

Βιολογία

Τμήμα Ωκεανογραφίας και Θαλάσσιων Βιοεπιστημών

Διδάσκουσα: Μεζίτη Αλεξάνδρα

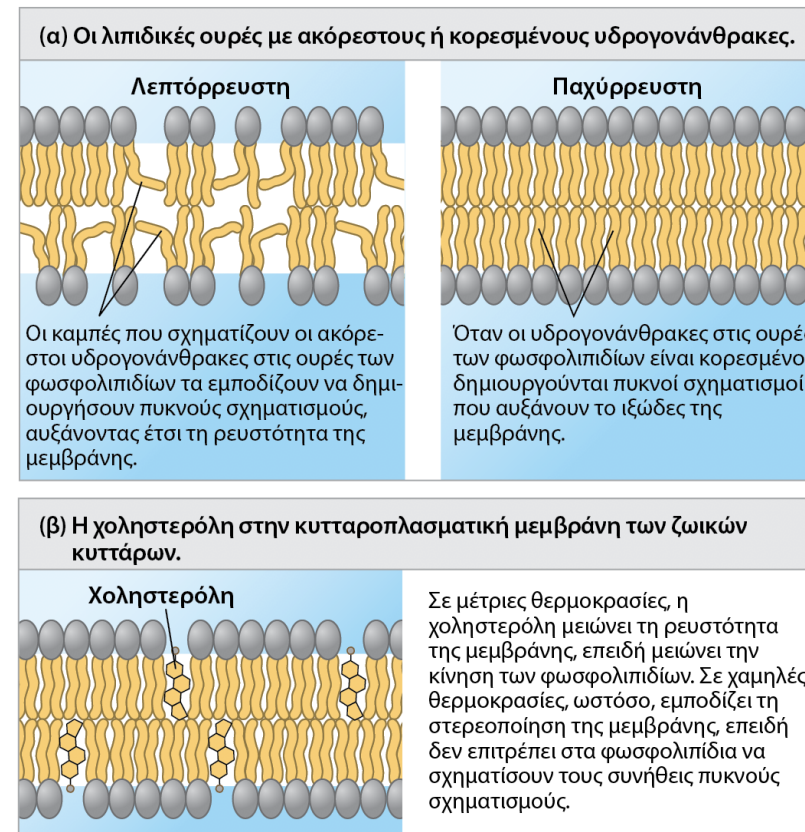
Διάλεξη 13: Επαναληψη (II)

14/01/2026

Ρευστότητα των μεμβρανών

- Οι μεμβράνες δεν είναι στατικές
- Συγκρότηση από υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις (ασθενέστερες από ομοιοπολικούς δεσμούς)
- Δυνατότητα πλάγιας μετακίνησης λιπιδίων κ πρωτεϊνών
- Λιπίδια → αλλαγή θέσης 10^7 φορές το sec
- πρωτεΐνες πιο αργή μετακίνηση → πιο καθοδηγούμενη μετακίνηση (από κινητικές πρωτ. κατά μήκους του κυτταροσκελετού;) ή ακίνητες λόγω πρόσδεσης στον κυτταροσκελετό ή στην θεμέλια ουσία.
- Πτώση θερμοκρασίας → πήξη μεμβρανών (εξαρτάται από το είδος των φωσfolιπιδίων)
- Πολλές ακόρεστες ουρές → πήξη σε χαμηλότερες T από τα φωσfolιπίδια με κορεσμένες ουρές
- Σημασία της χοληστερόλης στην διατήρηση της ρευστότητας
- **Η ρευστότητα είναι απαραίτητη για την σωστή λειτουργία**

▼ **Εικόνα 7.5** Παράγοντες που επηρεάζουν τη ρευστότητα των μεμβρανών.



Η εκλεκτική διαπερατότητα των μεμβρανών οφείλεται στη δομή τους

Εκλεκτική διαπερατότητα: κάποιες ουσίες περνανε πιο εύκολα από άλλες.

Υπάρχει συνέχεια κ από τις δύο κατευθύνσεις μία σταθερή ροή μικρών μορίων κ ιόντων.

Τα μη πολικά μόρια (CO_2 , κ.α.) → εύκολη διέλευση από τη λιπιδική διπλοστιβάδα

Πολικά μόρια (ιόντα, γλυκόζη κ.α.) → δυσκολία διέλευσης, διέλευση με αργό ρυθμό

Φορτισμένα άτομα κ μορια (μαζί με το κέλυφος ενυδάτωσης) → απαγορευτική διέλευση

Μεταφορικές πρωτεΐνες

Διαμεμβρανικές πρωτεΐνες που διευκολύνουν τη διέλευση πολικών κ φορτισμένων μορίων

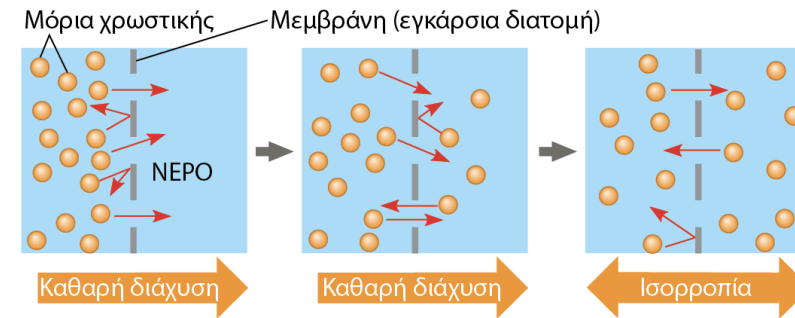
- **Πρωτεΐνες διάυλοι** → **υδρόφιλος** αυλός στο εσωτερικό
- **Υδατοπορίνες** → πρωτεΐνες διάυλοι που επιτρέπουν τη διέλευση του νερού ($3 \cdot 10^9$ μόρια H_2O / sec)
→ 4 πανομοιότυπες πολυπεπτιδικές αλυσίδες
- **Πρωτεΐνες φορείς** → στιγμιαία δέσμευση → αλλαγή δομής κ μεταφορά
- Εξαιρετικά εξειδικευμένες ως προς την ουσία μεταφοράς!!!!
- Ο μεταφορέας της γλυκόζης απορρίπτει ακόμα κ τη φρουκτόζη (συντακτικό ισομερές)

Παθητική μεταφορά: η διαχυση μίας ουσίας διαμέσω της μεμβράνης χωρίς δαπάνη ενέργειας

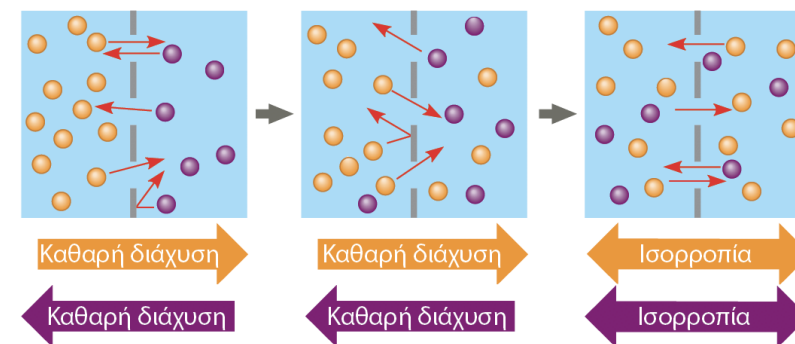
Λόγω της κινητικότητας όλα τα μόρια έχουν θερμική ενέργεια → διάχυση

Η διάχυση πληθυσμού μορίων έχει συγκεκριμένη κατεύθυνση → ίσες συγκεντρώσεις και στις δύο πλευρές της μεμβράνης → δυναμική ισορροπία

!!! Δεν χρειάζεται ενέργεια!!!



(α) **Διάχυση ενός είδους μορίου.** Τα μόρια της χρωστικής μπορούν να περάσουν μέσα από τους πόρους της μεμβράνης. Λόγω της τυχαίας κίνησής τους, μερικά από αυτά θα διέλθουν από τους πόρους. Η διέλευση θα είναι συχνότερη από την πλευρά της μεμβράνης με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση μορίων χρωστικής. Έτσι, η χρωστική θα διαχυθεί από την πλευρά με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση προς την πλευρά με τη μικρότερη συγκέντρωση (δηλαδή, σύμφωνα με τη διαβάθμιση της συγκέντρωσής της). Αυτή η κίνηση θα οδηγήσει σε δυναμική ισορροπία, κατά την οποία τα μόρια της διαλυμένης ουσίας θα εξακολουθούν μεν να περνούν τη μεμβράνη, αλλά με την ίδια περίπου ταχύτητα και προς τις δύο κατευθύνσεις.



(β) **Διάχυση δύο ειδών μορίων.** Δύο διαλύματα, καθένα από τα οποία περιέχει διαφορετική χρωστική, χωρίζονται με μια μεμβράνη διαπερατή από αμφότερες. Κάθε χρωστική θα διαχυθεί σύμφωνα με τη διαβάθμιση της συγκέντρωσής της. Παρότι αρχικά η ολική συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών αριστερά είναι μεγαλύτερη από εκείνη στα δεξιά, τελικά θα υπάρξει καθαρή διάχυση της μοβ χρωστικής προς τα αριστερά.

▲ **Εικόνα 7.11** Διάχυση διαλυμένων ουσιών μέσω μιας τεχνητής μεμβράνης. Τα μεγάλα βέλη κάτω από κάθε διάγραμμα δείχνουν την καθαρή διάχυση των ομόχρωμων μορίων χρωστικής.

Επιδραση της ώσμωσης-Φαινόμενα ώσμωσης σε κύτταρα

Το διάλυμα με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση μορίων που δεν περνάνε μέσα από την μεμβράνη έχει λιγότερο ελεύθερο νερό!!!

Διάχυση νερού από την χαμηλή συγκέντρωση ουσίας (υψηλή συγκέντρωση ελεύθερου νερού) στην υψηλή συγκέντρωση διαλυμένης ουσίας (χαμηλή συγκέντρωση ελεύθερου νερού) → **ΩΣΜΩΣΗ**

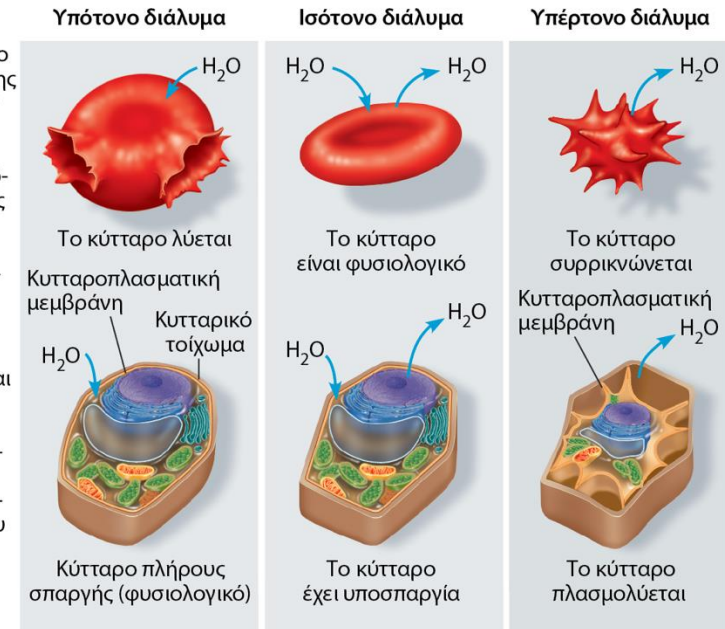
► **Εικόνα 7.13** Η υδατική ισορροπία

Τονικότητα: ικανότητα ενός δ/τος να επάγει την πρόσληψη ή την απώλεια νερού από το κύτταρο, βάσει των C των ουσιών που δεν μπορούν να διαπεράσουν την μεμβράνη

Κύτταρο σε ισότονο διάλυμα → καμία μετακίνηση
Κύτταρο σε υπέρτονο διάλυμα → απώλεια νερού → συρρικνωση → θάνατος
Κύτταρο σε υπότονο διάλυμα → εισαγωγή νερού → διόγκωση → διάρρηξη

(α) Ζωικά κύτταρα. Τα ζωικά κύτταρα, όπως το ερυθρό αιμοσφαίριο της εικόνας, δεν διαθέτουν κυτταρικό τοίχωμα· λειτουργούν καλύτερα όταν βρίσκονται σε ισότονο περιβάλλον, εκτός αν διαθέτουν ειδικές προσαρμογές που εξισορροπούν την ωσμωτική πρόσληψη ή την απώλεια νερού.

(β) Φυτικά κύτταρα. Τα φυτικά κύτταρα είναι πλήρους σπαργής και συνήθως λειτουργούν καλύτερα όταν βρίσκονται σε υπότονο περιβάλλον. Σε τέτοιες συνθήκες, η πρόσληψη του νερού εξισορροπείται τελικά από την πίεση του τοιχώματος πάνω στο κύτταρο.



Διευκολυνόμενη διάχυση

Διάχυση με την βοήθεια
μεταφορικών
Πρωτεϊνών

Πρωτεΐνες δίαυλοι

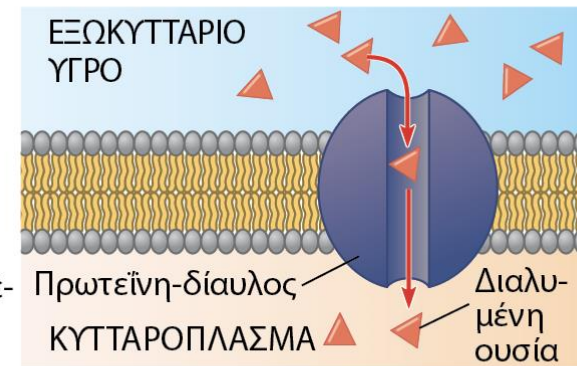
- π.χ. Υδατοπορίνες → μαζική διάχυση νερού (ώσμωση)
- Ελεγχόμενοι δίαυλοι: πύλες που ανοίγουν κ κλείνουν σύμφωνα με ερεθίσματα

Πρωτεΐνες φορείς

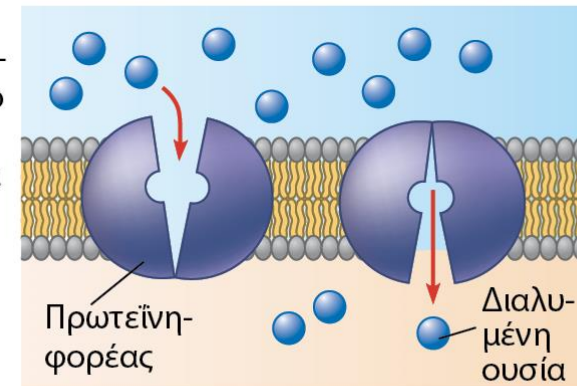
- Αλλαγές στην στερεοδιαμόρφωση και μετακίνηση της θέσης δέσμευσης στην άλλη πλευρά της πρωτεΐνης

▼ **Εικόνα 7.15** Η διευκολυνόμενη διάχυση επιτελείται από δύο είδη μεταφορικών πρωτεϊνών. Και στις δύο περιπτώσεις, η πρωτεΐνη μπορεί να μεταφέρει τη διαλυμένη ουσία προς οποιαδήποτε κατεύθυνση· ωστόσο, η καθαρή μετακίνηση της ουσίας καθορίζεται τελικά από τη διαβάθμιση της συγκέντρωσής της.

