μόριο μετατρέπεται σε ένα συγκεκριμένο τελικό προϊόν.

Καταβολικές οδοί: διάσπαση σε απλούστερες ενώσεις (π.χ. κυτταρική αναπνοή) → απελευθέρωση ενέργειας

Αναβολικές οδοί (βιοσυνθετικές οδοί): κατανάλωση ενέργειας για σύνθεση σύνθετων οργανικών ενώσεων

Ενέργεια: η ικανότητα παραγωγής έργου

Κινητική ενέργεια: σχετική κίνηση αντικειμένων

Θερμική ενέργεια: κινητική ενέργεια που αφορά την τυχαία κίνηση ατόμων ή μορίων

→ Θερμότητα: η ποσότητα της θερμικής ενέργειας που μεταφέρεται από ένα αντικείμενο σε ένα άλλο.

Δυναμική ενέργεια: η ενέργεια που έχει ένα σώμα λόγω της θέσης ή της δομής του.

Χημική ενέργεια: η δυναμική ενέργεια που μπορεί να απελευθερωθεί σε μία χημική αντίδραση.

Με τον μεταβολισμό οι οργανισμοί μετασχηματίζουν την ύλη και την ενέργεια

Θερμοδυναμική: η μελέτη των ενεργειακών μετασχηματισμών της ύλης

Σύστημα: το τμήμα της ύλης που μελετάται

Περιβάλλον: όλο το υπόλοιπο σύμπαν

Απομονωμένο σύστημα → απουσία ανταλλαγής ενέργειας με το περιβάλλον

Ανοιχτό σύστημα → ανταλλαγές ενέργειας κ ύλης με το περιβάλλον

1^{ος} νόμος θερμοδυναμικής

Η ενέργεια του σύμπαντος είναι σταθερή, μπορεί να μεταδοθεί ή να μετασχηματιστεί αλλά δεν δημιουργείται ούτε καταστρέφεται

ΑΡΧΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2^{ος} νόμος θερμοδυναμικής

Με κάθε μεταφορά ή μετατροπή ενέργειας προκαλείται αύξηση της εντροπίας του σύμπαντος

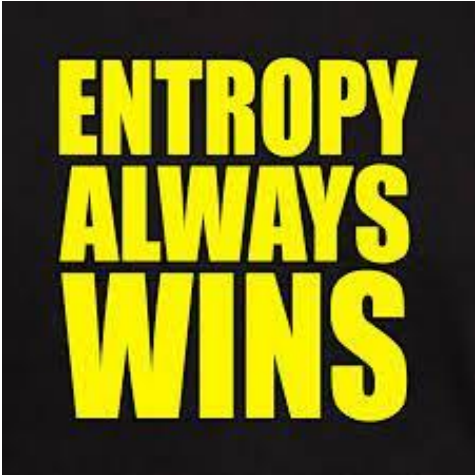
→ εντροπία: ποσότητα για την μέτρηση της τυχαιότητας σε ένα σύστημα

→ Σε τοπικό επίπεδο η τάξη αυξάνεται αλλά στο σύνολο του το σύμπαν αποκτά όλο και πιο τυχαία διάταξη



Με τον μεταβολισμό οι οργανισμοί μετασχηματίζουν την ύλη και την ενέργεια

Τάξη κ' αταξία στα βιολογικά συστήματα



**ENTROPY
ALWAYS
WINS**

Πως είναι δυνατόν τα κύτταρα να δημιουργούν οργανωμένες δομές από λιγότερο οργανωμένες μορφές αρχικής ύλης; (π.χ. απλά μόρια → αμινοξέα → πολυπεπτιδικές αλυσίδες)

Οι οργανισμοί προσλαμβάνουν από το περιβάλλον απλά υλικά → Οι δομές που προκύπτουν είναι πάρα πολύ οργανωμένες κ αρμονικές

Είναι αυτό αντίθετο με τον 2^ο νόμο????

- Πρόσληψη αμύλου, πρωτεϊνών κ.α. από την τροφή
- Διάσπαση μορίων μέσω των καταβολικών οδών → αποβολή $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (λιγότερη χημική ενέργεια από τα αρχικά μόρια)
- Η παραγωγή θερμότητας αντισταθμίζει τη μείωση της χημικής ενέργειας
- Οι οργανισμοί θεωρούνται νησίδες χαμηλής εντροπίας σε ένα σύμπαν αυξανόμενης αταξίας.

Η μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας μιας αντίδρασης μας πληροφορεί για το αν αυτή η αντίδραση συμβαίνει αυθόρμητα ή όχι

Ελεύθερη ενέργεια (G): διαθέσιμη ενέργεια ενός συστήματος για την εκτέλεση έργου

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (\Delta G = G_{\text{τελικής καταστάσης}} - G_{\text{αρχικής καταστάσης}})$$

ΔH : αλλαγή της ενθαλπίας $\rightarrow$ συνολική ενέργεια του συστήματος

ΔS : αλλαγή της εντροπίας

T: απόλυτη θερμοκρασία σε K (Kelvin) $\rightarrow$ $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$

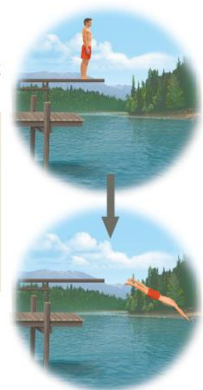
Εικόνα 8.5 Η σχέση της ελεύθερης ενέργειας με τη σταθερότητα, την ικανότητα έργου και την αυθόρμητη αλλαγή. Τα ασταθή συστήματα (πάνω διαγράμματα) είναι πλούσια σε ελεύθερη ενέργεια G. Έχουν την τάση να μεταβαίνουν αυθόρμητα σε πιο σταθερές καταστάσεις (κάτω), αποδίδοντας ενέργεια η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί για την εκτέλεση έργου.

- Περισσότερη ελεύθερη ενέργεια (υψηλότερη G)
- Λιγότερη σταθερότητα
- Μεγαλύτερη ικανότητα παραγωγής έργου

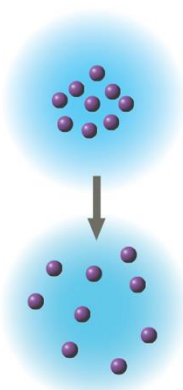
Σε μια **αυθόρμητη μεταβολή**:

- Η ελεύθερη ενέργεια του συστήματος μειώνεται ($\Delta G < 0$).
- Το σύστημα γίνεται πιο σταθερό.
- Η ελεύθερη ενέργεια που απελευθερώνεται μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή έργου.

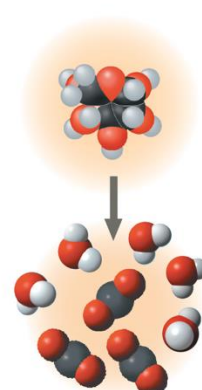
- Λιγότερη ελεύθερη ενέργεια (χαμηλότερη G)
- Περισσότερη σταθερότητα
- Μικρότερη ικανότητα παραγωγής έργου



(α) **Κίνηση εξαιτίας της βαρύτητας.** Τα αντικείμενα κινούνται αυθόρμητα από το υψηλότερο προς το χαμηλότερο υψόμετρο.



(β) **Διάχυση.** Τα μόρια μιας σταγόνας χρωστικής διαχέονται μέχρι να κατανεμηθούν τυχαία.



(γ) **Χημική αντίδραση.** Στα κύτταρα, τα μόρια γλυκόζης διασπώνται σε απλούστερα μόρια.

Αυθόρμητες αντιδράσεις

$$\rightarrow \Delta G < 0$$

Το σύστημα πρέπει είτε να χάσει ενθαλπία ($\Delta H < 0$) ή να χάσει τάξη ($\Delta S > 0$)

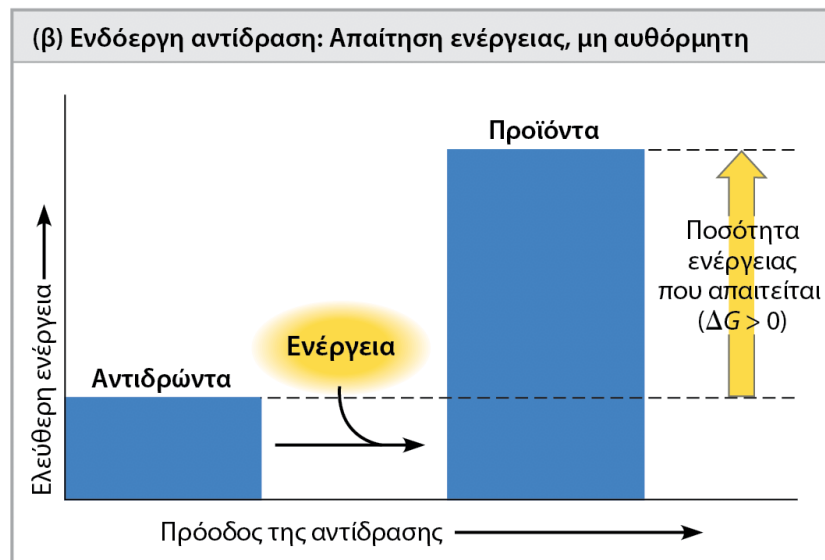
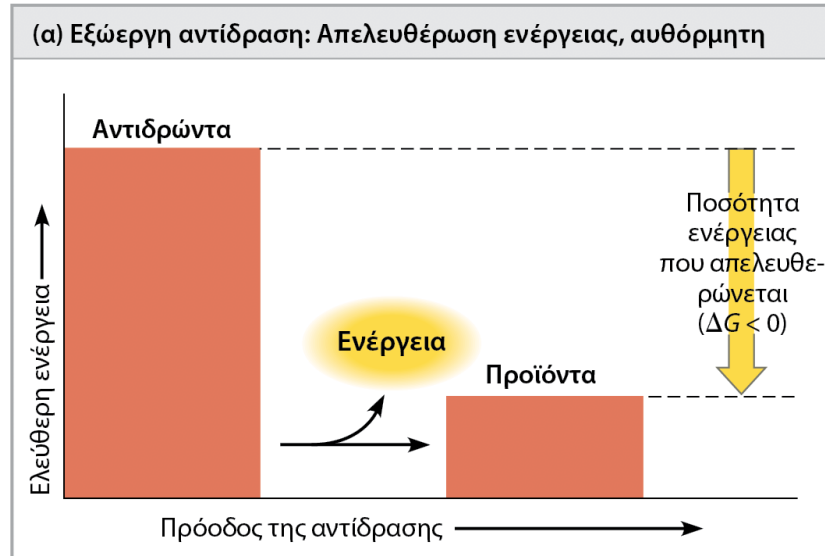
ΣΥΣΧΕΤΙΣΤΕ Συγκρίνετε την ανακατανομή των μορίων στο (β), με τη μεταφορά ιόντων υδρογόνου (H^+), από μια αντλία πρωτονίων, διαμέσου μιας μεμβράνης, που καταλήγει στη διαμόρφωση μιας βαθμίδωσης συγκέντρωσης (βλ. Εικόνα 7.18). Ποια ή ποιες διεργασίες παράγουν περισσότερη ελεύθερη ενέργεια; Ποιο ή ποια συστήματα είναι σε θέση να εκτελέσουν έργο;