(α) Η πρωτεΐνη-δίαυλος φέρει στο εσωτερικό της ένα «κανάλι» από το οποίο μπορούν να περάσουν μόρια νερού και ορισμένες διαλυμένες ουσίες.



(β) Η πρωτεΐνη-φορέας εναλλάσσεται μεταξύ δύο διαμορφώσεων. Κατά τη διάρκεια αυτής της εναλλαγής μεταφέρει τη διαλυμένη ουσία διαμέσου της μεμβράνης.



Ενεργητική μεταφορά: η μεταφορά διαλυμένων ουσιών αντίθετα με τη διαβάθμιση απαιτεί ενέργεια

Η διαμεμβρανική μεταφορά αντίθετα από τη διαβάθμιση της C απαιτεί εργο → ενεργητική μεταφορά

Οι πρωτεΐνες στην ενεργητική μεταφορά είναι όλες φορείς και όχι δίαυλοι!!!

Η ενεργητική μεταφορά δίνει στα κύτταρα τη δυνατότητα να διατηρούν διαφορετικές συγκεντρώσεις στο ενδοκυττάριο περ/λον συγκριτικά με το εξωκυτταριο

Το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειας έρχεται από την υδρόλυση του ATP

Οι αντλίες ιόντων και ο ρόλος τους στη διατήρηση του δυναμικού της μεμβράνης

Όλα τα κύτταρα παρουσιάζουν διαφορά δυναμικού ανάμεσα στις δύο πλευρές της μεμβράνης

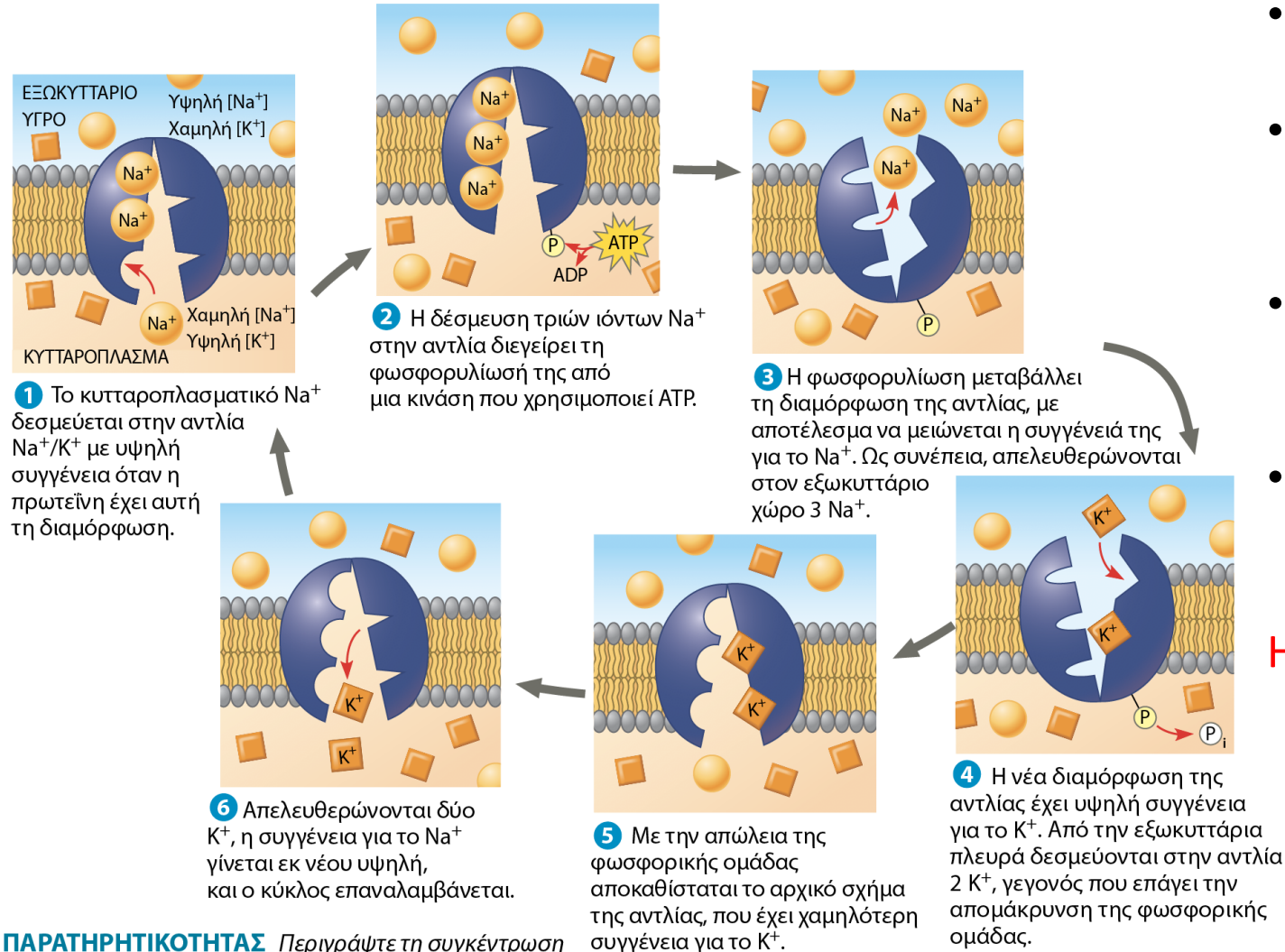
Κυτ/σμα αρνητικά φορτισμένο συγκριτικά με εξωκυττάριο υγρο

Δυναμικό μεμβράνης ή μεμβρανικό δυναμικό: -50/ -200 mV (λειτουργεί σαν μπαταρία)

Η αρνητική τιμή σημαίνει ότι ευνοείται η παθητική μεταφορά κατιόντων (+) μέσα στο κυτταρο.

Η διάχυση λοιπόν δεν καθορίζεται μόνο από την C αλλά **συνολικά από την ηλεκτροχημική διαβάθμιση.**

▼ **Εικόνα 7.16 Η αντλία Na^+/K^+ : Μια ειδική περίπτωση ενεργητικής μεταφοράς.** Η αντλία Na^+/K^+ είναι ένα σύστημα μεταφοράς, ικανό να μετακινεί ιόντα αντίθετα προς τη διαβάθμιση της συγκέντρωσής τους. Η αντλία λαμβάνει εναλλάξ δύο διαμορφώσεις, και μέσω αυτών των μεταβολών μεταφέρει Na^+ από το εσωτερικό του κυττάρου προς τα έξω (στάδια 1–3), και K^+ από το εξωτερικό του κυττάρου στο εσωτερικό του (στάδια 4–6). Οι δύο διαμορφώσεις έχουν διαφορετική συγγένεια δέσμευσης για το Na^+ και το K^+ . Η ενέργεια που απαιτείται για τις μεταβολές της στερεοδιαμόρφωσης της αντλίας προέρχεται από την υδρόλυση της ATP, και συγκεκριμένα από τη μεταφορά μιας φωσφορικής ομάδας της ATP στην αντλία (δηλαδή από τη φωσφορυλίωση της μεταφορικής πρωτεΐνης).



- Μεταφορά ιόντων με κατανάλωση ενέργειας
- Αντλία Na^+/K^+ : Μαζική εξαγωγή 3 Na^+ και ταυτόχρονη εισαγωγή 2 K^+ .
- Καθαρή μεταφορά θετικού φορτίου προς τον εξωκυττάριο χώρο.
- Ηλεκτρογόνος αντλία: μεταφορική πρωτεΐνη που παραγει διαφορά δυναμικού.

Η κύρια αντλία στα ζωικά κύτταρα

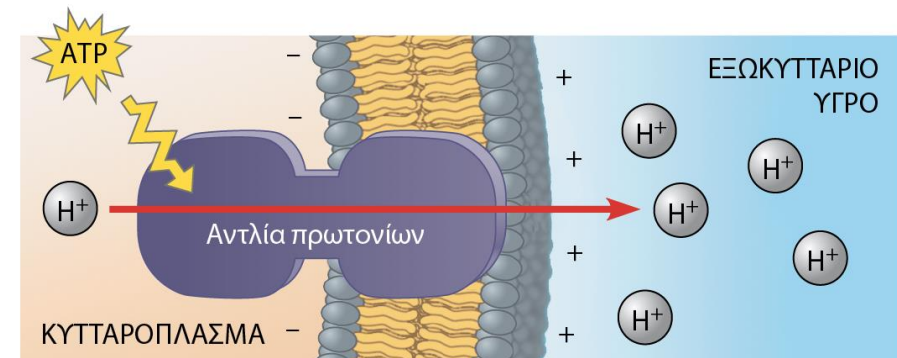
ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Περιγράψτε τη συγκέντρωση κάθε ιόντος (Na^+ και K^+) εντός και εκτός κυττάρου. Πόσα ιόντα Na^+ μεταφέρονται έξω από το κύτταρο και πόσα ιόντα K^+ μεταφέρονται στο εσωτερικό του σε κάθε κύκλο λειτουργίας της αντλίας Na^+/K^+ ;

Αντλίες πρωτονίων

- Στα φυτά, τους μύκητες και τα βακτήρια οι κύριες αντλίες είναι οι αντλίες πρωτονίων
- Μεταφορά (με κατανάλωση ενέργειας ιόντων H^+ έξω από το κύτταρο) → γιατί χρειάζεται ενέργεια;
- Με τη δημιουργία διαφοράς δυναμικού οι ηλεκτρογονες αντλίες αποθηκεύουν ενέργεια και βοηθούν στη σύνθεση ATP

CAMPBELL, **ΒΙΟΛΟΓΙΑ** (12^η έκδ.), ΠΕΚ 2023, www.cup.gr

▼ **Εικόνα 7.18** Μια αντλία πρωτονίων. Η αντλία πρωτονίων είναι μια ηλεκτρογόνος αντλία που αποθηκεύει ενέργεια δημιουργώντας διαφορά δυναμικού (διαχωρισμό φορτίου) ανάμεσα στις δύο πλευρές της μεμβράνης: μεταθέτει δε θετικά φορτία, και πιο συγκεκριμένα ιόντα υδρογόνου (πρωτόνια, H^+). Οι δύο αυτές πηγές ενέργειας, δηλαδή η διαφορά δυναμικού και η διαβάθμιση της συγκέντρωσης των H^+ , μπορούν να τροφοδοτήσουν ενεργειακά άλλες διεργασίες, π.χ. την πρόσληψη θρεπτικών συστατικών. Για τη λειτουργία τους, οι περισσότερες αντλίες πρωτονίων τροφοδοτούνται ενεργειακά από την υδρόλυση της ATP. (Βλ. Εικόνα 6.32α.)

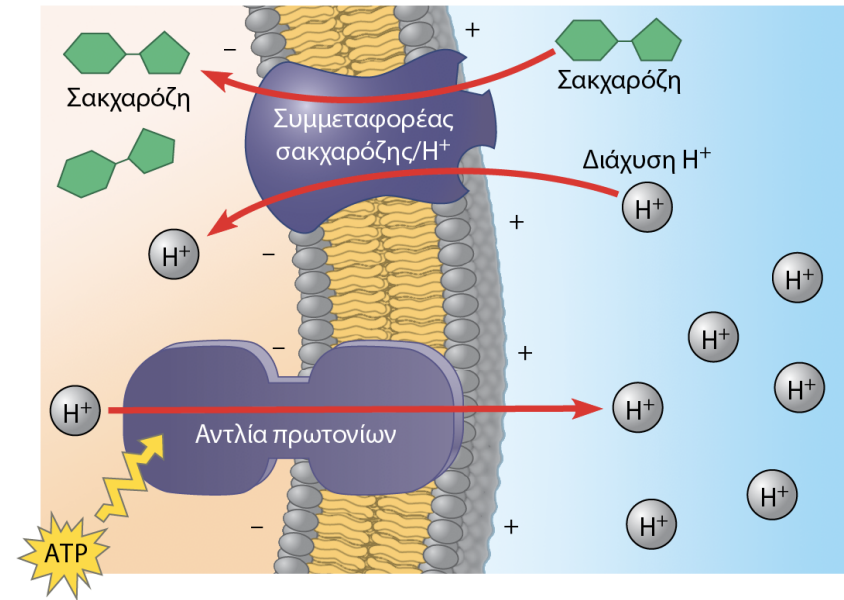


Συμμεταφορά

Όταν μία ουσία διαχέεται κατά τη διαβάθμιση της συγκέντρωσής της παράγει έργο.

Αυτό το έργο μπορεί να συζευχθεί με την μεταφορά άλλης ουσίας αντίθετα από την διαβάθμιση → συμμεταφορά

Συμμεταφορά σακχαρόζης (αντίθετα από την διαβάθμιση) με ενέργεια από την διάχυση H^+ η οποία συντηρείται από την διαβάθμιση που έχουν προκαλέσει οι αντλίες H^+ .



▲ **Εικόνα 7.19** Συμμεταφορά: Ενεργητική μεταφορά τροφοδοτούμενη ενεργειακά από μια διαβάθμιση συγκέντρωσης. Μια πρωτεΐνη-φορέας, όπως αυτός ο συμμεταφορέας σακχαρόζης/ H^+ σε ένα φυτικό κύτταρο, έχει την ικανότητα να αξιοποιεί τη διάχυση του H^+ προς το εσωτερικό του κυττάρου (καθώς αυτό ακολουθεί τη διαβάθμιση της συγκέντρωσής του) προκειμένου να καθοδηγεί την πρόσληψη της σακχαρόζης. (Εδώ το κυτταρικό τοίχωμα δεν παρουσιάζεται.) Στο κάτω μέρος της εικόνας παρουσιάζεται επίσης μια ATP-τροφοδοτούμενη αντλία πρωτονίων, η οποία, αν και τεχνικά δεν αποτελεί συστατικό μέρος του μηχανισμού συμμεταφοράς, συγκεντρώνει πρωτόνια εκτός κυττάρου. Η προκύπτουσα διαβάθμιση συγκέντρωσης των H^+ αντιπροσωπεύει ένα δυναμικό ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενεργητική μεταφορά ουσιών – εν προκειμένω, της σακχαρόζης. Επομένως, η υδρόλυση της ATP παρέχει εμμέσως την απαραίτητη ενέργεια για τη συμμεταφορά.