Η μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας μιας αντίδρασης μας πληροφορεί για το αν αυτή η αντίδραση συμβαίνει αυθόρμητα ή όχι

Ενέργεια: η ικανότητα εκτέλεσης έργου (kJ)

Ελεύθερη ενέργεια (G): διαθέσιμη ενέργεια για την εκτέλεση έργου

ΔG^0 : μεταβολή ελεύθερης ενέργειας κατά τη διάρκεια μίας αντίδρασης σε πρότυπες συνθήκες (25 °C, 1 atm, pH=7, [1 M])



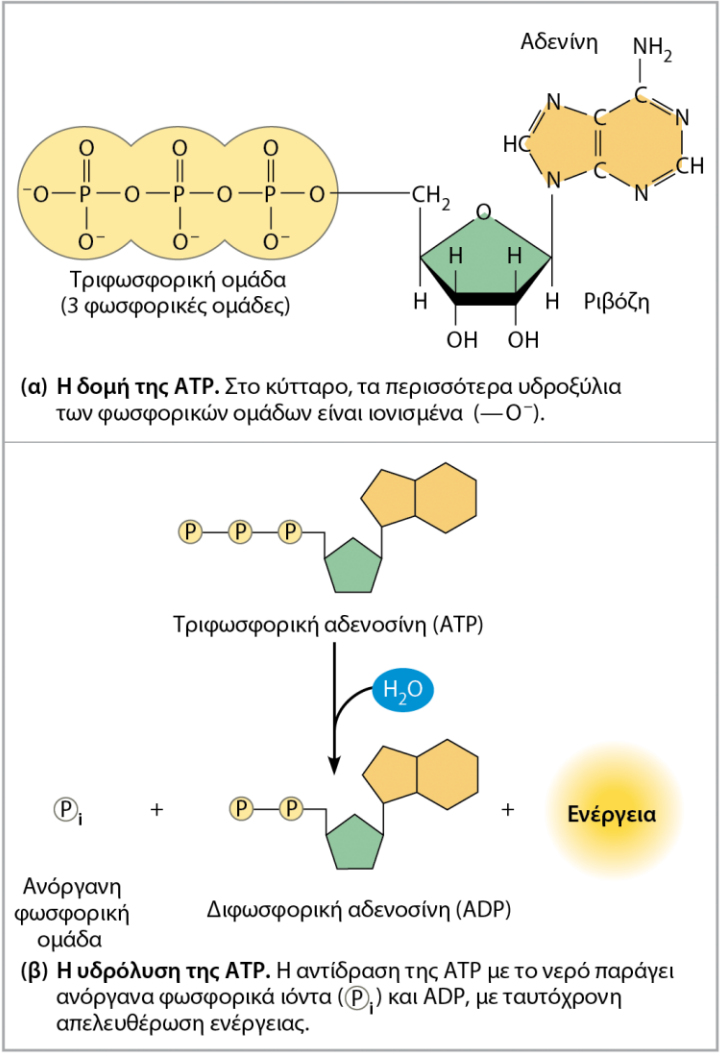
▲ **Εικόνα 8.6** Οι μεταβολές της ελεύθερης ενέργειας (ΔG) στις εξώεργες και τις ενδόεργες αντιδράσεις.

Η ATP τροφοδοτεί ενεργειακά τις κυτταρικές λειτουργίες, συζευγνύοντας τις εξώεργες με τις ενδόεργες αντιδράσεις

- Τα κύτταρα επιτελούν τριών ειδών έργο
- 1. Χημικό έργο: παροχή ενέργειας στις ενδόεργες αντιδράσεις για την πραγματοποίησή τους
 - 2. Μεταφορικό έργο: παροχή ενέργειας για τη μεταφορά ουσιών διαμέσου της ΚΜ
 - 3. Μηχανικό έργο: ενέργεια για λειτουργίες (κάμψη βλεφαρίδων, συστολή μυϊκών κυττάρων)

Ενεργειακή σύζευξη: αξιοποίηση των εξώεργων αντιδράσεων για την παροχή ενέργειας σε ενδόεργες αντιδράσεις

!!!! Συνήθως ο ρόλος αυτός επιτελείται απο το ATP !!!!



▲ **Εικόνα 8.9** Η δομή της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP) και η υδρόλυσή της. Σε όλο το βιβλίο, η χημική δομή της τριφωσφορικής ομάδας που φαίνεται στο (α) θα συμβολίζεται με τρεις κίτρινους συνδεδεμένους κύκλους, όπως φαίνονται στο (β).

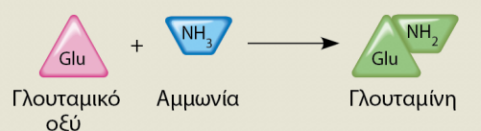
Η ATP τροφοδοτεί ενεργειακά τις κυτταρικές λειτουργίες, συζευγνυοντας τις εξώεργες με τις ενδόεργες αντιδράσεις

Διάσπαση δεσμών ATP με υδρόλυση



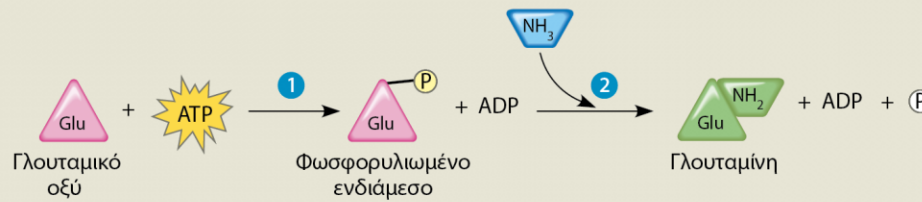
▼ **Εικόνα 8.10** Πώς η ATP τροφοδοτεί το χημικό έργο: Ενεργειακή σύζευξη μέσω της υδρόλυσης της ATP. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η εξώεργη διεργασία της υδρόλυσης της ATP χρησιμοποιείται για να τροφοδοτηθεί ενεργειακά μια ενδόεργη αντίδραση – εν προκειμένω, η σύνθεση του αμινοξέος γλουταμίνη.

(α) **Μετατροπή του γλουταμικού οξέος σε γλουταμίνη.** Η αντίδραση σύνθεσης της γλουταμίνης από γλουταμικό οξύ (Glu) είναι καθαυτή ενδόεργη (η ΔG είναι θετική) και, επομένως, μη αυθόρμητη.



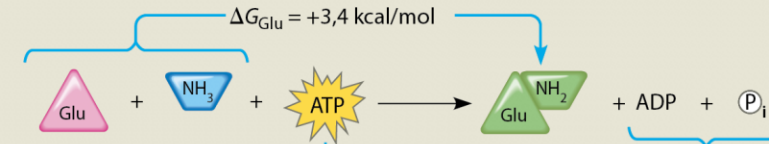
$\Delta G_{Glu} = +3,4 \text{ kcal/mol}$

(β) **Η αντίδραση μετατροπής συζευγνύεται με την υδρόλυση της ATP.** Στο κύτταρο, η σύνθεση της γλουταμίνης γίνεται σε δύο στάδια που έχουν ως κοινό ενδιάμεσο κρίκο μια φωσφορυλιωμένη ένωση (Glu-P). 1. Η ATP φωσφορυλιώνει το γλουταμικό οξύ, καθιστώντας το λιγότερο σταθερό και με περισσότερη ελεύθερη ενέργεια. 2. Η αμμωνία αντικαθιστά τη φωσφορική ομάδα, σχηματίζοντας γλουταμίνη.



Γλουταμικό οξύ + ATP → Φωσφορυλιωμένο ενδιάμεσο + ADP → Γλουταμίνη + ADP + P_i

(γ) **Συνολική μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας για τη συζευγμένη αντίδραση.** Το άθροισμα της ΔG για τη μετατροπή του γλουταμικού οξέος σε γλουταμίνη (+3,4 kcal/mol) και της ΔG για την υδρόλυση της ATP (-7,3 kcal/mol) δίνει τη μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας για τη συνολική αντίδραση (-3,9 kcal/mol). Επειδή η συνολική αντίδραση είναι εξώεργη (η καθαρή ΔG είναι αρνητική), συμβαίνει αυθόρμητα.

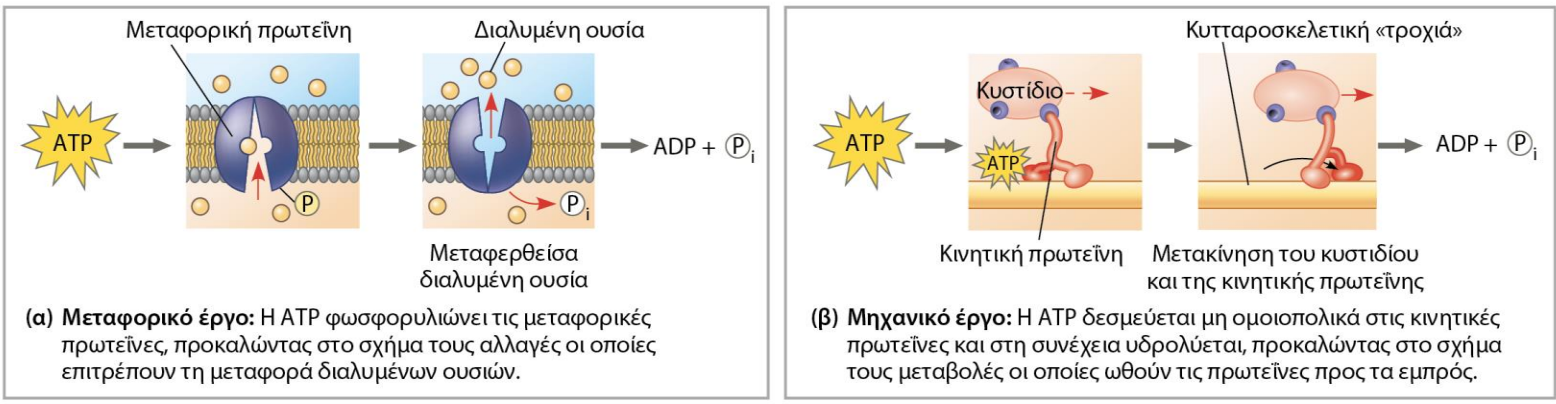


$\Delta G_{Glu} = +3,4 \text{ kcal/mol}$
 $+ \Delta G_{ATP} = -7,3 \text{ kcal/mol}$
Καθαρή $\Delta G = -3,9 \text{ kcal/mol}$

ΣΥΣΧΕΤΙΣΤΕ Ανατρέχοντας στην Εικόνα 5.14, εξηγήστε γιατί η γλουταμίνη (Gln) έχει σχεδιαστεί εδώ ως γλουταμικό οξύ (Glu) πάνω στο οποίο είναι προσδεσμένη μια αμινομάδα.

Η ATP τροφοδοτεί ενεργειακά τις κυτταρικές λειτουργίες, συζευγνυοντας τις εξώεργες με τις ενδόεργες αντιδράσεις

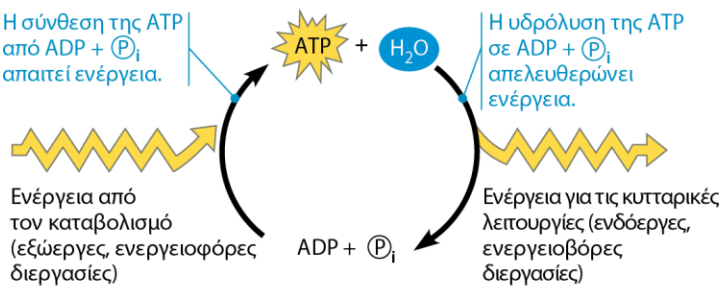
Τροφοδότηση από ATP και αναγέννηση της ATP



▲ **Εικόνα 8.11** Πώς τροφοδοτεί η ATP τις μεταφορικές και τις μηχανικές λειτουργίες του κυττάρου; Η υδρόλυση της ATP προκαλεί αλλαγές στο σχήμα και στη συγγένεια δέσμευσης των πρωτεϊνών. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε (α) άμεσα, με φωσφορυλίωση, όπως παρουσιάζεται εδώ για την περίπτωση της ενεργού μεταφοράς μιας διαλυμένης ουσίας (βλ. επίσης Εικόνα 7.16, καθώς και την αντλία πρωτονίων στο πάνω αριστερό μέρος της Εικόνας 6.32)· είτε (β) έμμεσα, μέσω της μη ομοιοπολικής δέσμευσης της ATP και των προϊόντων της υδρόλυσής της, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των κινητικών πρωτεϊνών που μεταφέρουν κυστίδια (και άλλα οργάνδια) κατά μήκος των κυτταροσκελετικών «τροχιών» του κυττάρου (βλ. επίσης Εικόνες 6.21 και 6.32, κάτω δεξιά).

ATP: ανανεώσιμη πηγή ενέργειας
Προέλευση ενέργειας από εξώεργες αντιδράσεις
Κύκλος της ATP → εντυπωσιακά υψηλή ταχύτητα

▼ **Εικόνα 8.12** Ο κύκλος της ATP. Η ενέργεια που απελευθερώνεται στο κύτταρο από τις (καταβολικές) αντιδράσεις αποικοδόμησης χρησιμοποιείται για τη φωσφορυλίωση της ADP, οπότε έτσι αναγεννάται η ATP. Οι περισσότερες κυτταρικές λειτουργίες τροφοδοτούνται ενεργειακά από τη χημική δυναμική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στην ATP.



Τα ένζυμα επιταχύνουν τις μεταβολικές αντιδράσεις χαμηλώνοντας τους ενεργειακούς φραγμούς

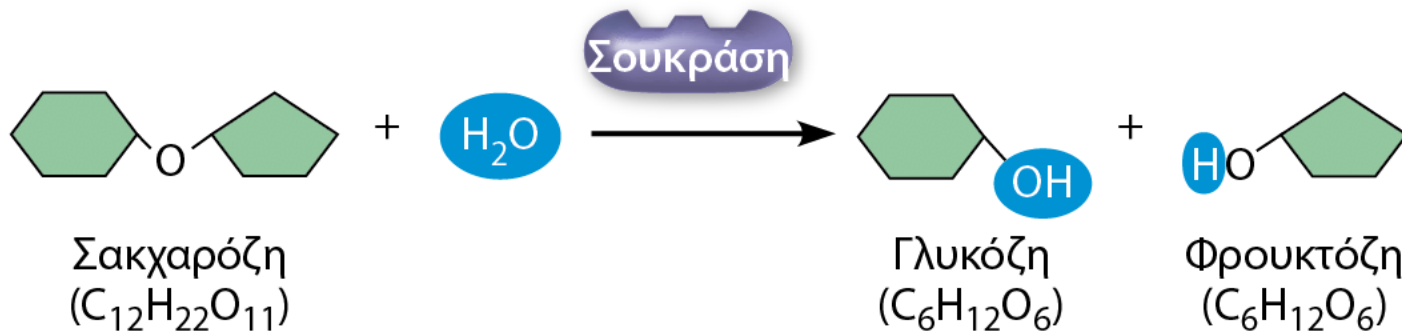
Ένζυμο: μακρομόριο που δρα ως καταλύτης, χημικός παράγοντας που επιταχύνει μια χημική αντίδραση χωρίς να καταναλώνεται

→ Κυρίως πρωτεΐνες

→ Μερικές φορές και κάποια μόρια RNA (ριβοένζυμα)

Υδρόλυση σακχαρόζης → εξώεργη

Σε Τ δωματιού → χρόνος υδρόλυσης → μερικά χρόνια



Τα ένζυμα επιταχύνουν τις μεταβολικές αντιδράσεις χαμηλώνοντας τους ενεργειακούς φραγμούς

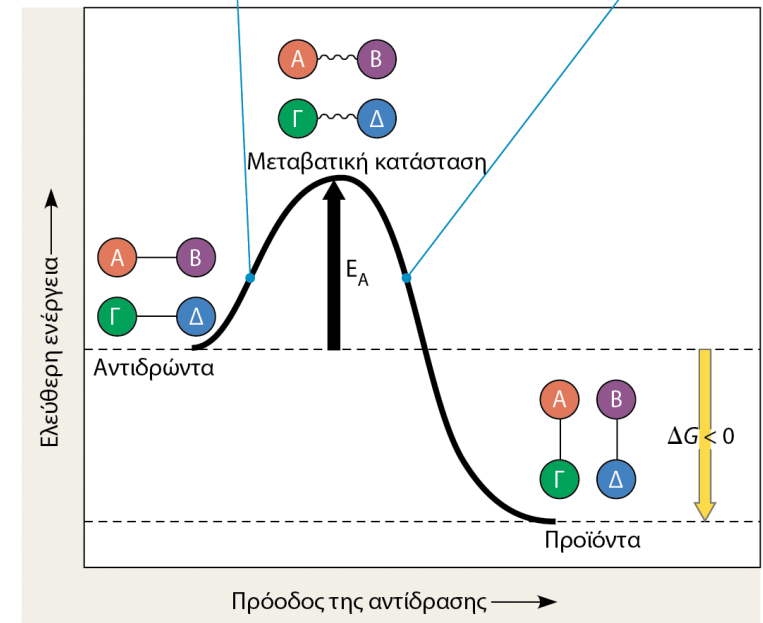
Ενέργεια ενεργοποίησης: η ενεργειακή επένδυση που χρειάζεται αρχικά για να ξεκινήσει η αντίδραση (E_A ; activation energy)

Ενέργεια που απαιτείται για την κατάλληλη στρέψη των μορίων και τη διάσπαση δεσμών

▼ **Εικόνα 8.13** Το ενεργειακό προφίλ μιας εξώεργης αντίδρασης. Τα «μόρια» της αντίδρασης είναι υποθετικά. Τα Α, Β, Γ, Δ αναπαριστούν τμήματα αυτών των υποθετικών μορίων. Από θερμοδυναμική άποψη, η εικονιζόμενη αντίδραση είναι εξώεργη (αρνητική ΔG) και, επομένως, συμβαίνει αυθόρμητα. Ωστόσο, η ταχύτητά της καθορίζεται από τον φραγμό που θέτει η ενέργεια ενεργοποίησης (E_A).