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

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

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

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

ΔS : αλλαγή της εντροπίας

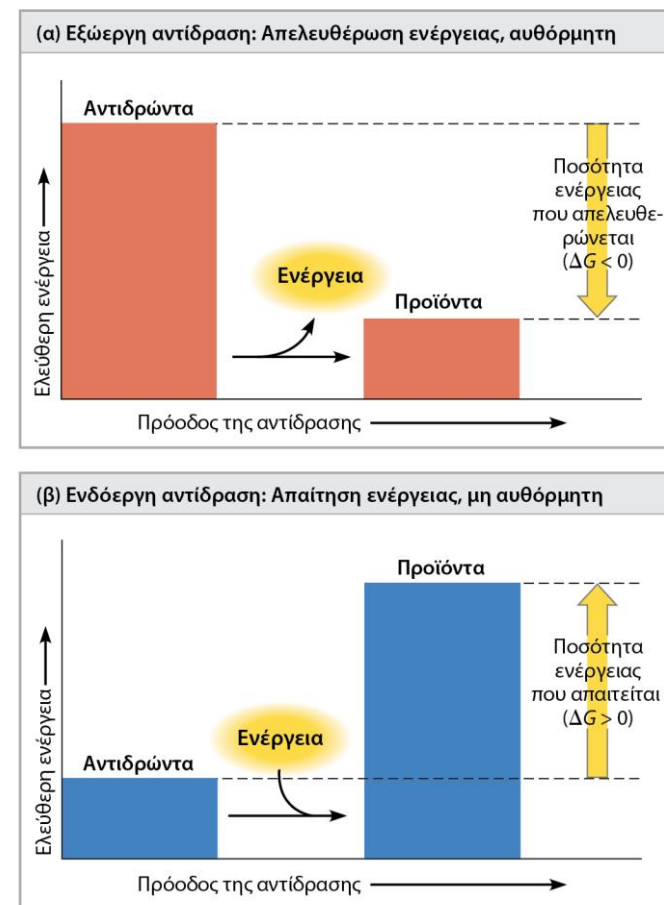
T: απόλυτη θερμοκρασία σε K (Kelvin) $\rightarrow$ $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$

Αυθόρμητες αντιδράσεις $\rightarrow \Delta G < 0$

Ενέργεια: η ικανότητα εκτέλεσης έργου (kJ)

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

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



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

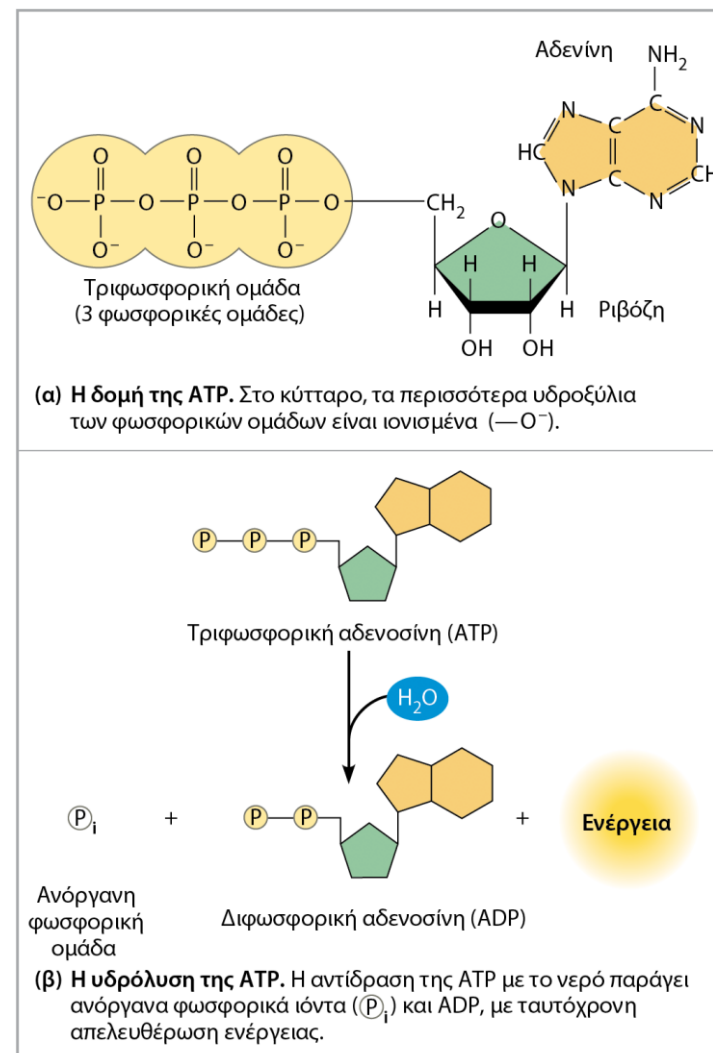
Η ATP τροφοδοτεί ενεργειακά τις κυτταρικές λειτουργίες, συζευγνυοντας τις εξώεργες με τις ενδόεργες αντιδράσεις

Τα κύτταρα επιτελούν τριών ειδών έργο

1. Χημικό έργο: παροχή ενέργειας στις ενδόεργες αντιδράσεις για την πραγματοποίηση 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

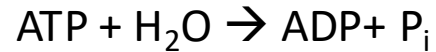
!!!! Συνήθως ο ρόλος αυτός επιτελείται απο το ATP !!!!



▲ **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

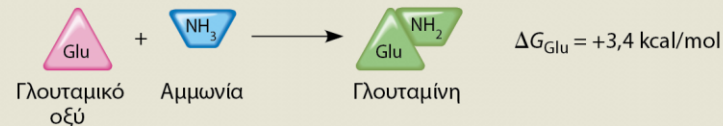
Διάσπαση δεσμών ATP με υδρόλυση



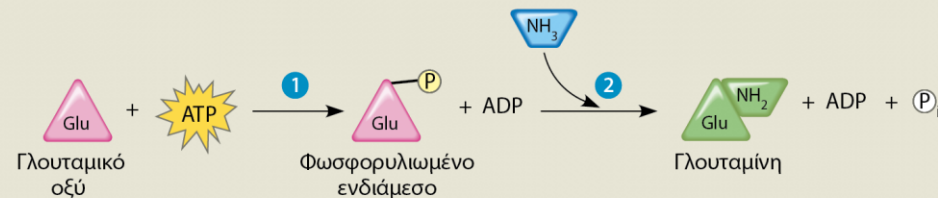
$$\Delta G < 0$$

▼ **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.

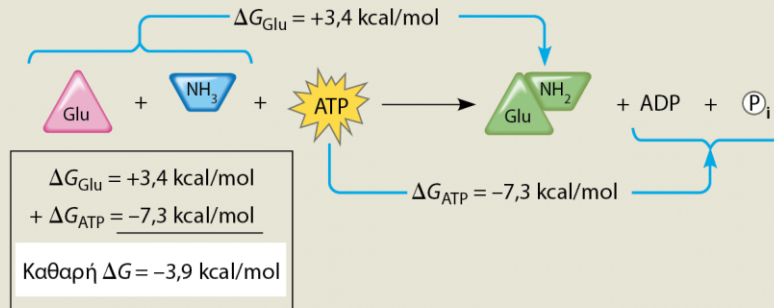
(α) **Μετατροπή του γλουταμικού οξέος σε γλουταμίνη.** Η αντίδραση σύνθεσης της γλουταμίνης από γλουταμικό οξύ (Glu) είναι καθαυτή ενδόεργη (η ΔG είναι θετική) και, επομένως, μη αυθόρμητη.



(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.



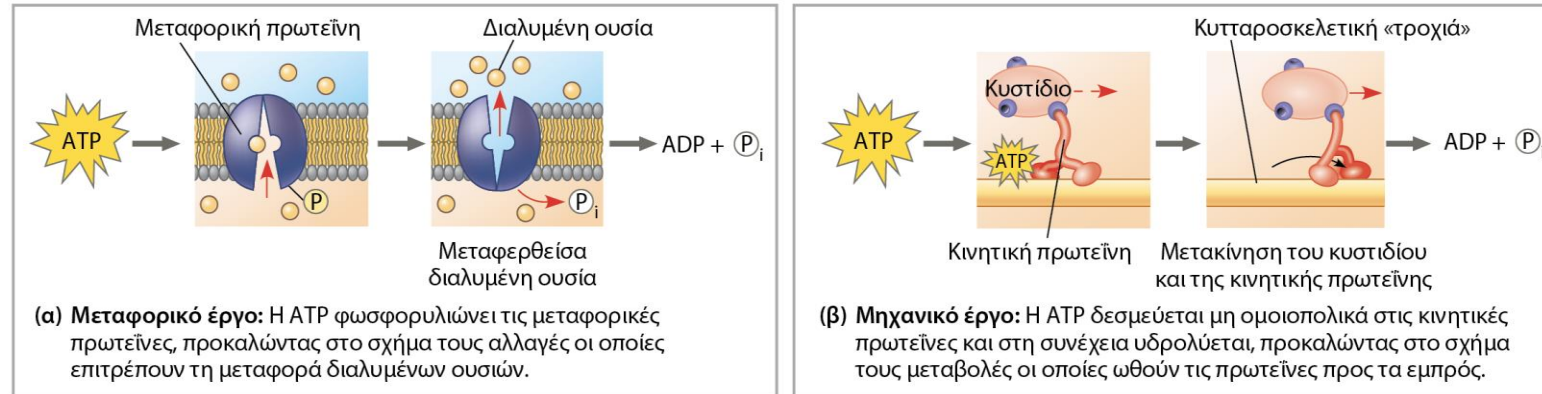
(γ) **Συνολική μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας για τη συζευγμένη αντίδραση.** Το άθροισμα της ΔG για τη μετατροπή του γλουταμικού οξέος σε γλουταμίνη (+3,4 kcal/mol) και της ΔG για την υδρόλυση της ATP (-7,3 kcal/mol) δίνει τη μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας για τη συνολική αντίδραση (-3,9 kcal/mol).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



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

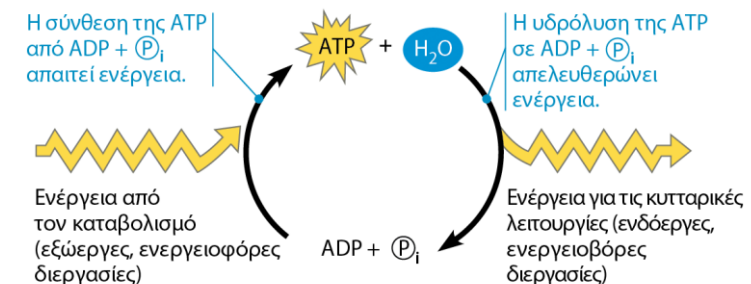
Τροφοδότηση από ATP και αναγέννηση της ATP



▲ **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 οργανίδια) 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 αναγεννιάται η ATP. Οι περισσότερες κυτταρικές λειτουργίες τροφοδοτούνται ενεργειακά από τη χημική δυναμική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στην ATP.

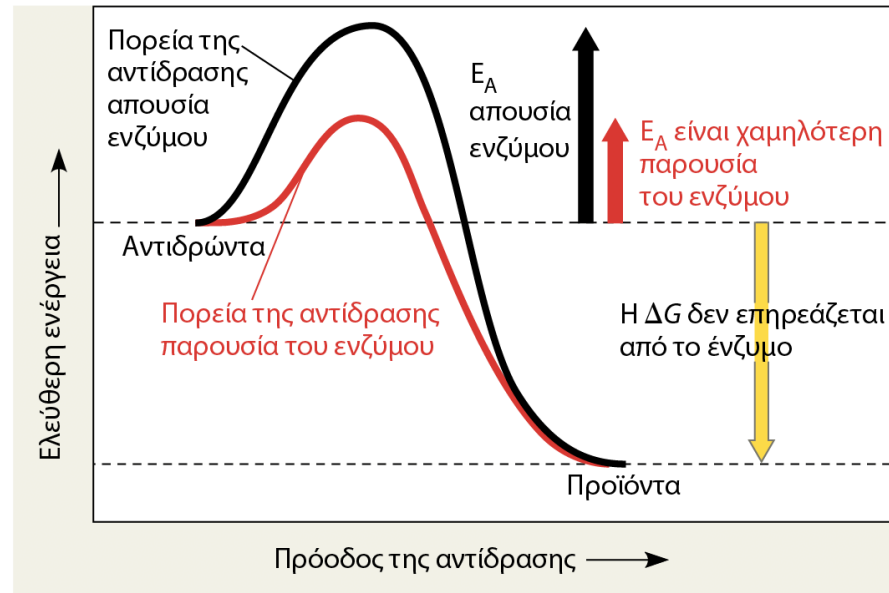


Τα ένζυμα επιταχύνουν τις μεταβολικές αντιδράσεις χαμηλώνοντας τους ενεργειακούς φραγμούς

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 8.14** 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).



Τα ένζυμα επιταχύνουν τις μεταβολικές αντιδράσεις χαμηλώνοντας τους ενεργειακούς φραγμούς

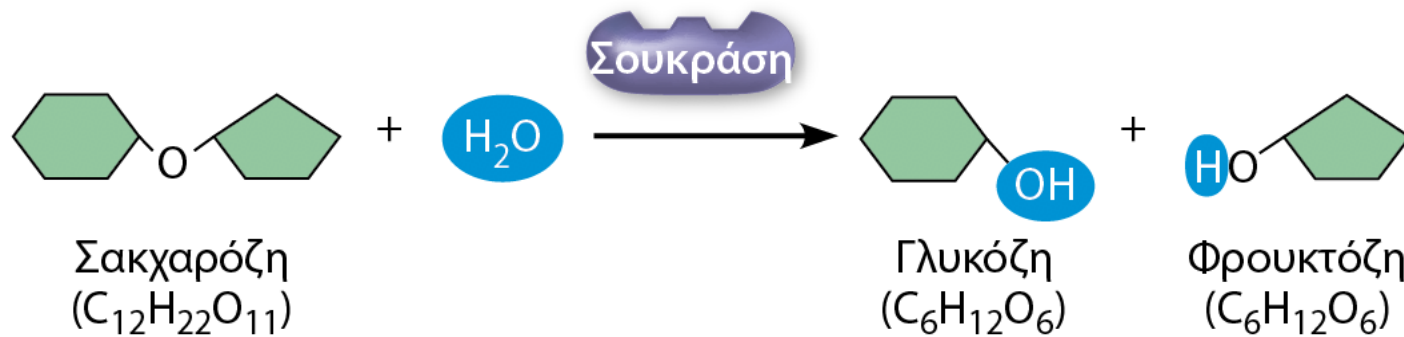
Ένζυμο: μακρομόριο που δρα ως καταλύτης, χημικός παράγοντας που επιταχύνει μια χημική αντίδραση χωρίς να καταναλώνεται

→ Κυρίως πρωτεΐνες

→ Μερικές φορές και κάποια μόρια RNA (ριβοένζυμα)

Υδρόλυση σακχαρόζης → εξώεργη

Σε Τ δωματιου → χρόνος υδρόλυσης → μερικά χρόνια



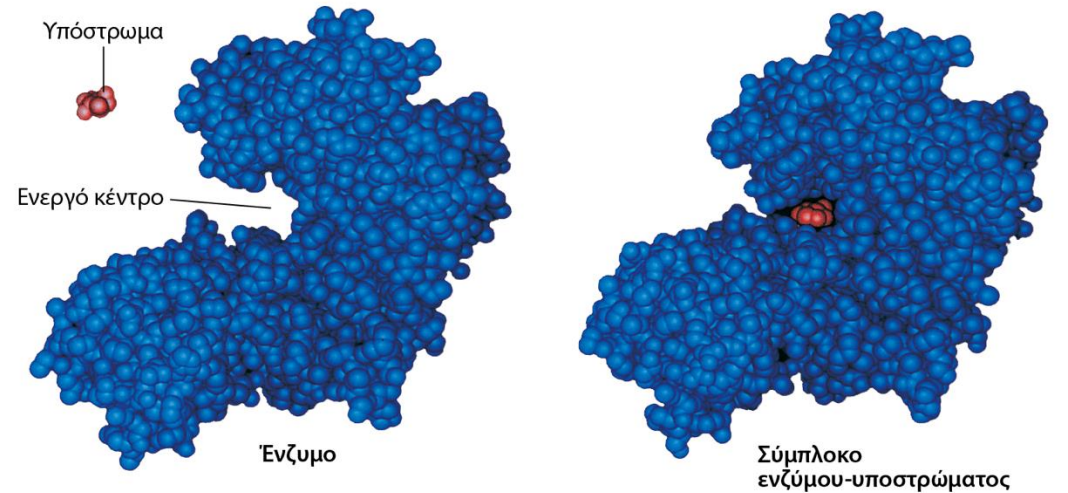
Εξειδίκευση των ενζύμων ως προς το υπόστρωμα

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.



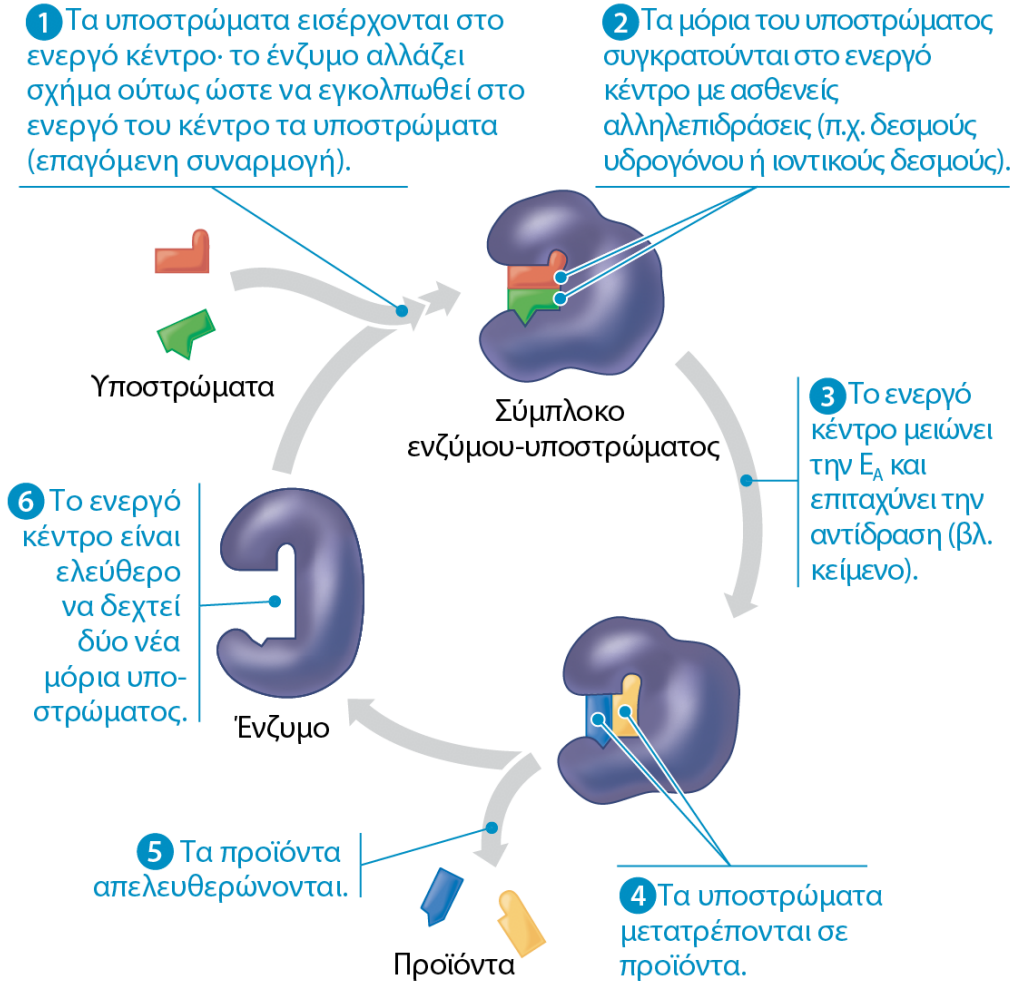
(α) Σε αυτό το χωροπληρωτικό μοντέλο του ενζύμου εξοκινάση (μπλε), το ενεργό κέντρο σχηματίζει μια κοιλότητα στην επιφάνεια. Το υπόστρωμα του ενζύμου είναι ένα μόριο γλυκόζης (κόκκινο).

(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

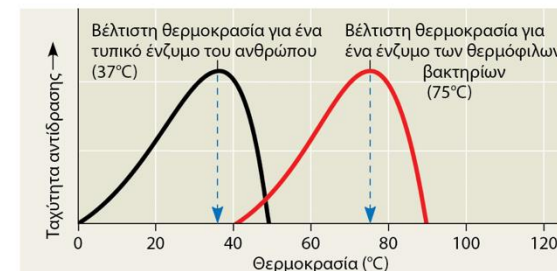
2. Συμπαράγοντες

- Μη πρωτεϊνικές ουσίες → βοηθητική δράση σε διεργασίες
- Μονιμα συνδεδεμενοι ή χαλαρή κ αντιστρεπτη σύνδεση
- Ανόργανοι → Zn, Cu, Fe
- Οργανικοί → συνενζυμα (π.χ. βιταμίνες)

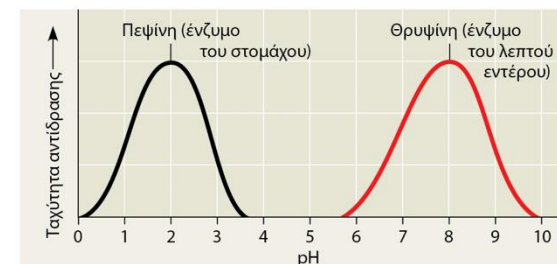
3. Αναστολείς ενζύμων

- 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 ευδοκούν 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

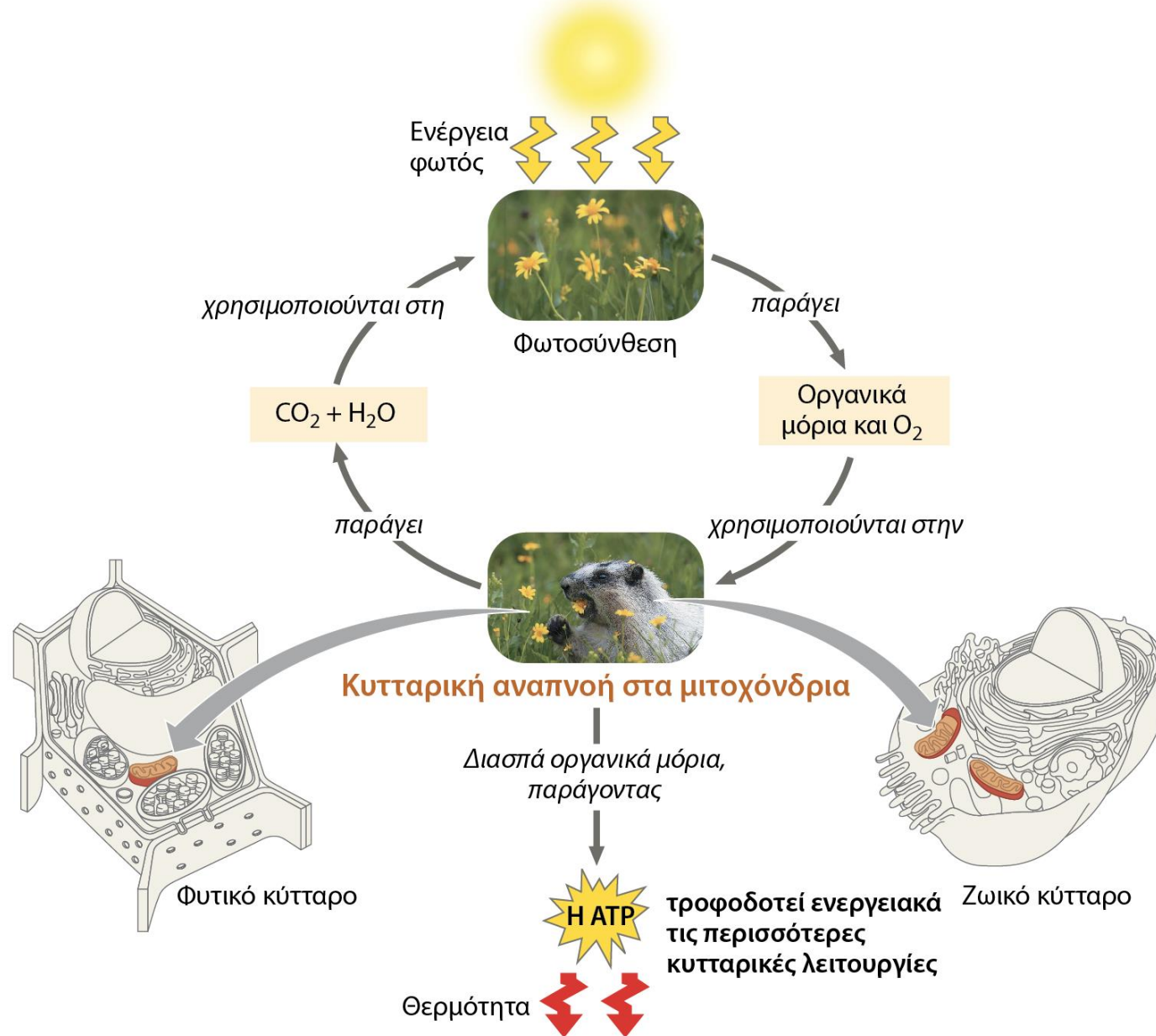


Στο διάλυμα της θεμέλιας ουσίας (μήτρας) υπάρχουν ένζυμα που συμμετέχουν στο δεύτερο στάδιο της κυτταρικής αναπνοής.

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

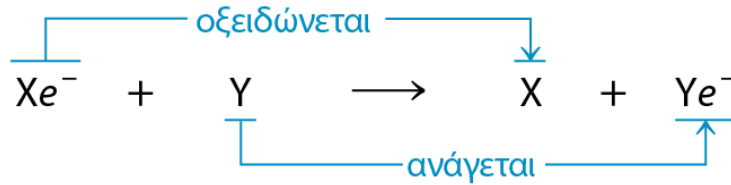
▲ **Εικόνα 8.22** Οργανίδια και δομική οργάνωση στον μεταβολισμό. Τα οργανίδια, όπως τα μιτοχόνδρια της εικόνας (ΗΜΔ), περιέχουν ένζυμα που επιτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες – εν προκειμένω, το δεύτερο και το τρίτο στάδιο της κυτταρικής αναπνοής. (Βλ. επίσης Εικόνα 6.32β, κάτω αριστερά.)

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

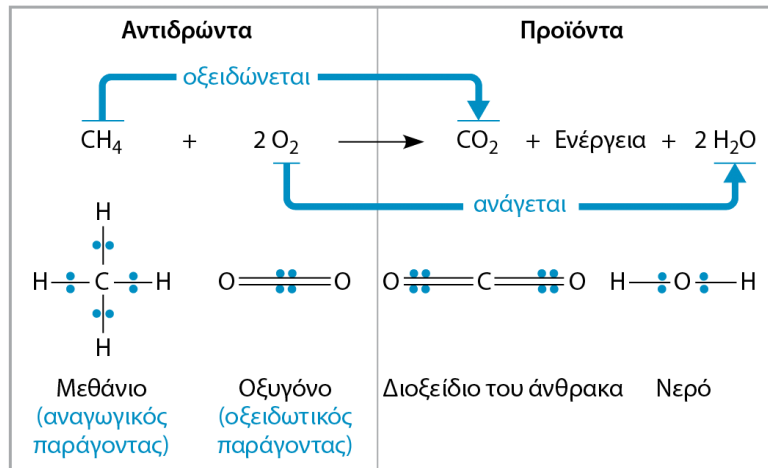


Οι καταβολικές οδοί οξειδώνουν οργανικά μόρια κ αποδίδουν ενέργεια

Οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις → οξείδωση κ 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.