Τα αντιδρώντα ΑΒ και ΓΔ πρέπει να απορροφήσουν αρκετή ενέργεια από το περιβάλλον ώστε να φτάσουν στην ασταθή μεταβατική κατάσταση, από την οποία μπορεί στη συνέχεια να προκύψει η διάσπαση των δεσμών.

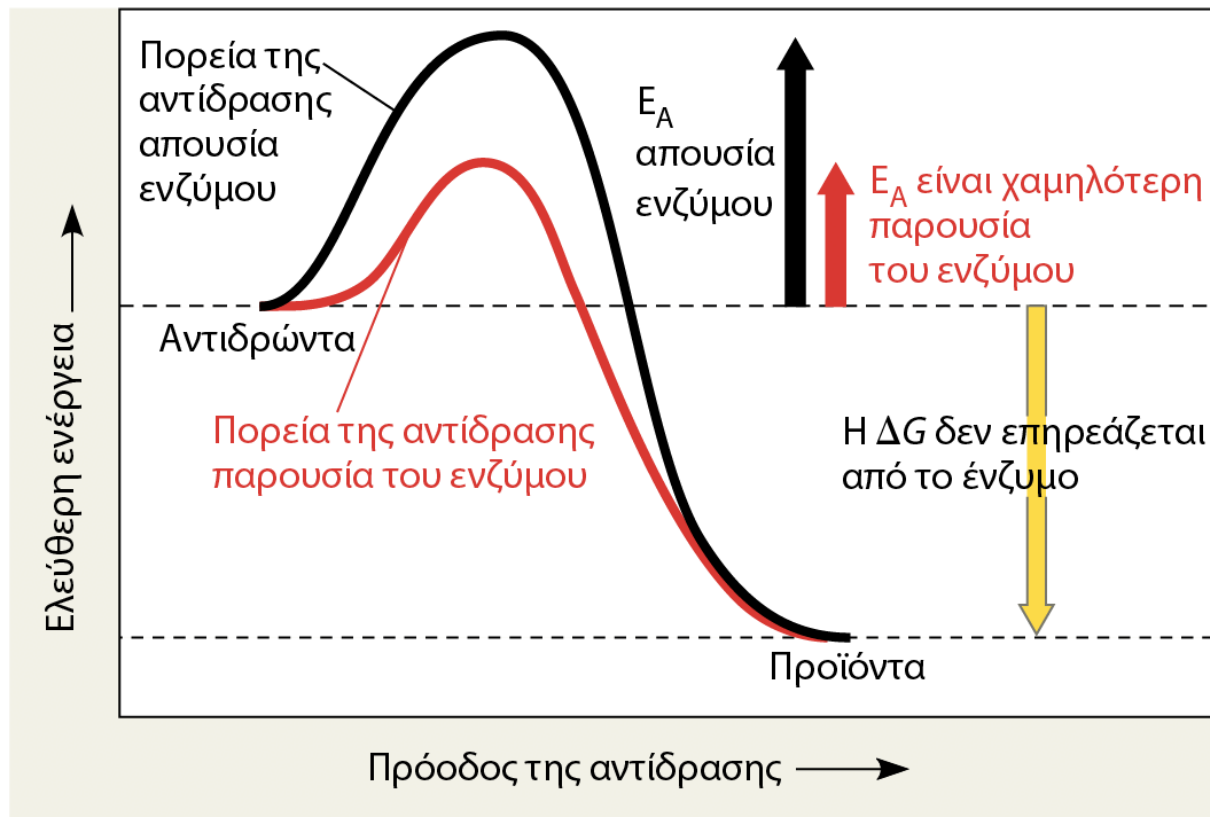
Μετά τη διάσπαση των παλαιών χημικών δεσμών, σχηματίζονται νέοι και απελευθερώνεται ενέργεια στο περιβάλλον.



ΣΧΕΔΙΑΣΤΕ Σχεδιάστε τα στάδια μιας υποτιθέμενης ενδόεργης αντίδρασης, στην οποία τα αντιδρώντα σώματα ΕΖ και ΗΘ, αφού περάσουν από ένα μεταβατικό στάδιο, μετατρέπονται τελικά στα προϊόντα ΕΗ και ΖΘ.

Τα ένζυμα επιταχύνουν τις μεταβολικές αντιδράσεις χαμηλώνοντας τους ενεργειακούς φραγμούς

▼ **Εικόνα 8.14** Η επίδραση ενός ενζύμου στην ενέργεια ενεργοποίησης. Χωρίς να επηρεάζει τη μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας μιας αντίδρασης (ΔG), ένα ένζυμο επιταχύνει μια αντίδραση μειώνοντας την ενέργεια ενεργοποίησης (E_A).



Εξειδίκευση των ενζύμων ως προς το υπόστρωμα

Υπόστρωμα ενζύμου: το αντιδρών μόριο πάνω στο οποίο δρα το ένζυμο

→ Συμπλοκο ενζύμου υποστρώματος

→ Η καταλυτική δράση εμφανίζεται όση ώρα υποστρωμα κ ένζυμο είναι ενωμένα

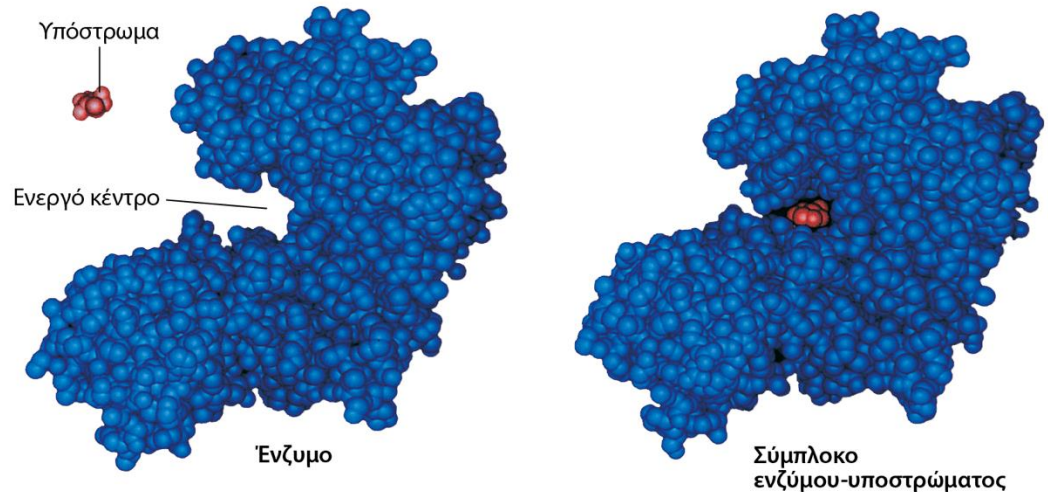
→ Περισσότερα ένζυμα –άση

→ Η αντίδραση κατάλυσης είναι πολύ ειδική (μοναδική τρισδιάστατη διαμόρφωση)

→ Ενεργό κέντρο: περιορισμένη περιοχή του πρωτεϊνικού μορίου
→ δέμευση υποστρώματος στο ένζυμο (συνήθως κοιλότητα)

→ Δυνατότητα ταλάντωσης ανάμεσα σε διαφορετικά σχήματα

▼ **Εικόνα 8.15** Επαγόμενη συναρμογή ανάμεσα σε ένα ένζυμο και το υπόστρωμά του.



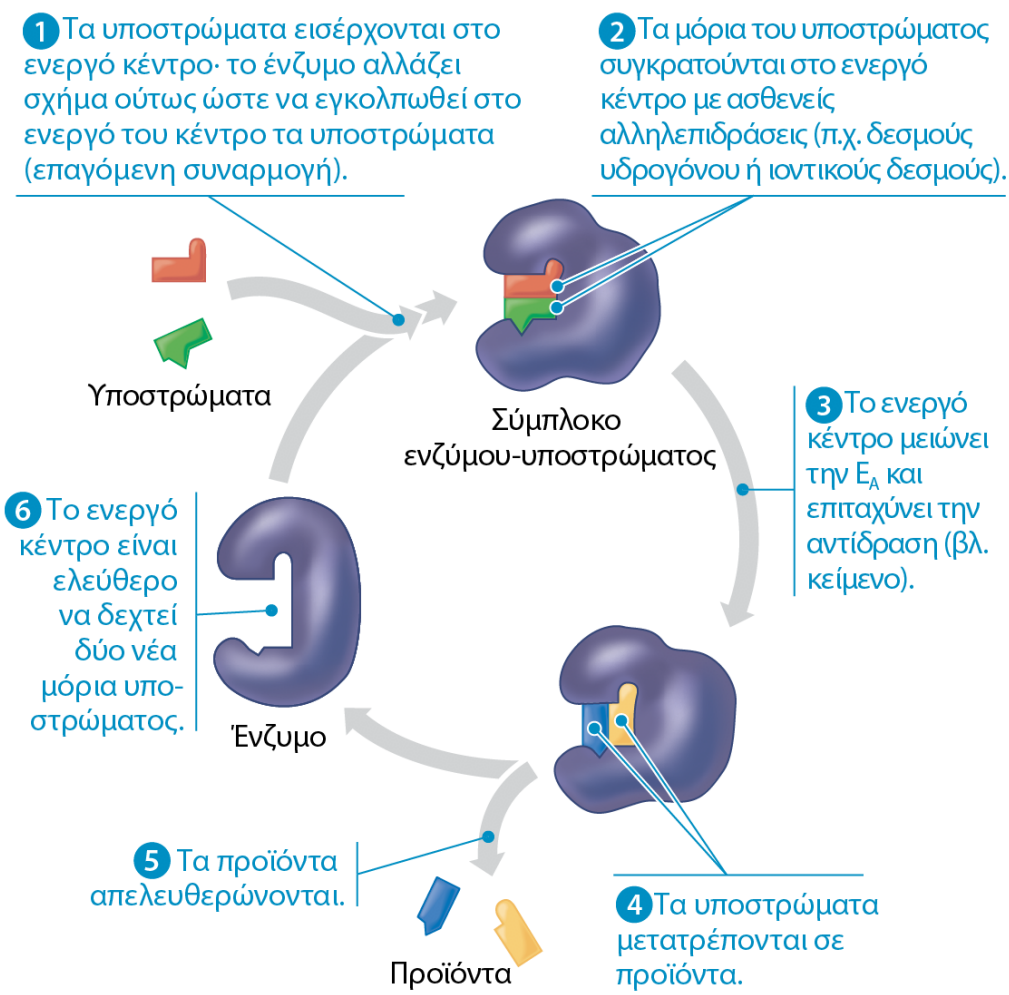
(α) Σε αυτό το χρωοπληρωτικό μοντέλο του ενζύμου εξοκινάση (μπλε), το ενεργό κέντρο σχηματίζει μια κοιλότητα στην επιφάνεια. Το υπόστρωμα του ενζύμου είναι ένα μόριο γλυκόζης (κόκκινο).

(β) Όταν το υπόστρωμα εισέρχεται στο ενεργό κέντρο, σχηματίζει ασθενείς δεσμούς με το ένζυμο, προκαλώντας αλλαγές στο σχήμα του. Αυτή η μεταβολή επιτρέπει τον σχηματισμό ακόμα περισσότερων ασθενών δεσμών, με αποτέλεσμα το ενεργό κέντρο να «εγκολπώνεται» ακόμα πιο σφιχτά το υπόστρωμα.

Μηχανισμοί μείωσης ενέργειας ενεργοποίησης

- 1. Λειτουργία ως εκμαγείο→ καθορισμός προσανατολισμού
- 2. Δημιουργία πιέσεων ή κάμψεων σε κρίσιμους χημικούς δεσμούς
- 3. Δημιουργία ευνοϊκών χημικών συνθηκών
- 4. Άμεση συμμετοχή του ενεργού κέντρου στη χημική αντίδραση

▼ **Εικόνα 8.16** Το ενεργό κέντρο και ο καταλυτικός κύκλος ενός ενζύμου. Ένα ένζυμο μπορεί να μετατρέψει ένα ή περισσότερα μόρια των αντιδρώντων σε ένα ή περισσότερα μόρια των προϊόντων. Το ένζυμο της εικόνας μετατρέπει δύο μόρια υποστρώματος σε δύο μόρια προϊόντος.

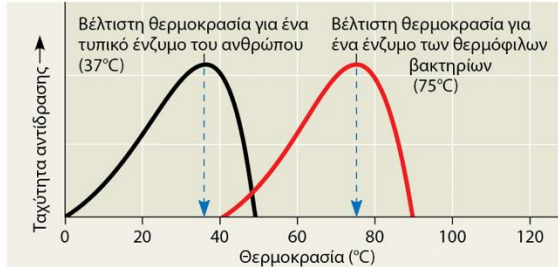


ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Το σύμπλοκο ενζύμου-υποστρώματος περνά από μια μεταβατική κατάσταση (βλ. Εικόνα 8.13). Υποδείξτε το τμήμα του κύκλου στο οποίο παρατηρείται η εν λόγω μεταβατική κατάσταση.

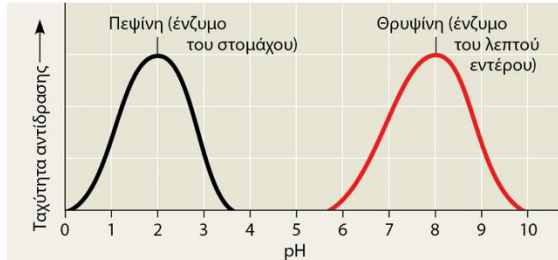
Επίδραση τοπικών συνθηκών στην ενζυμική ενεργότητα

- 1. Θερμοκρασία και pH
 - Καλύτερη λειτουργία σε συγκεκριμένες συνθήκες
 - Έλεγχος στερεοδιαμόρφωσης
 - Μέχρι κάποιες T η αντίδραση επιταχύνεται → γρηγορότερη κίνηση μορίων
 - Βέλτιστες θερμοκρασίες κ βέλτιστα pH
- 2. Συμπαράγοντες
 - Μη πρωτεϊνικές ουσίες → βοηθητική δράση σε διεργασίες
 - Μονιμα συνδεδεμενοι ή χαλαρή κ αντιστρεπτή σύνδεση
 - Ανόργανοι → Zn, Cu, Fe
 - Οργανικοί → συνενζυμα (π.χ. βιταμίνες)
- 3. Αναστολείς ενζύμων
 - Επιλεκτική αναστολή δράσης ενζύμων
 - Μίμηση υποστρώματος → σύνδεση στο ενεργό κέντρο
 - ανταγωνιστικοί αναστολείς
 - Σύνδεση σε άλλη περιοχή του ενζύμου → αλλαγή στερεοδιαμόρφωσης → μείωση καταλυτική ικανότητας → μη ανταγωνιστικοί αναστολείς (τοξίνες, δηλητήρια)

▼ **Εικόνα 8.17** Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ενζυμική ενεργότητα. Για κάθε ένζυμο υπάρχει (α) μια βέλτιστη θερμοκρασία και (β) ένα βέλτιστο pH που ευνοούν την πιο δραστική διαμόρφωση του πρωτεϊνικού του μορίου.



(α) Στη φωτογραφία φαίνονται θεμόφιλα κυανοβακτήρια (πράσινο χρώμα) που ευδοκιμούν στα νερά ενός θερμοπίδακα στη Νεβάδα. Στη γραφική παράσταση συγκρίνονται η βέλτιστη θερμοκρασία ενός ενζύμου του θεμόφιλου βακτηρίου *Thermus oshimai* (75°C) και ενός ενζύμου του ανθρώπου (37°C, θερμοκρασία σώματος).



(β) Στη γραφική παράσταση συγκρίνονται οι ταχύτητες αντίδρασης δύο πεπτικών ενζύμων, σε ένα εύρος τιμών pH.

ΕΡΜΗΝΕΥΣΤΕ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ Βάσει της καμπύλης στο (β), ποιο είναι το βέλτιστο pH για τη δράση της πεψίνης; Εξηγήστε γιατί η φυσική επιλογή ευνόησε το συγκεκριμένο βέλτιστο pH για ένα ένζυμο του στομάχου, όπως η πεψίνη (βλ. Εικόνα 3.11). Ποιο είναι το βέλτιστο pH της θρυψίνης;

Εντοπισμός των ενζύμων μέσα στο κύτταρο

Συγκεκριμένες θέσεις ~
αντίδραση

Πάνω στη ΚΜ ή μέσα σε
μεμβρανοπερίκλειστες
δομές

Ένζυμα κυτταρικής
αναπνοής κ εντοπισμός
στα μιτοχόνδρια



Στο διάλυμα της θεμέλιας ουσίας (μήτρας) υπάρχουν ένζυμα που συμμετέχουν στο δεύτερο στάδιο της κυτταρικής αναπνοής.

Τα ένζυμα για το τρίτο στάδιο της κυτταρικής αναπνοής είναι ενσωματωμένα στην εσωτερική μεμβράνη των ακρολοφιών.

▲ Εικόνα 8.22 Οργανίδια και δομική οργάνωση στον μεταβολισμό. Τα οργανίδια, όπως τα μιτοχόνδρια της εικόνας (ΗΜΔ), περιέχουν ένζυμα που επιτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες – εν προκειμένω, το δεύτερο και το τρίτο στάδιο της κυτταρικής αναπνοής. (Βλ. επίσης Εικόνα 6.32β, κάτω αριστερά.)

Ποια από τις παρακάτω μεταβολικές διεργασίες μπορεί να συμβεί χωρίς καθαρή εισροή ενέργειας από άλλες διεργασίες;

1. $\text{ADP} + \text{P}_i \rightarrow \text{ATP} + \text{H}_2\text{O}$
2. $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
3. $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$
4. Αμινοξέα $\rightarrow$ πρωτεΐνη

Ένα διάλυμα περιέχει ένα ένζυμο το οποίο είναι κορεσμένο ως προς το υπόστρωμά του. Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για να αυξήσουμε την ταχύτητα παραγωγής των προϊόντων είναι να

1. Προσθέσουμε περισσότερο ένζυμο
2. Θερμάνουμε το διάλυμα στους 90 °C
3. Προσθέσουμε περισσότερο υπόστρωμα
4. Προσθέσουμε έναν μη ανταγωνιστικό αναστολέα