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

Η απώλεια ηλεκτρονίων ονομάζεται οξείδωση
Η προσθήκη ηλεκτρονίων ονομάζεται αναγωγή

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

Οι καταβολικές οδοί οξειδώνουν οργανικά μόρια κ αποδίδουν ενέργεια

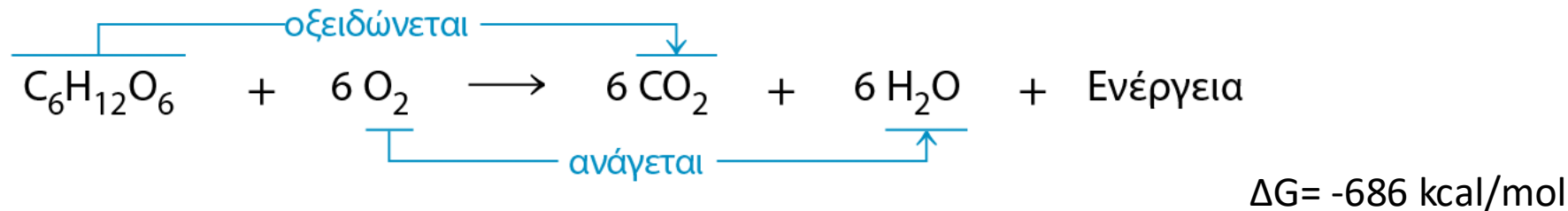
Οι οργανικές ενώσεις έχουν *δυναμική* ενέργεια λόγω της διάταξης των ηλεκτρονίων στους δεσμούς μεταξύ των ατόμων τους

Καταβολικές οδοί και παραγωγή ATP

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

2. Αερόβια αναπνοή: η πιο αποτελεσματική καταβολική οδός → αποικοδόμηση οργανικών ενώσεων κ **χρήση οξυγόνου**

→ Σχεδόν όλα τα ευκαρυωτικά κύτταρα κ πολλοι προκαρυώτες



3. Αναερόβια αναπνοή: ορισμένοι προκαρυώτες χρησιμοποιούν άλλους δέκτες ηλεκτρονίων εκτός από οξυγόνο

Κυτταρική αναπνοή: συμπερίληψη αερόβιων κ αναερόβιων διεργασιών

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 καυσίμο

→ πλούσια πηγή e^- υψηλής ενέργειας

→ μεταφορά e^- στο O_2

→ πτώση σε χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη κ απελευθέρωση ενέργειας

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

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

Ανεξέλεγκτες αντιδράσεις $\rightarrow$ βίαιη απελευθέρωση ενέργειας

Αλλά οι αντιδράσεις στην κυτταρική αναπνοή είναι ελεγχόμενες

$\rightarrow$ Σειρά αντιδράσεων ελεγχόμενων από ένζυμα

$\rightarrow$ Σταδιακή αφαίρεση e^- , και μεταφορά τους μαζί με πρωτόνια (H^+)

$\rightarrow$ Όχι απευθείας μεταφορά στο οξυγόνο αλλά σε ενδιάμεσο φορέα ($\text{NAD}^+ \rightarrow \text{NADH}$)

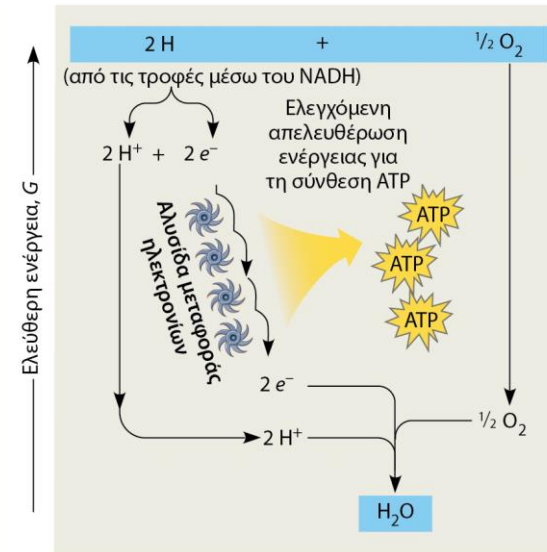
$\rightarrow$ Δράση αφυδρογονασών για την απομάκρυνση H από το καύσιμο

Μεταφορά e^- στο κύτταρο $\rightarrow$ ελεγχόμενα στάδια για την πτώση της ενέργειας των e^- από τό 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.

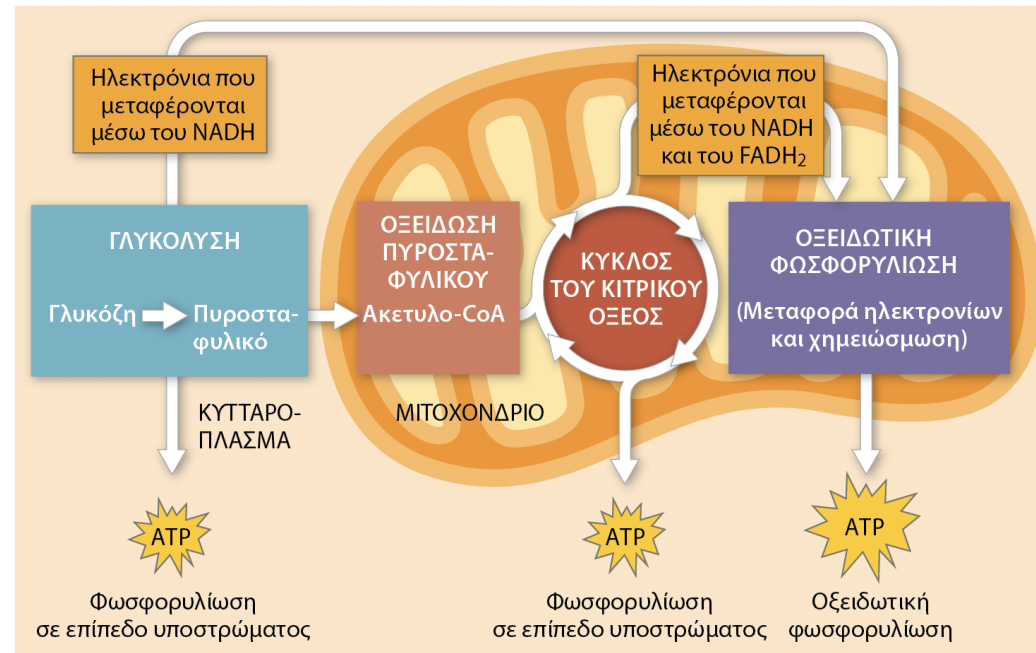
Προεπισκόπηση των σταδίων της κυτταρικής αναπνοής

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 CO_2 , μέσω του κύκλου του κιτρικού οξέος. Δύο μεταφορείς ηλεκτρονίων, το NADH και το FADH_2 , 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 επίπεδο υποστρωματος- φωσφορική ομάδα από το υπόστρωμα)

2. Κύκλος του κιτρικού οξέος

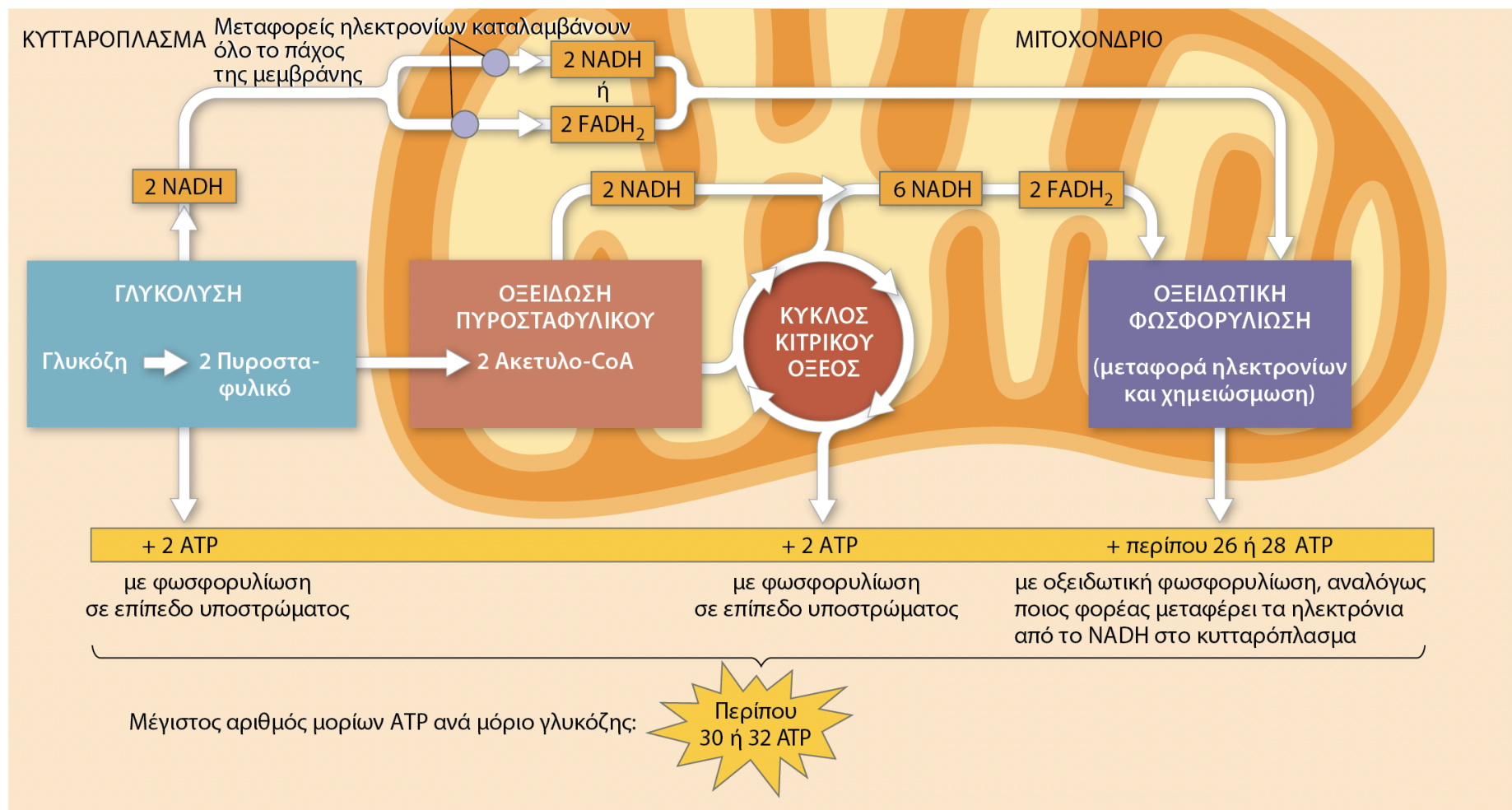
- Θεμέλια ουσία των μιτοχονδρίων (ευκαρ), κυτ/σμα (προκαρ)
- Ολοκλήρωση καταβολισμού γλυκόζης → οξείδωση πυροσταφυλικού → CO₂
- Παραγωγή 2 ATP (σε επίπεδο υποστρωματος- φωσφορική ομάδα από το υπόστρωμα)

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.

Κατά την Γλυκόλυση συγκομίζεται χημική ενέργεια μέσω της οξείδωσης της γλυκόζης σε πυροσταφυλικό

Γλυκόλυση → λύση της γλυκόζης σε δύο τρισακχαρίτες → Οξείδωση κ αναδιάταξη σε δύο μόρια πυροσταφυλικού

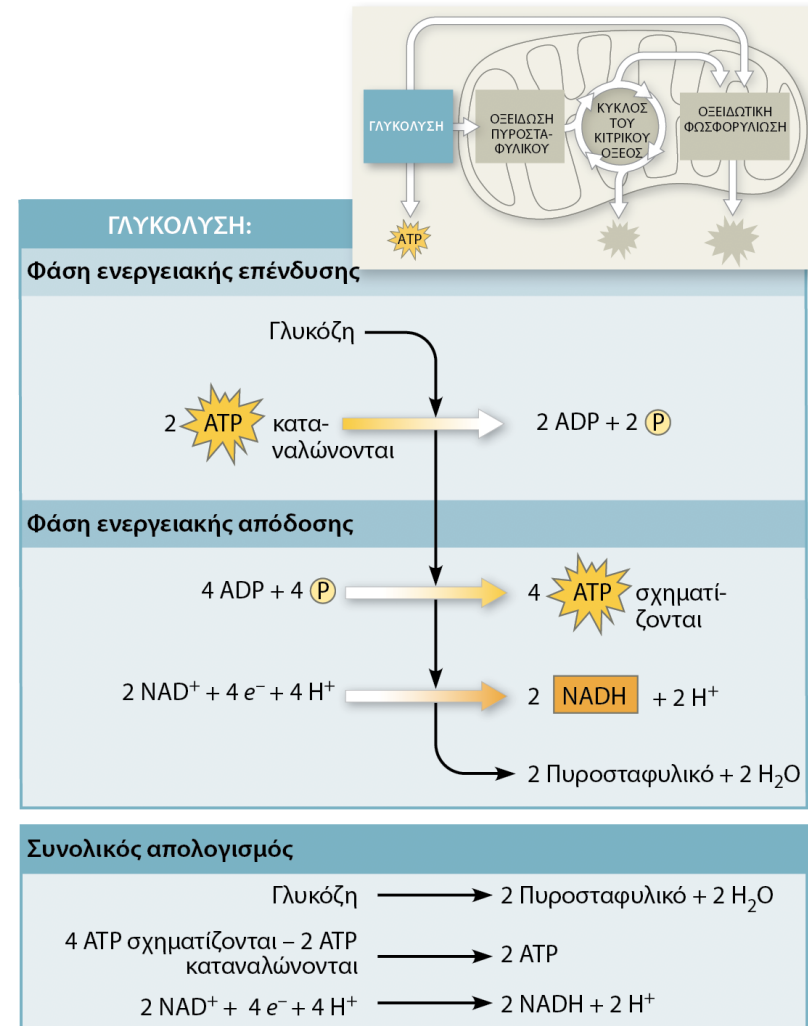
Επένδυση ενέργειας κ εξόφληση « με τόκο »

Τελική προσφορά 2 ATP κ 2 NADH

→ Όλοι οι ανθρακες καταλήγουν στα πυροσταφυλικά κ δεν απελευθερώνεται CO₂

→ **Η αντίδραση πραγματοποιείται ανεξάρτητα της παρουσίας O₂!!!!**

▼ **Εικόνα 9.7** Τι καταναλώνεται και τι παράγεται κατά τη γλυκόλυση.



Μετά την οξείδωση του πυροσταφυλικού, η συγκομιδή ενέργειας ολοκληρώνεται με την οξείδωση οργανικών οξέων στον κύκλο του κιτρικού οξέως

Οξείδωση του πυροσταφυλικού σε ακετυλο-CoA

Εισαγωγή πυροσταφυλικού στα μιτοχόνδρια με ενεργητική μεταφορά

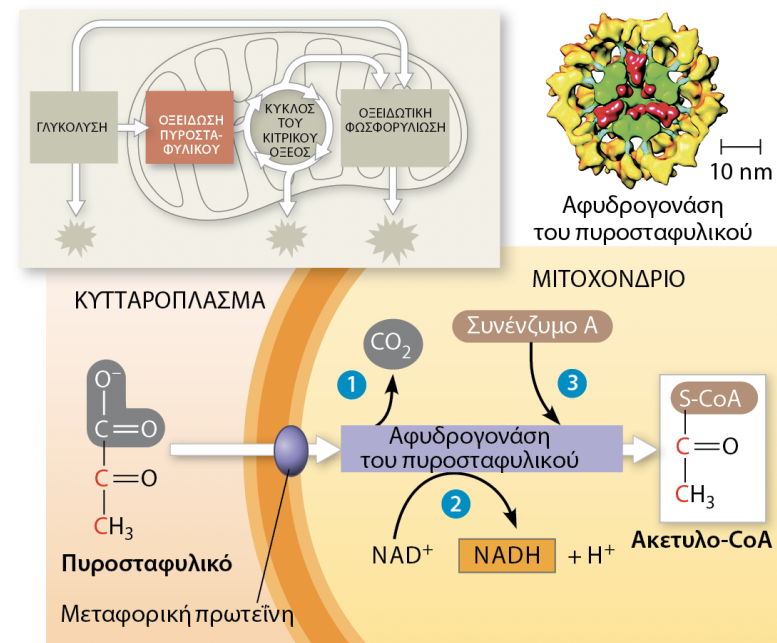
Συνδετικός κρίκος γλυκόλυσης με τον κύκλο του κιτρικού οξέος

Κατάλυση από πολυενζυμικό σύμπλοκο

Παραγωγή ενός NADH αλλά και ακετυλο-CoA → πολύ πλούσιο σε δυναμική ενέργεια

Μεταφορά ακετυλομάδας στον κύκλο του κιτρικού οξέως → εξώεργη αντίδραση

▼ **Εικόνα 9.9** Η οξείδωση του πυροσταφυλικού σε ακετυλο-CoA είναι το βήμα που γίνεται πριν από τον κύκλο του κιτρικού οξέος. Το μόριο του πυροσταφυλικού εισέρχεται στο μιτοχόνδριο μέσω μιας μεταφορικής πρωτεΐνης και υφίσταται επεξεργασία από ένα σύμπλοκο ενζύμων, τη λεγόμενη αφυδρογονάση του πυροσταφυλικού (η εικόνα στο ένθετο έχει δημιουργηθεί σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, βάσει τομών που έχουν ληφθεί με ηλεκτρονική κρυσταλλογραφία). Το εν λόγω σύμπλοκο καταλύει τα τρία αριθμημένα στάδια που περιγράφονται αναλυτικά στο κείμενο. Το μόριο του CO_2 θα διαχυθεί εκτός κυττάρου. Το NADH θα χρησιμοποιηθεί στην οξειδωτική φωσφορύλωση. Η ακετυλομάδα του ακετυλοσυνενζύμου Α θα εισέλθει στον κύκλο του κιτρικού οξέος. (Όταν το συνένζυμο Α είναι συνδεδεμένο σε κάποιο μόριο, τότε συμβολίζεται ως S-CoA, για να τονιστεί η παρουσία του ατόμου θείου, S, στο μόριό του.)