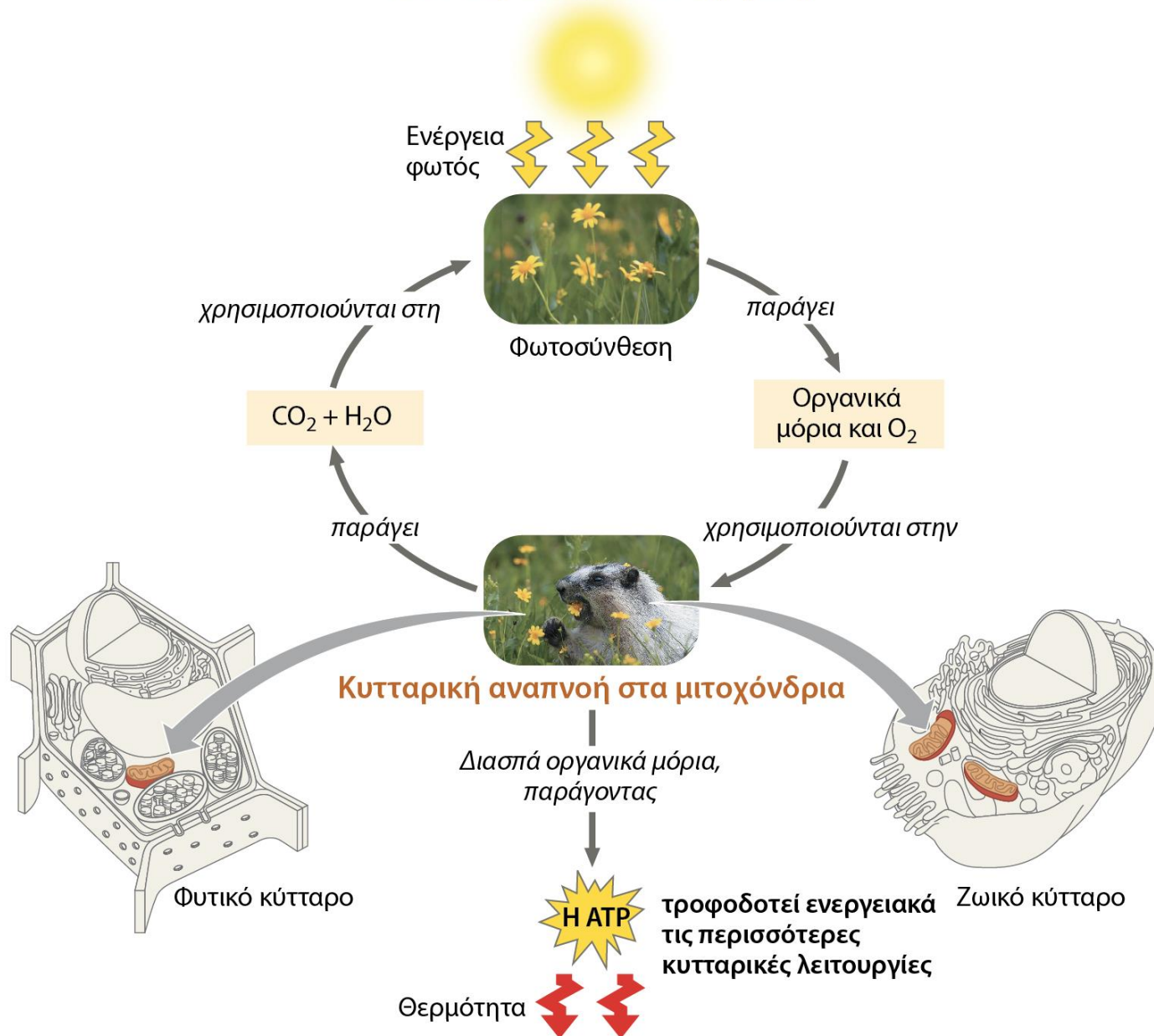
Ορισμένα βακτήρια είναι μεταβολικά ενεργά στο περιβάλλον των θερμών πηγών επειδή

1. Είναι ικανά να διατηρούν χαμηλή την εσωτερική θερμοκρασία τους
2. Η υψηλή θερμοκρασία καθιστά μη αναγκαία την κατάλυση
3. Τα ένζυμα τους έχουν υψηλή βέλτιστη T
4. Τα ένζυμα τους δεν επηρεάζονται καθόλου από την εξωτερική θερμοκρασία

Σε ένα διάλυμα το υπόστρωμα κ το προϊόν ενός ενζύμου είναι σε ισορροπία. Τι θα συμβεί αν σε αυτό το δ/μα προσθέσουμε κ άλλο ένζυμο;

1. Θα σχηματιστεί επιπλέον υποστρώμα
2. Η αντίδραση από ενδόεργη θα γίνει εξώεργη
3. Η ελεύθερη ενέργεια του συστήματος θα αλλάξει
4. Τίποτα η αντίδραση θα παραμείνει σε ισορροπία

Πώς μετατρέπεται η αποθηκευμένη ενέργεια των τροφών σε ATP, το μόριο που τροφοδοτεί ενεργειακά τις περισσότερες κυτταρικές λειτουργίες;



Οι καταβολικές οδοί οξειδώνουν οργανικά μόρια κ αποδίδουν ενέργεια

Καταβολικές οδοί και παραγωγή ATP

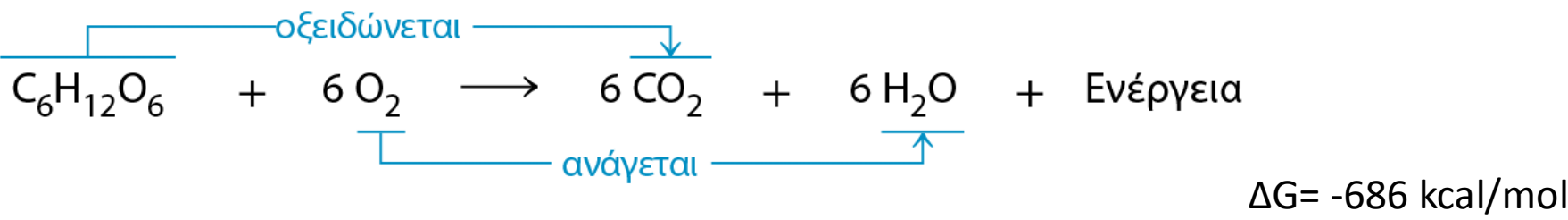
Οι οργανικές ενώσεις έχουν *δυναμική* ενέργεια λόγω της διάταξης των ηλεκτρονίων στους δεσμούς μεταξύ των ατόμων τους

Ζύμωση: καταβολική διεργασία → **μερική αποικοδόμηση** οργανικών μορίων **χωρίς την χρήση οξυγονου**

Αερόβια αναπνóή: η πιο αποτελεσματική καταβολική οδός → αποικοδόμηση οργανικών ενώσεων κ **χρήση οξυγόνου**

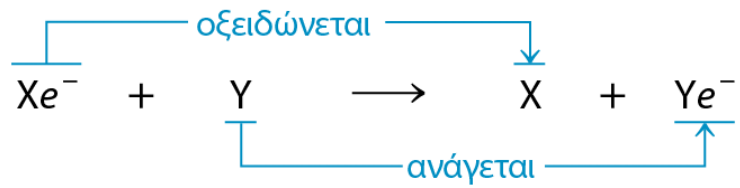
- Σχεδόν όλα τα ευκαρυωτικά κύτταρα κ πολλοι προκαρυώτες
- Ορισμένοι προκαρυώτες χρησιμοποιούν άλλους δέκτες ηλεκτρονίων εκτός από οξυγόνο (αναερόβια αναπνóή)

Κυτταρική αναπνóή: συμπερίληψη αερόβιων κ αναερόβιων διεργασιών



Οι καταβολικές οδοί οξειδώνουν οργανικά μόρια κ αποδίδουν ενέργεια

Οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις → οξείδωση κ αναγωγή



Η απώλεια ηλεκτρονίων ονομάζεται οξείδωση
Η προσθήκη ηλεκτρονίων ονομάζεται αναγωγή

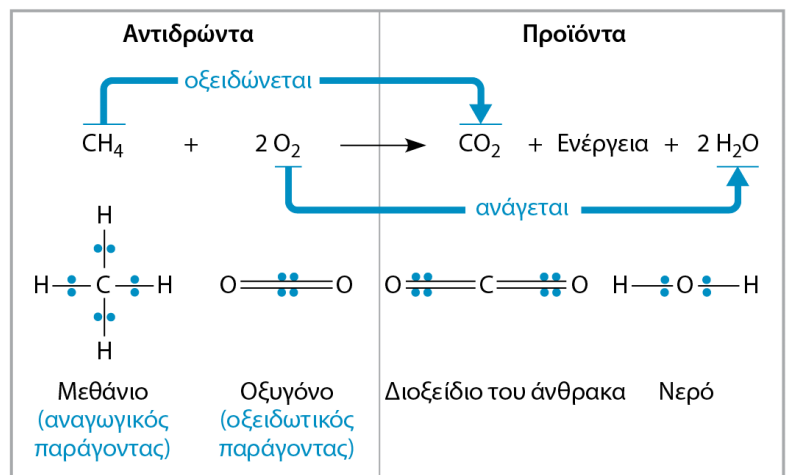
▼ **Εικόνα 9.2** Η καύση του μεθανίου ως οξειδοαναγωγική αντίδραση που απελευθερώνει ενέργεια. Η αντίδραση απελευθερώνει ενέργεια στο περιβάλλον, διότι τα ηλεκτρόνια χάνουν ένα μέρος της δυναμικής τους ενέργειας. Η απώλεια δυναμικής ενέργειας οφείλεται στο γεγονός ότι, στο τέλος της αντίδρασης, τα ηλεκτρόνια κατανέμονται ασύμμετρα μεταξύ δύο ατόμων, περνώντας περισσότερο χρόνο κοντά σε ένα ηλεκτραρνητικό άτομο, όπως το οξυγόνο.

Το X χάνει e και οξειδώνεται και το Y παίρνει e και ανάγεται (Εικ.9.2)

(*) αναγωγή= reduction = μείωση → μείωση αριθμού οξείδωσης λόγω της προσληψης αρνητικού φορτίου (e⁻)

Η ουσία που οξειδώνεται αποτελεί τον αναγωγικό παράγοντα (γλυκόζη) και η ουσία που αναγεται τον οξειδωτικό (O₂)

Η μεγάλη ηλεκτραρνητικότητα του οξυγόνου το καθιστά έναν από τους ισχυρότερους οξειδωτικούς παράγοντες



ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης αυτής, το άτομο του άνθρακα οξειδώνεται ή ανάγεται; Εξηγήστε.

Οξείδωση οργανικών καύσιμων μορίων κατά την κυτταρική αναπνοή

Οξείδωση μεθανίου από οξυγόνο → εστίες πετρογκάζ

Καύση της βενζίνης στους κινητήρες αυτοκινήτων

Οξείδωση της γλυκόζης κ' άλλων μορίων τροφής στα κύτταρα

Όσο περισσότερα άτομα H τόσο καλύτερο το καύσιμο

→ πλούσια πηγή e^- υψηλής ενέργειας

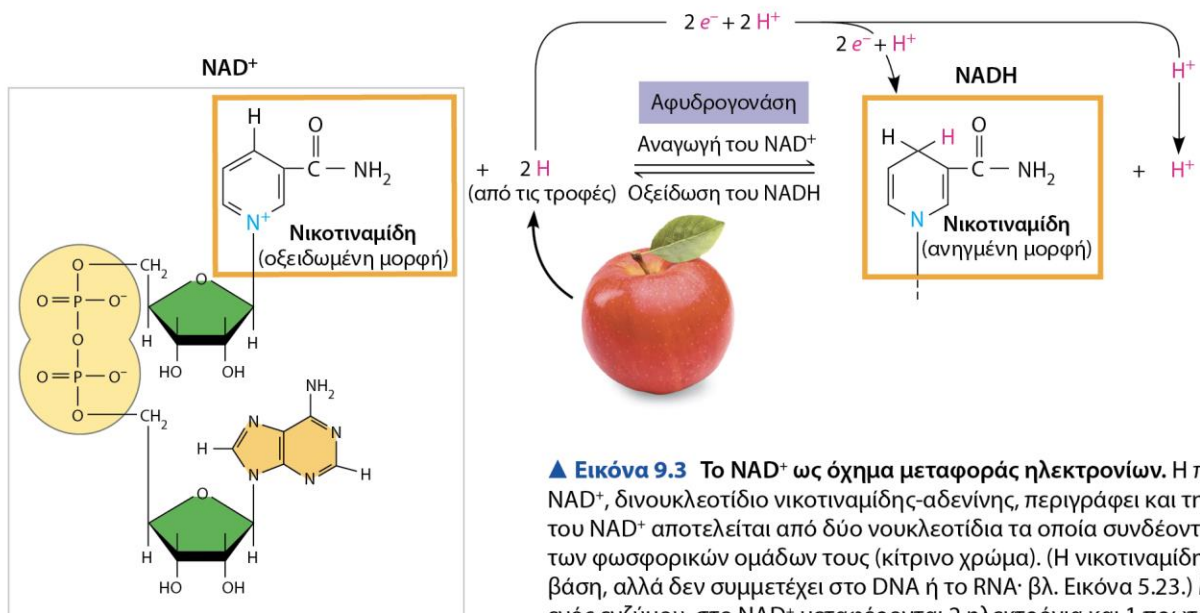
→ μεταφορά e^- στο O_2

→ πτώση σε χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη κ απελευθέρωση ενέργειας

Τα λίπη και οι υδατανθρακες θεωρούνται οι καλύτερες τροφές λόγω των πολλών δεσμών C-H

Σταδιακή συγκομιδή ενέργειας μέσω του NAD⁺ και της αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων

- Ανεξέλεγκτες αντιδράσεις → βίαιη απελευθέρωση ενέργειας
- Οι αντιδράσεις στην κυτταρική αναπνοή είναι ελεγχόμενες
 - Σειρά αντιδράσεων ελεγχόμενων από ένζυμα
 - Σταδιακή αφαίρεση e⁻, και μεταφορά τους μαζί με πρωτόνια (H)
 - Όχι απευθείας μεταφορά στο οξυγόνο αλλά σε ενδιάμεσο φορέα (NAD⁺ → NADH)
 - Δράση αφυδρογονασών για την απομάκρυνση H από το καύσιμο



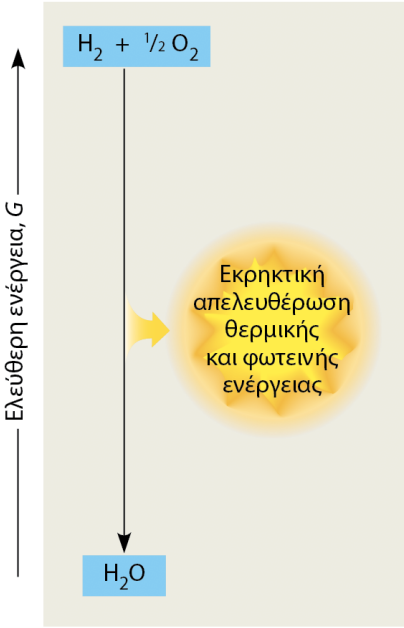
▲ Εικόνα 9.3 Το NAD⁺ ως όχημα μεταφοράς ηλεκτρονίων. Η πλήρης ονομασία του NAD⁺, δινουκλεοτίδιο νικοτιναμίδης-αδενίνης, περιγράφει και τη δομή του: Το μόριο του NAD⁺ αποτελείται από δύο νουκλεοτίδια τα οποία συνδέονται μεταξύ τους μέσω των φωσφορικών ομάδων τους (κίτρινο χρώμα). (Η νικοτιναμίδα είναι μια αζωτούχος βάση, αλλά δεν συμμετέχει στο DNA ή το RNA· βλ. Εικόνα 5.23.) Με τη μεσολάβηση ενός ενζύμου, στο NAD⁺ μεταφέρονται 2 ηλεκτρόνια και 1 πρωτόνιο από κάποιο τροφικό οργανικό μόριο, γεγονός που προκαλεί την αναγωγή του σε NADH. Το δεύτερο πρωτόνιο (H⁺) απελευθερώνεται στο περιβάλλον διάλυμα. Τα περισσότερα από τα ηλεκτρόνια που απομακρύνονται από τα μόρια των τροφών μεταφέρονται αρχικά στο NAD⁺, σχηματίζοντας NADH.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Περιγράψτε τις δομικές διαφορές ανάμεσα στην οξειδωμένη και την ανηγμένη μορφή της νικοτιναμίδης.

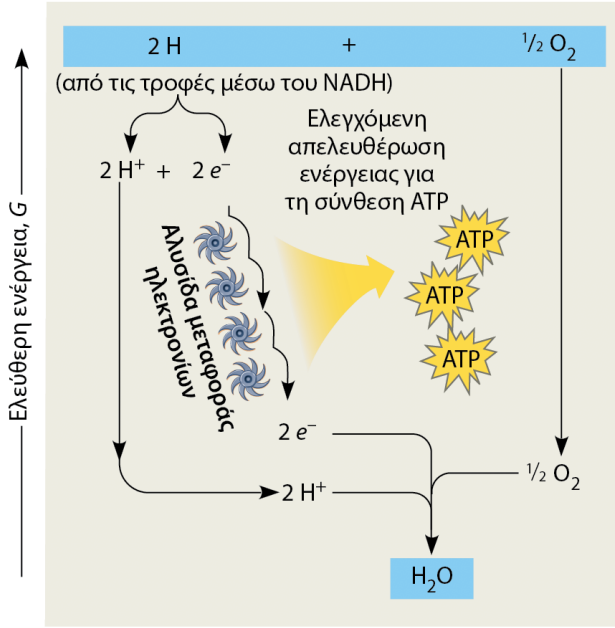
Σταδιακή συγκομιδή ενέργειας μέσω του NAD⁺ και της αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων

Μεταφορά e⁻ στο κύτταρο → ελεγχόμενα στάδια για την πτώση της ενέργειας των e⁻ από το H (υψηλή ενεργεια) στο O (χαμηλή ενεργεια)

(α) **Ανεξέλεγκτη αντίδραση.** Αν η εξώεργη αντίδραση του υδρογόνου με το οξυγόνο (από την οποία σχηματίζεται νερό) γίνει σε ένα βήμα, η ποσότητα της ενέργειας που θα απελευθερωθεί, ως θερμότητα και φως, είναι πολύ μεγάλη και έχει τη μορφή έκρηξης.



(β) **Κυτταρική αναπνοή.** Στην κυτταρική αναπνοή, η ίδια αντίδραση γίνεται σε πολλά βήματα. Η αλυσίδα μεταφοράς ηλεκτρονίων «σπάει» την «πτώση» των ηλεκτρονίων της αντίδρασης σε μια σειρά μικρότερων βημάτων και αποθηκεύει ένα τμήμα της εκλυόμενης ενέργειας σε μια μορφή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνθεση της ATP. (Η υπόλοιπη ενέργεια απελευθερώνεται ως θερμότητα.)



▲ **Εικόνα 9.4** Μια εισαγωγή στις αλυσίδες μεταφοράς ηλεκτρονίων.