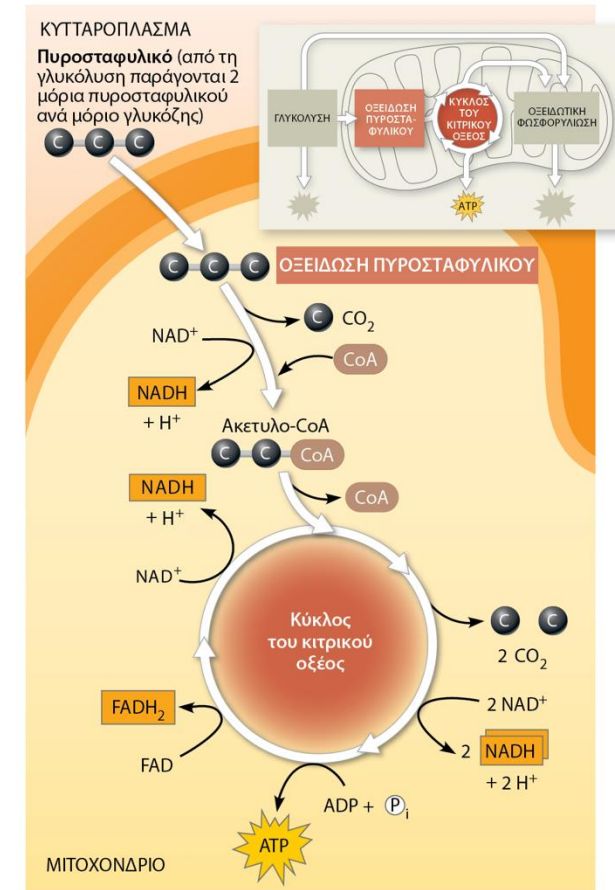
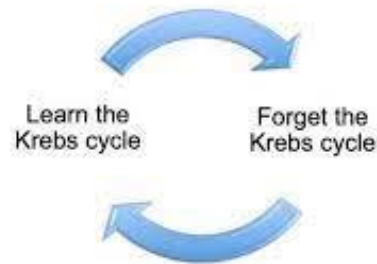
Μετά την οξείδωση του πυροσταφυλικού, η συγκομιδή ενέργειας ολοκληρώνεται με την οξείδωση οργανικών οξέων στον κύκλο του κιτρικού οξέως

Κύκλος του κιτρικού οξέως ή τρικαρβοξυλικού οξέως ή κυκλος του Krebs

ακετυλο-CoA → κιτρικό → ισοκιτρικό
↑
Οξαλοξικό
↑
μηλικό
↑
Φουμαρικό ← ηλεκτρικό ← ηλεκτρουλο-CoA

α-κετογλουταρικό
↓

The REAL Krebs cycle:



▲ **Εικόνα 9.10** Μια γενική θεώρηση της οξείδωσης του πυροσταφυλικού και του κύκλου του κιτρικού οξέος. Εδώ παρουσιάζουμε τι εισέρχεται στον κύκλο του κιτρικού οξέος και τι εξέρχεται, ανά μόριο πυροσταφυλικού, δίνοντας έμφαση στα άτομα άνθρακα που εμπλέκονται. Για να υπολογίσουμε τι εισέρχεται και τι εξέρχεται ανά μόριο γλυκόζης, θα πρέπει να πολλαπλασιάσουμε επί 2, καθώς, κατά τη διάρκεια της γλυκόλυσης, κάθε μόριο γλυκόζης διασπάται σε δύο μόρια πυροσταφυλικού.

Κατά την οξειδωτική φωσφορυλίωση, η χημειώσμωση συζευγνυει τη μεταφορά ηλεκτρονίων με τη σύνθεση ATP

Οδός μεταφοράς ηλεκτρονίων

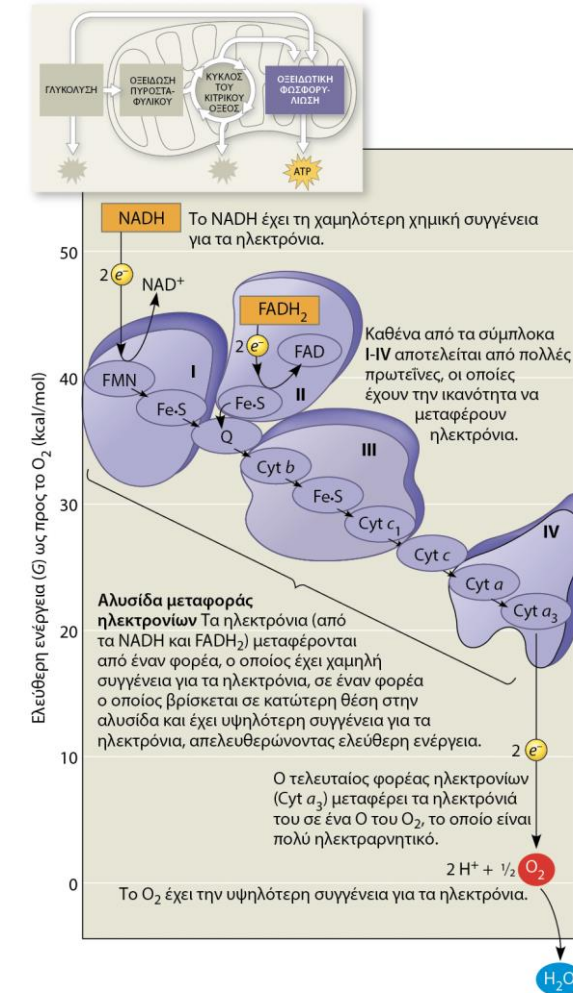
Η αλυσίδα μεταφοράς e^- αποτελείται από μία ομάδα πρωτεϊνικών μορίων ενσωματωμένων στην μεμβράνη των μιτοχονδρίων (ή στην ΚΜ στους προκαρυώτες).

Συνεχείς οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις που μεταφέρουν e^- από τα λιγότερο στα περισσότερα ηλεκτραρνητικά άτομα

Μεταφορά NADH από την γλυκόλυση στο σύμπλοκο I (flavin mononucleotide; FMN, πρωτεΐνη Fe-S, ουβικινόνη; Συνενζυμο Q), κυτοχρώματα).

Μεταφορά ηλεκτρονίων από το FADH₂ στο σύμπλοκο II

▼ **Εικόνα 9.12** Η μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας κατά τη διάρκεια της μεταφοράς ηλεκτρονίων. Η συνολική απώλεια ενέργειας (ΔG) των ηλεκτρονίων που μεταφέρονται από το NADH στο οξυγόνο είναι 53 kcal/mol, αλλά αυτή η «πτώση» διαμοιράζεται σε μια σειρά μικρότερων βημάτων, μέσω της αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων. (Το άτομο του οξυγόνου συμβολίζεται εδώ ως $\frac{1}{2} O_2$ για να δοθεί έμφαση στο γεγονός ότι αυτό που ανάγεται από την αλυσίδα είναι το μοριακό οξυγόνο, O_2 , και όχι μεμονωμένα άτομα οξυγόνου.) Η κυτταρική θέση των πρωτεϊνών που συμμετέχουν στη μεταφορά των ηλεκτρονίων παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.32β.



ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Συγκρίνατε τη θέση των ηλεκτρονίων του NADH στην κορυφή της αλυσίδας (για τη δομή του NADH, βλ. Εικόνα 9.3), με τη θέση τους στο H₂O, στο τέρμα της αλυσίδας. Περιγράψτε γιατί τα ηλεκτρόνια του H₂O έχουν χαμηλότερη δυναμική ενέργεια, χρησιμοποιώντας στην περιγραφή σας τον όρο «ηλεκτραρνητικότητα».

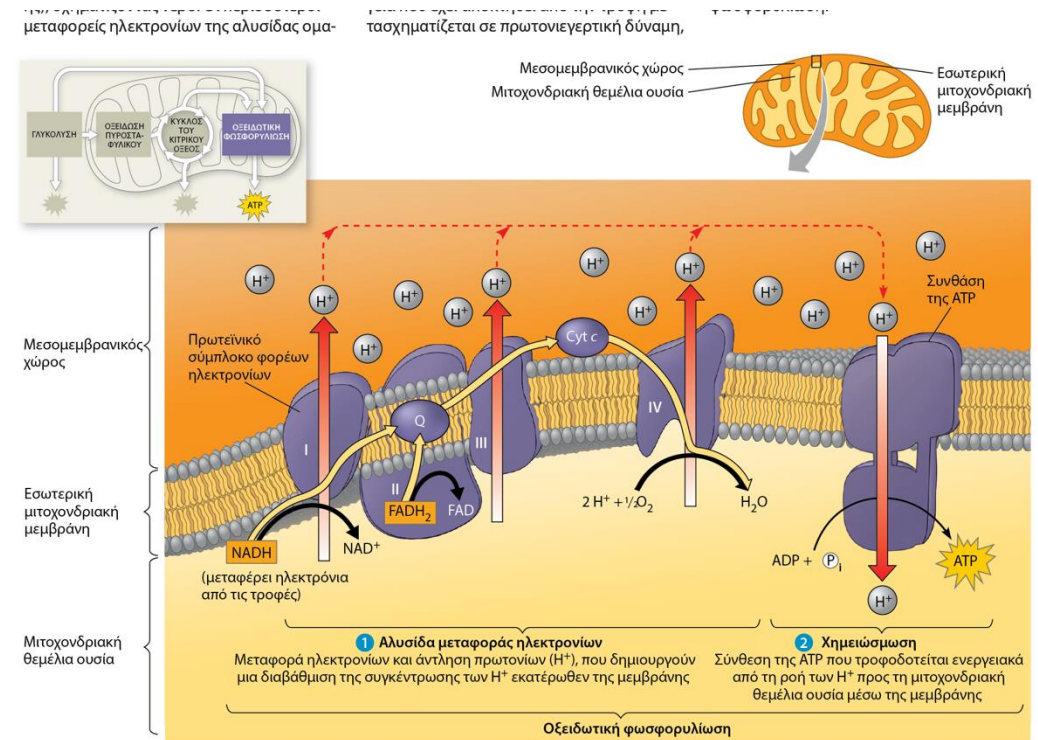
Χημειώσμωση: Ένας μηχανισμός σύζευξης ενέργειας

Συνθάση της ATP

- Ενζυμο που συνθέτει ATP απο ADP και ανόργανα φωσφορικά ιόντα
- Αντίστροφη αντλία ιόντων
 - δεν αντλεί H^+ αντίθετα προς την διαβάθμιση αλλά τροφοδοτεί τη σύνθεση ATP
 - η αντίδραση τροφοδοτείται ενεργειακά από το διαφορετικό pH εκατέρωθεν της μεμβράνης

Χημειωσμωση: η διαδικασία κατά την οποία κυτταρικές λειτουργίες τροφοδοτούνται ενεργειακά από τη διαφορά συγκέντρωσης H^+ εκατέρωθεν της ΚΜ.

Πρωτονιεγεργητική δύναμη
Η ικανότητα της διαβάθμισης
συγκέντρωσης να παράγει έργο



ΤΙ ΘΑ ΓΙΝΟΤΑΝ ΑΝ...; Θα μπορούσε η χημειώσμωση να παραγάγει ATP, αν δεν ήταν λειτουργικό το σύμπλοκο IV; Αν ναι, θα ήταν διαφορετική η ταχύτητα σύνθεσης;

Ζύμωση κ αναερόβια αναπνοή → παραγωγή ATP χωρίς οξυγόνο

Αναερόβια αναπνοή: χρήση αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων (αναπνευστική αλυσίδα) αλλά με άλλο τελικό αποδέκτη (όχι το οξυγόνο)

→ Χρήση SO_4^{2-} ως τελικού αποδέκτη και παραγωγή H_2S

Ζύμωση: απουσία αναπνευστικής αλυσίδας

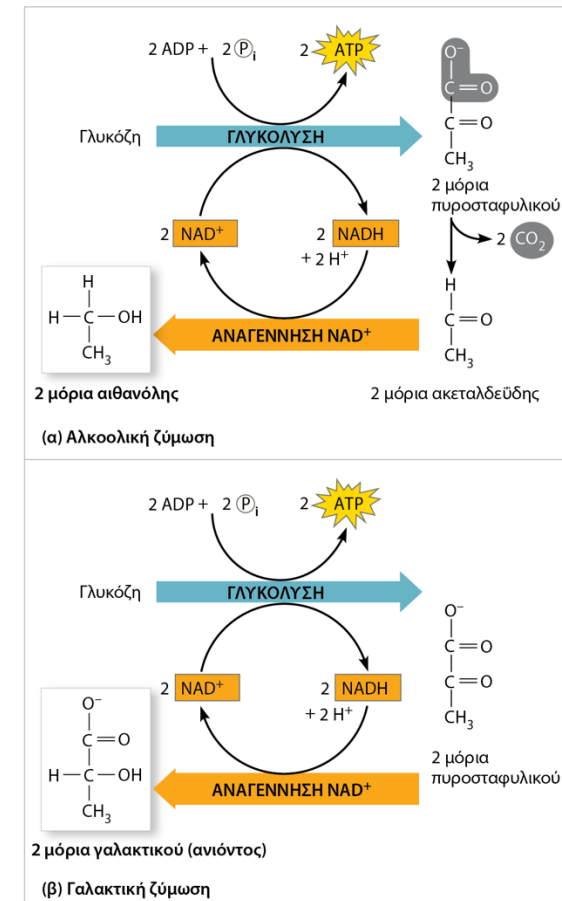
Η ζύμωση περιλαμβάνει την γλυκόλυση κ αντιδράσεις αναγέννησης του NAD^+ για τη μεταφορά e^- στο πυροσταφυλικό ή παραγωγά του.

Οι τυποι ζύμωσης διακρίνονται βάσει του τελικού προϊόντος από το πυροσταφυλικό

→ Αλκοολική ζύμωση → τελικό προϊόν αιθανόλη (πολλά αναερόβια βακτήρια, αλλά κ η κοινή ζύμη (ψωμί, ζυθοποια, οινοποια)

→ Γαλακτική ζύμωση → άμεση αναγωγή πυροσταφυλικού από NADH σε γαλακτικό (Παρασκευή τυριών, γιαουρτιού)

▼ **Εικόνα 9.16 Ζύμωση.** Απουσία οξυγόνου, πολλά κύτταρα χρησιμοποιούν τον μηχανισμό της ζύμωσης για να παραγάγουν ATP με φωσφορυλίωση σε επίπεδο υποστρώματος. Το πυροσταφυλικό, το τελικό προϊόν της γλυκόλυσης, λειτουργεί ως δέκτης ηλεκτρονίων για την επανοξείδωση του NADH σε NAD^+ , το οποίο μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί για έναν νέο κύκλο γλυκόλυσης. Δύο συνήθη τελικά προϊόντα που σχηματίζονται κατά τη ζύμωση είναι (α) η αιθανόλη και (β) το γαλακτικό (ανιόν), η ιοντισμένη μορφή του γαλακτικού οξέος.



Αναβολικές οδοί κ ρύθμιση της κυτταρικής αναπνοής

Δεν οξειδώνονται όλα τα οργανικά μόρια για να πάρουμε ATP → Δομικά υλικά!

- Απευθείας ενσωμάτωση σε συνθετες δομες (π.χ. αμινοξέα)
- Διοχέτευση ενδιάμεσων ενωσεων της γλυκόλυσης κ του κύκλου του krebs στις αναβολικές οδούς

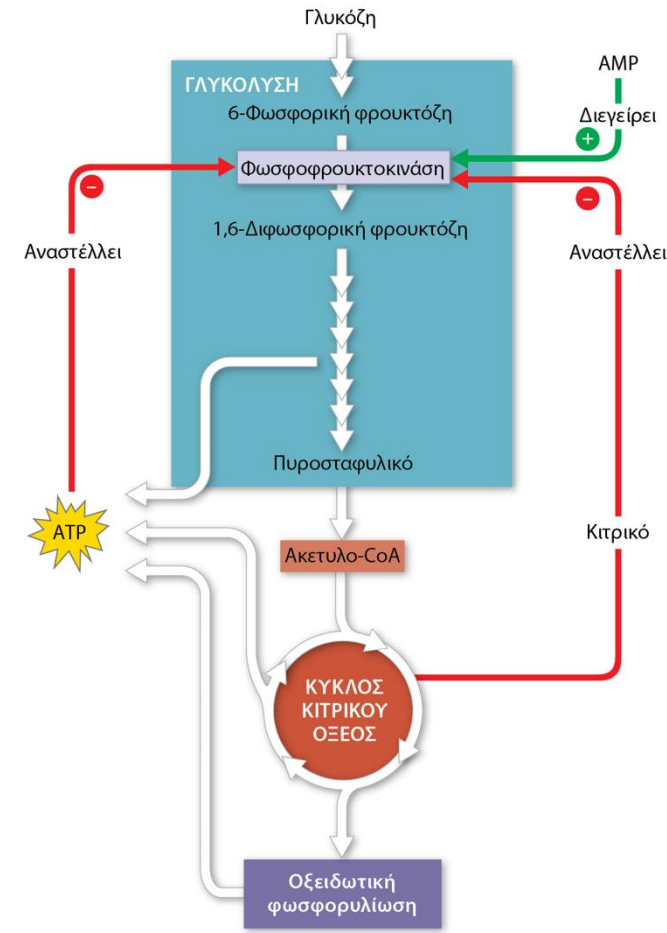
Τροποποίηση ενώσεων από τον κύκλο του Krebs → σύνθεση αμινοξέων

Πυροσταφυλικό → σύνθεση γλυκόζης

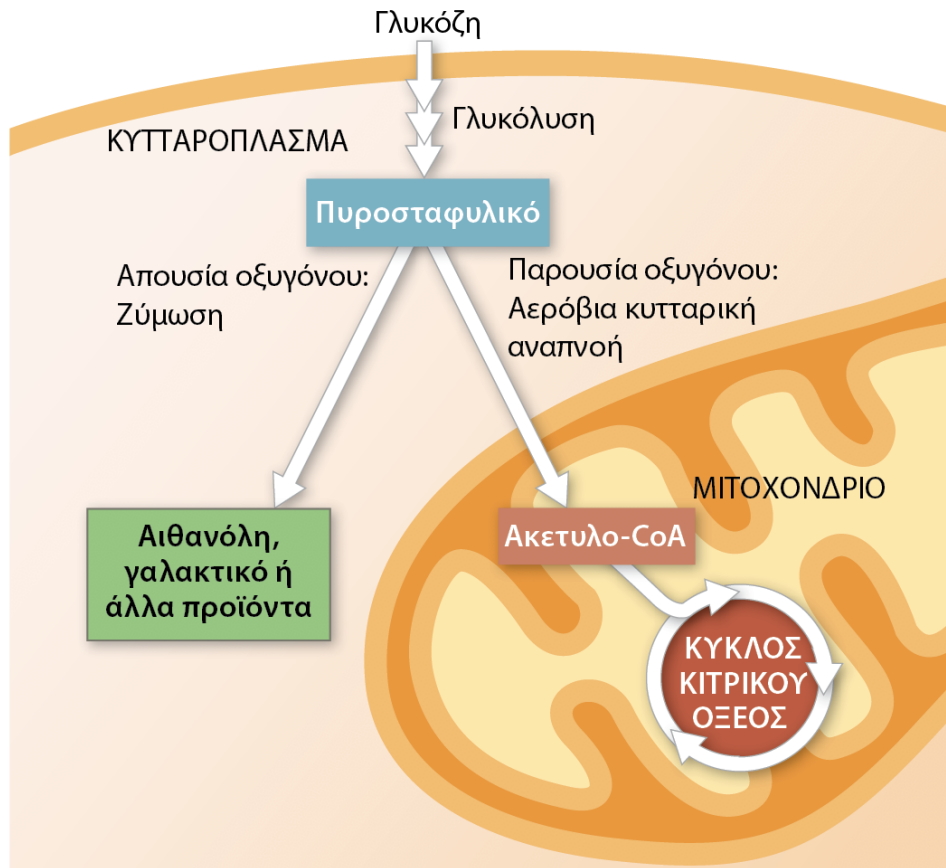
Ακετυλο-CoA → σύνθεση λιπαρών οξέων

Γλυκόλυση κ κύκλος Krebs → μεταβολικοί κόμβοι → διαφορετικά μονοπάτια αναλογα με τις ανάγκες

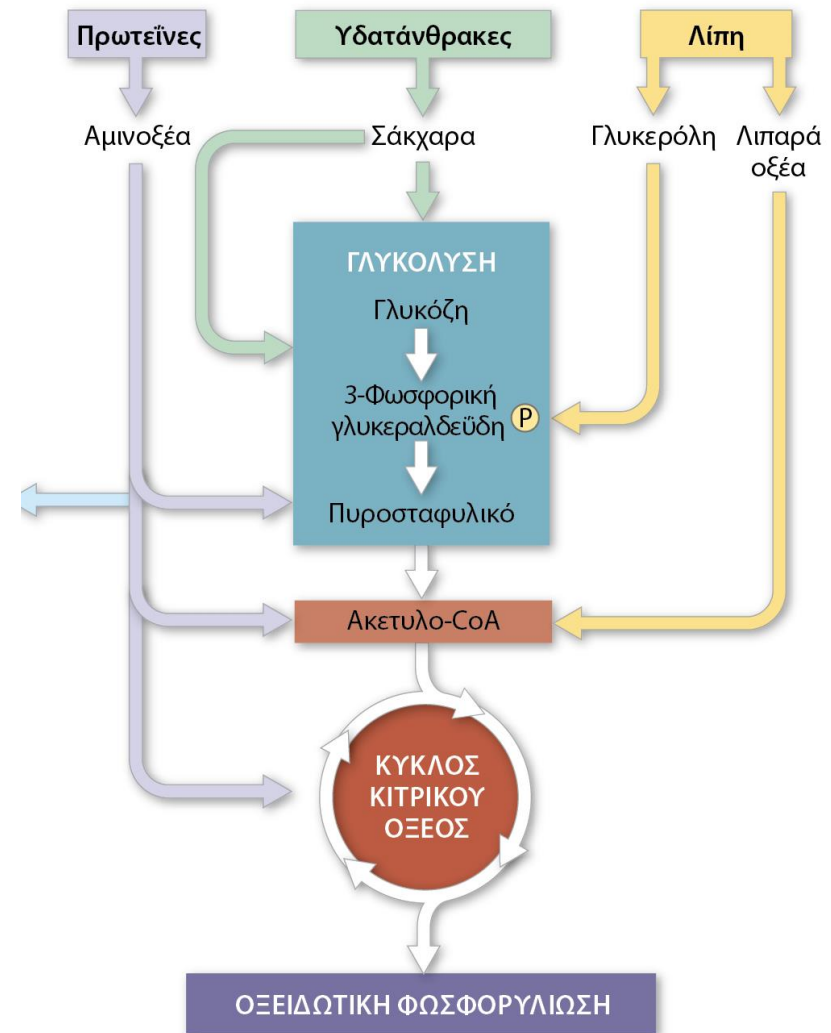
Ανδραστικοί μηχανισμοί για τη ρύθμιση της κυτταρικής αναπνοής



▲ **Εικόνα 9.19** Ο έλεγχος της κυτταρικής αναπνοής. Σε διάφορα σημεία της πορείας της κυτταρικής αναπνοής υπάρχουν αλλοστερικά ένζυμα τα οποία, επηρεαζόμενα από αναστολείς και ενεργοποιητές, καθορίζουν τον ρυθμό της γλυκόλυσης και του κύκλου του κιτρικού οξέος. Ένα τέτοιο ένζυμο είναι η φωσφοφρουκτοκινάση, η οποία καταλύει ένα από τα αρχικά βήματα της γλυκόλυσης (βλ. Εικόνα 9.8 και βήμα 3 στην Εικόνα 6.32β). Η φωσφοφρουκτοκινάση ενεργοποιείται από την AMP (που προκύπτει από την ADP) και αναστέλλεται από την ATP και το κιτρικό οξύ. Χάρη σε τούτο τον μηχανισμό αναδραστικής αναστολής, τα κύτταρα μπορούν να προσαρμόζουν την ταχύτητα της αναπνοής ανάλογα με τις μεταβαλλόμενες καταβολικές και αναβολικές τους απαιτήσεις.

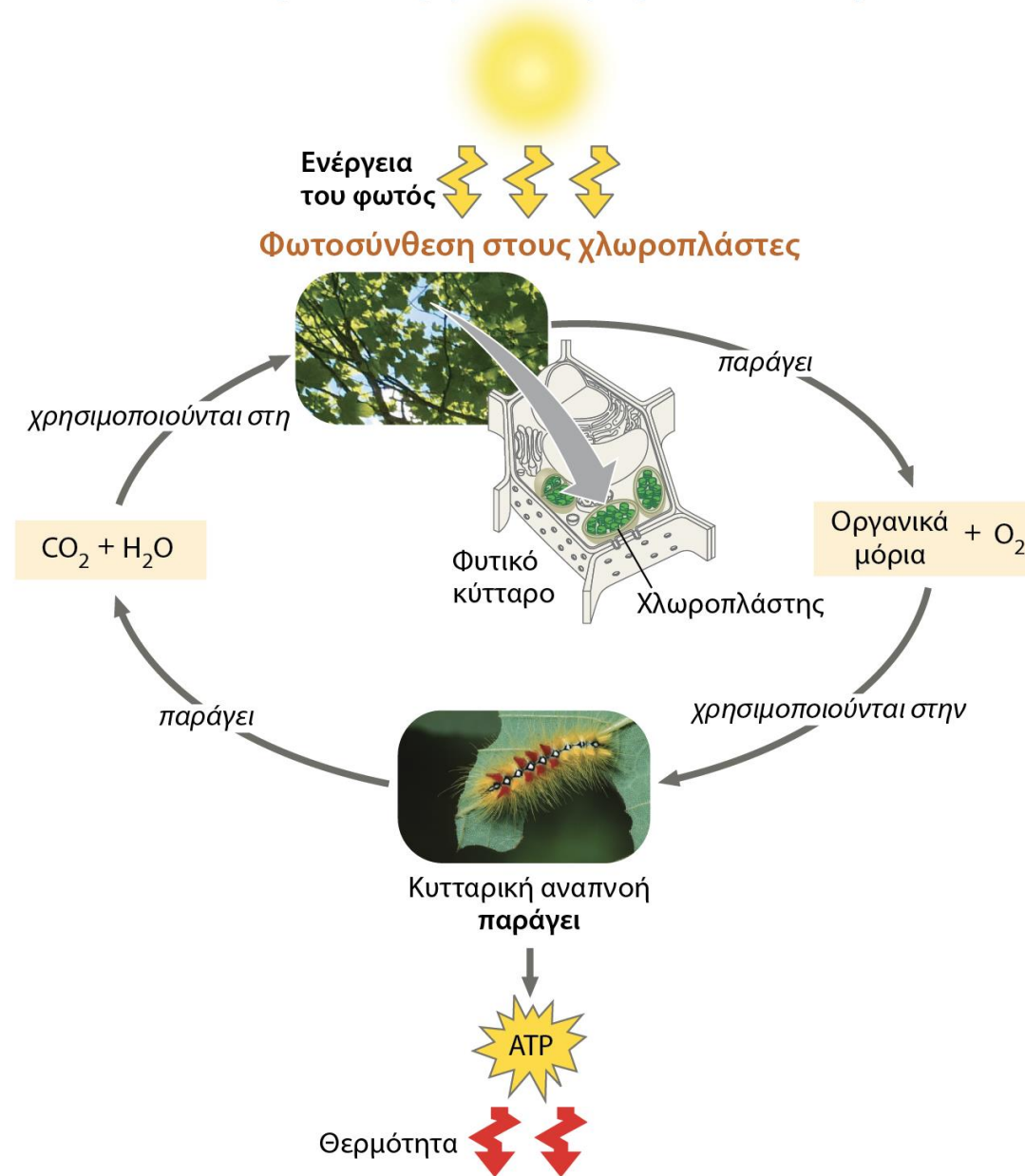


▲ Εικόνα 9.17 Το πυροσταφυλικό ως μείζων «κόμβος» του καταβολισμού. Γλυκόλυση πραγματοποιείται τόσο στη ζύμωση όσο και στην κυτταρική αναπνοή. Το πυροσταφυλικό, ως τελικό προϊόν της γλυκόλυσης, αποτελεί ένα σημείο «διακλάδωσης» των καταβολικών οδών της οξείδωσης της γλυκόζης. Σε έναν δυνητικά αναερόβιο οργανισμό που μπορεί να ακολουθήσει είτε αερόβια κυτταρική αναπνοή είτε ζύμωση, το πυροσταφυλικό οδεύει σε μία από τις δύο οδούς, ανάλογα με το αν υπάρχει οξυγόνο ή όχι.