Προεπισκόπηση των σταδίων της κυτταρικής αναπνοής

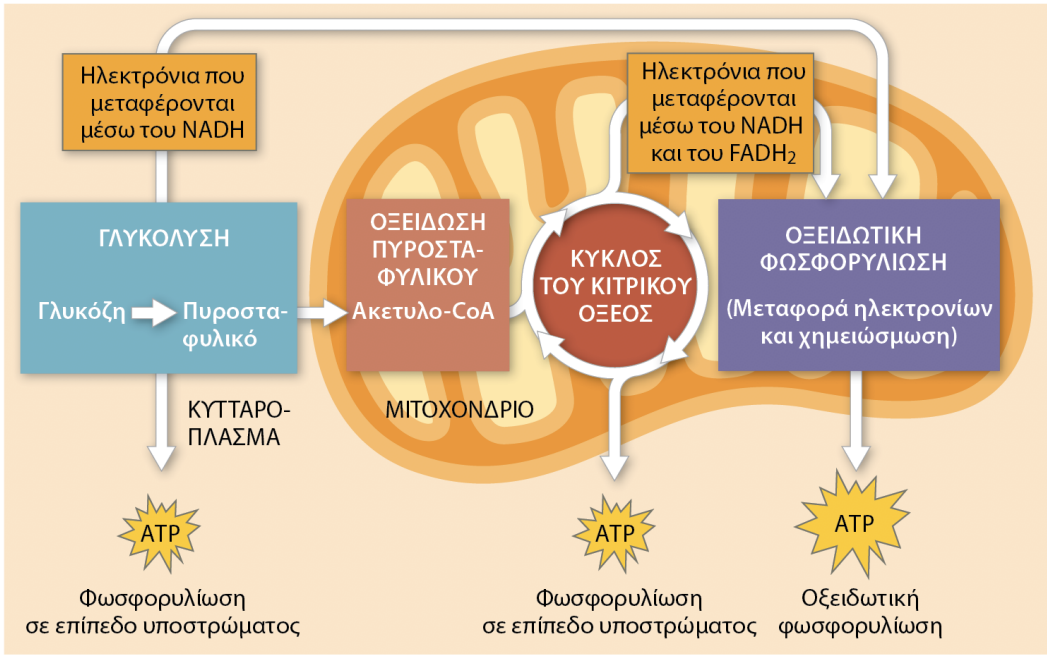
- 1. ΓΛΥΚΟΛΥΣΗ (μπλε χρώμα σε όλο το κεφάλαιο)
- 2. ΟΞΕΙΔΩΣΗ ΤΟΥ ΠΥΡΟΣΤΑΦΥΛΙΚΟΥ (ανοιχτό πορτοκαλί) και ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΚΙΤΡΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ (σκούρο πορτοκαλί)
- 3. ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΦΩΣΦΟΡΥΛΙΩΣΗ: Μεταφορά ηλεκτρονίων και χημειώσμωση (μοβ)

► **Εικόνα 9.5** Επισκόπηση

της **κυτταρικής αναπνοής**.

Κατά τη γλυκόλυση, κάθε μόριο γλυκόζης διασπάται σε δύο μόρια πυροσταφυλικού οξέος. Εδώ παρουσιάζεται η κυτταρική αναπνοή των ευκαρυωτικών κυττάρων, κατά την οποία το πυροσταφυλικό εισέρχεται στο μιτοχόνδριο και οξειδώνεται προς CO₂, μέσω του κύκλου του κιτρικού οξέος. Δύο μεταφορείς ηλεκτρονίων, το NADH και το FADH₂, μεταφέρουν τα ηλεκτρόνια που προέρχονται από τη γλυκόζη σε αλυσίδες μεταφοράς ηλεκτρονίων. Κατά την οξειδωτική φωσφορυλίωση, οι αλυσίδες μεταφοράς ηλεκτρονίων μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε μια μορφή που μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για τη σύνθεση ATP, μέσω του μηχανισμού της χημειώσμωσης. (Στη διάρκεια προηγούμενων σταδίων της κυτταρικής αναπνοής συντίθεται ένας μικρός αριθμός μορίων ATP μέσω ενός μηχανισμού που ονομάζεται φωσφορυλίωση σε επίπεδο υποστρώματος.)

Για μια οπτική επισκόπηση των παραπάνω διεργασιών και τη σχέση τους με τις κυτταρικές λειτουργίες, βλ. Εικόνα 6.32β.



Προεπισκόπηση των σταδίων της κυτταρικής αναπνοής

1. Γλυκόλυση

→ Κυτταρόπλασμα

→ Διάσπαση γλυκόζης σε πυροσταφυλικό οξύ

→ Παραγωγή 2 ATP (σε επιπεδο υποστρωματος- φωσφορική ομάδα από το υπόστρωμα)

2. Κύκλος του κιτρικού οξέος

→ Θεμέλια ουσία των μιτοχονδρίων (ευκαρ), κυτ/σμα (προκαρ)

→ Ολοκλήρωση καταβολισμού γλυκόζης → οξείδωση πυροσταφυλικού → CO₂

→ Παραγωγή 2 ATP (σε επιπεδο υποστρωματος- φωσφορική ομάδα από το υπόστρωμα)

Στα (1) κ (2) → Οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις κ παραγωγή NADH

3. Οξειδωτική φωσφορυλίωση

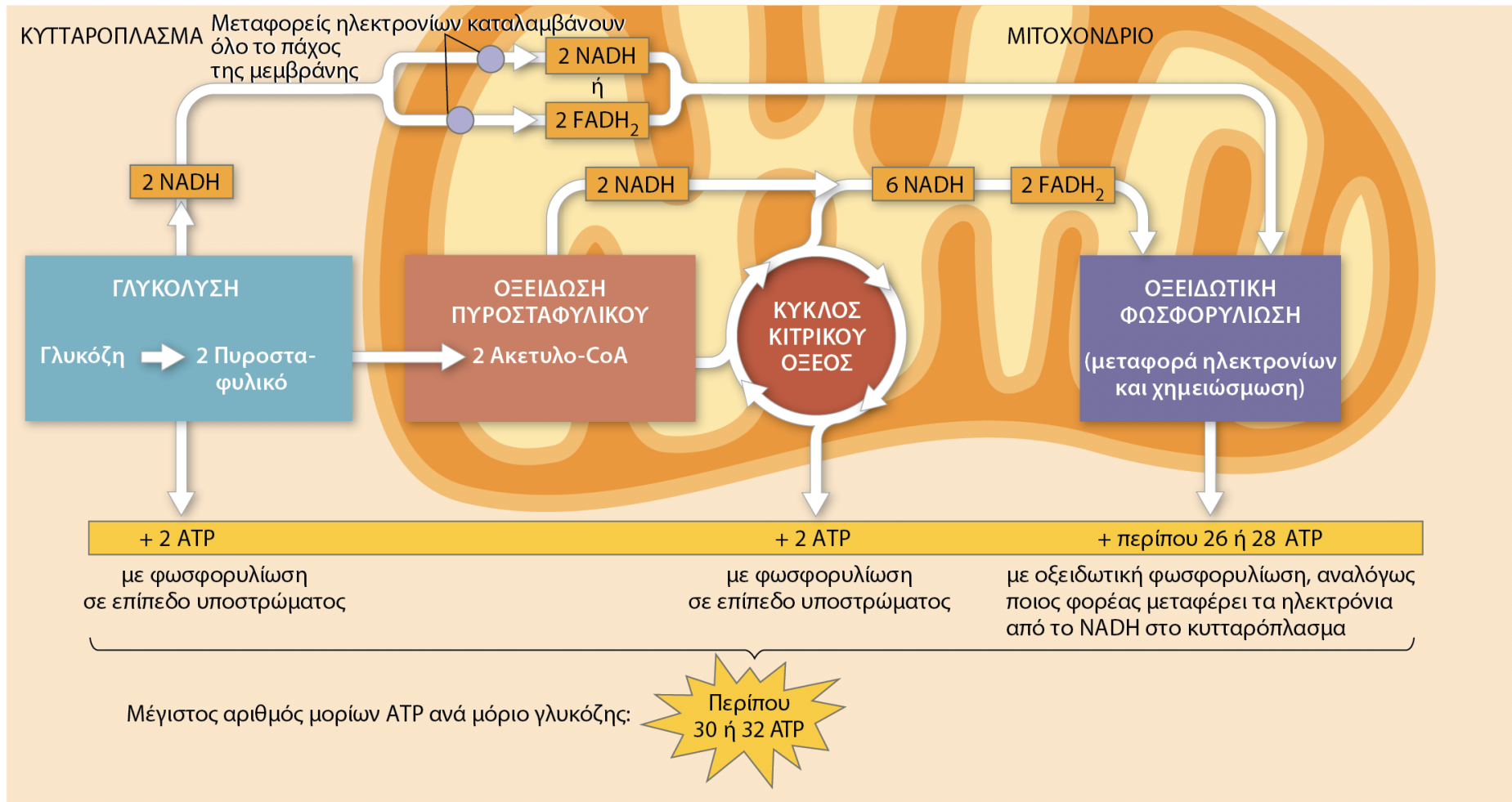
→ Μεταφορά e⁻ (μέσω NADH) στην αλυσίδα μεταφοράς ηλεκτρονίων

→ Αντίδραση e⁻ με O₂ και H⁺ και παραγωγή νερού

→ Αποθήκευση ενέργειας που απελευθερώνεται → παραγωγή ATP

→ 26 ή 28 ATP (φωσφορική ομάδα από το ανόργανο P)

▼ **Εικόνα 9.15** Η παραγωγή ATP ανά μόριο γλυκόζης σε κάθε βήμα της κυτταρικής αναπνοής.

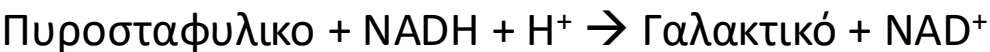


ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Αφού διαβάσετε το κείμενο, εξηγήστε πώς ακριβώς έχει υπολογιστεί το σύνολο των 26 ή 28 μορίων ATP που προκύπτουν από την οξειδωτική φωσφορυλίωση.

Ο τελικός δέκτης ηλεκτρονίων στην αλυσίδα μεταφοράς ηλεκτρονίων κατά την αερόβια οξειδωτική φωσφορυλίωση είναι

- 1. Το οξυγόνο
- 2. Το νερό
- 3. Το NAD⁺
- 4. Το πυροσταφυλικό

Ποιος είναι ο αναγωγικός παράγοντας στην ακόλουθη αντίδραση;



- 1. Το οξυγόνο
- 2. Το NADH
- 3. Το γαλακτικό
- 4. Το πυροσταφυλικό