Εικόνα 9.18 Ο καταβολισμός διαφόρων μορίων των ών. Ως καύσιμα μόρια για την κυτταρική αναπνοή μπορούν χρησιμοποιηθούν υδατάνθρακες, λίπη και πρωτεΐνες. Τα μερή αυτών των μορίων εισέρχονται σε διάφορα στάδια είτε γλυκόλυσης είτε του κύκλου του κιτρικού οξέος. Η γλυκόλυση «αγγες» μέσα από τις οποίες τα ηλεκτρόνια, ακολουθώντας την εξωτερική διαδρομή τους από τα διάφορα είδη οργανικών μορίων, ρέουν προς το οξυγόνο.

Πώς χρησιμοποιούν τα φωτοσυνθετικά κύτταρα το φως
για να μετατρέψουν το διοξείδιο του άνθρακα
και το νερό σε οργανικά μόρια και οξυγόνο;



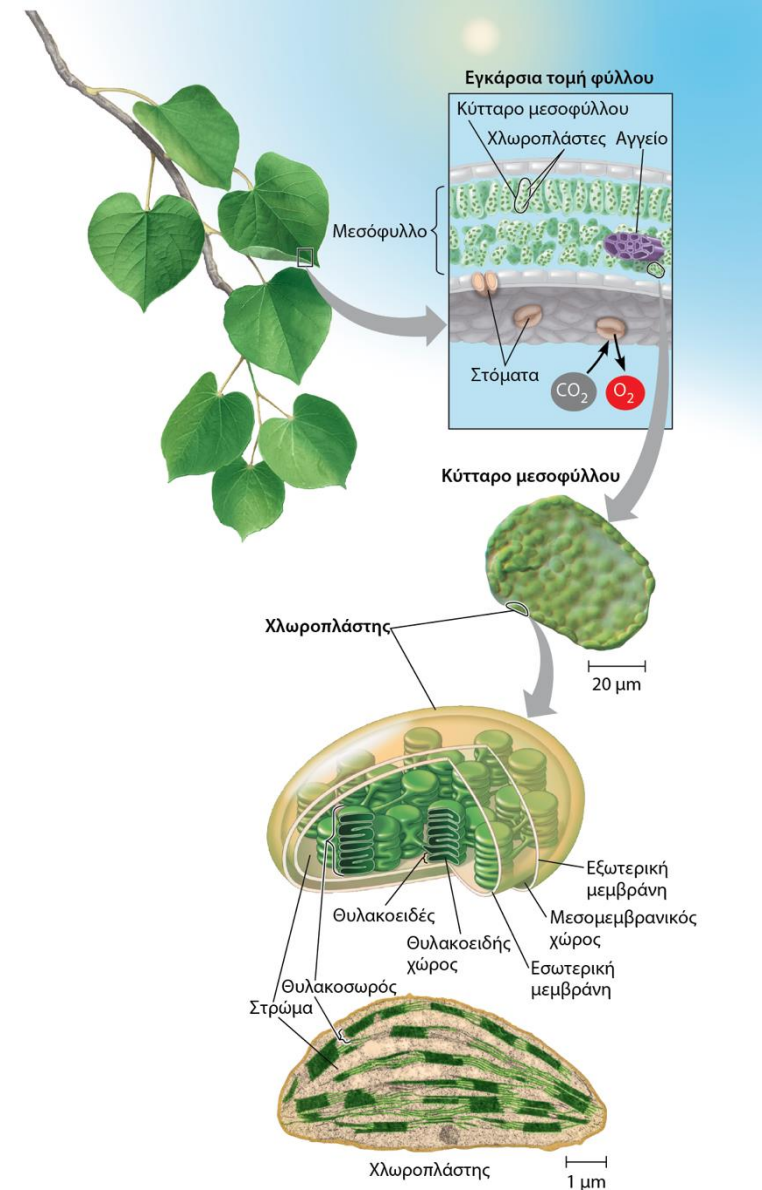
Η φωτοσύνθεση τροφοδοτεί τη βιοσφαιρα

Φωτοσύνθεση: η διεργασία μετατροπής της ηλιακής σε χημική ενέργεια κ η αποθήκευση σε μόρια σακχάρων κ άλλες οργανικές ενώσεις

Με τη φωτοσύνθεση τρέφεται έμμεσα ή άμεσα το σύνολο σχεδόν του έμβιου κόσμου στον πλανήτη → αυτότροφη θρέψη/ετεροτροφη θρέψη

Τα φωτοσυνθετικά ένζυμα είναι ομαδοποιημένα σε ειδικές βιολογικές μεμβράνες → επιτέλεση όλων των σημαντικών διεργασιών

Μεσόφυλλο → χλωροπλάστες → μεμβράνες + στρώμα → θυλακοειδή → χλωροφύλλη



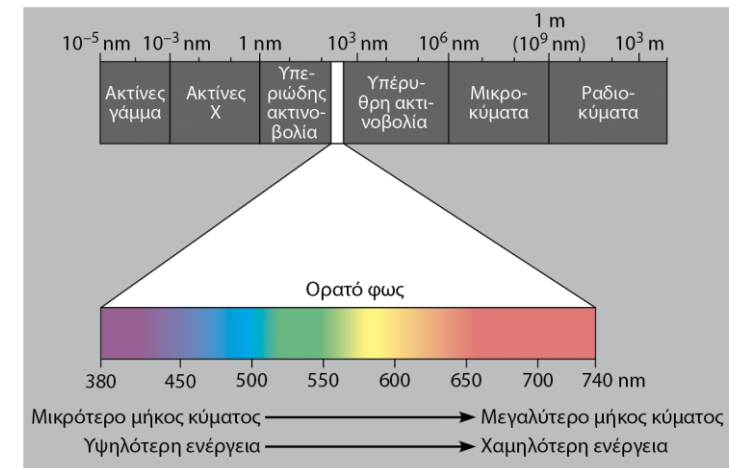
▲ **Εικόνα 10.3** Πλησιάζοντας με διαδοχικές μεγεθύνσεις το τμήμα των φυτών όπου γίνεται η φωτοσύνθεση. Το κύριο φωτοσυνθετικό όργανο των φυτών είναι τα φύλλα. Ξεκινώντας από τα φύλλα και την εσωτερική τους οργάνωση, πηγαίνουμε στο εσωτερικό ενός κυττάρου και, τελικά, στο εσωτερικό ενός χλωροπλάστη, του οργανιδίου στο οποίο γίνεται η φωτοσύνθεση. (Η μεσαία φωτογραφία είναι από οπτικό μικροσκόπιο, ενώ η κάτω από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διέλευσης.)

Η φύση του ηλιακού φωτός

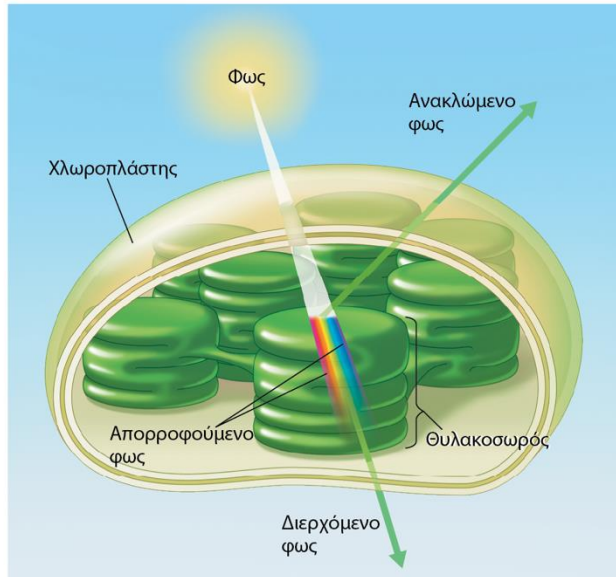
Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα: το συνολικό εύρος μηκών κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας → μήκη κύματος <1nm->1km

Ορατό φώς: 380-740 nm

Μήκος κύματος αντιστροφα ανάλογο της ενέργειας



▲ **Εικόνα 10.6** Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Το λευκό φως είναι ένα μείγμα απ' όλα τα μήκη κύματος του ορατού φωτός. Ένα πρίσμα κάμπτει με διαφορετική γωνία το φως διαφορετικών μηκών κύματος και έτσι χωρίζει το λευκό φως στα συστατικά του χρώματα. (Το ουράνιο τόξο προκαλείται από σταγονίδια νερού της ατμόσφαιρας που δρουν ως πρίσματα.) Η φωτοσύνθεση τροφοδοτείται ενεργειακά από το ορατό φως.



▲ **Εικόνα 10.7** Το πράσινο χρώμα των φύλλων: Η αλληλεπίδραση του φωτός με τους χλωροπλάστες. Τα μόρια της χλωροφύλλης των χλωροπλάστων απορροφούν το κυανό και το ερυθρό φως (τα δύο πιο αποτελεσματικά χρώματα για τη φωτοσύνθεση) και ανακλούν ή επιτρέπουν τη διέλευση του πράσινου φωτός. Γι' αυτό τον λόγο τα φύλλα φαίνονται πράσινα.

Χρωστικές: οι ουσίες που απορροφούν το ορατό φως

Αν φωτίσουμε μία χρωστική με λευκό φως → βλέπουμε το χρώμα που ανακλάται ή διέρχεται μέσα από αυτή

Χλωροφύλλη-α
Χλωροφύλλη-β
καροτενοειδή

Τα δύο στάδια της φωτοσύνθεσης

Φωτεινές αντιδράσεις

→ Συμμετοχή φωτός

→ Ηλιακή ενέργεια → χημική ενέργεια

→ Διάσπαση νερού και απελευθέρωση e^- , H^+ και O_2 .

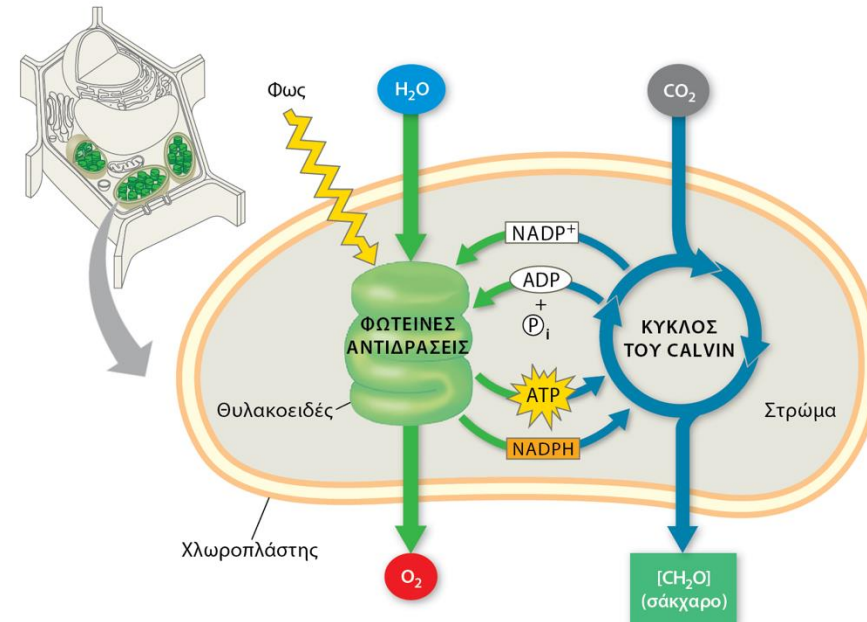
→ Η ηλιακή ενέργεια τροφοδοτεί την αναγωγή του $NADP^+$ σε $NADPH$

→ Παραγωγή ATP

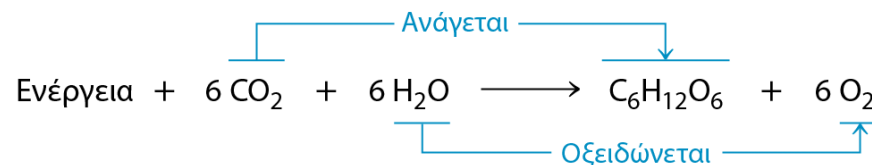
→ **Φωτοφωσφορυλίωση**

Κύκλος του Calvin

→ Σύνθεση οργανικών ενώσεων



▲ **Εικόνα 10.5** Μια σύντομη επισκόπηση της φωτοσύνθεσης: Συνεργασία των φωτεινών αντιδράσεων με τον κύκλο του Calvin. Οι φωτεινές αντιδράσεις γίνονται στις θυλακοειδείς μεμβράνες (πράσινο), ενώ ο κύκλος του Calvin στο στρώμα του χλωροπλάστη (γκρι). Οι φωτεινές αντιδράσεις αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για να συνθέσουν ATP και NADPH, τα οποία τροφοδοτούν τον κύκλο του Calvin με χημική ενέργεια και αναγωγική δύναμη, αντίστοιχα. Ο κύκλος του Calvin ενσωματώνει το CO_2 σε οργανικά μόρια, που στη συνέχεια μετατρέπονται σε σάκχαρά. (Υπενθυμίζεται ότι ο συντακτικός τύπος των περισσότερων απλών σακχάρων είναι ένα πολλαπλάσιο της δομικής μονάδας CH_2O .) Για περισσότερες λεπτομέρειες ως προς την κυτταρική θέση των παραπάνω διεργασιών, βλ. Εικόνα 6.32.



A. 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

B. 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

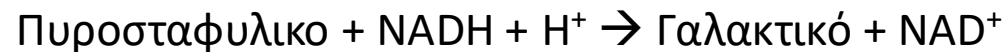
Γ. Σε ένα φυτικό κύτταρο, ο κύκλος του κιτρικού οξέος πραγματοποιείται

1. Στο κυτταρόπλασμα
2. Στα μιτοχόνδρια
3. Στους χλωροπλάστες
4. Στην κυτταρική μεμβράνη

Δ. 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 στο 90 °C
3. Προσθέσουμε περισσότερο υπόστρωμα
4. Προσθέσουμε έναν μη ανταγωνιστικό αναστολέα

Ε. Ποιος είναι ο αναγωγικός παράγοντας στην ακόλουθη αντίδραση;



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

ΣΤ. 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

Ζ. Η άμεση πηγή ενέργειας που καθοδηγεί τη σύνθεση της ATP μέσω της συνθάσης της ATP κατά την οξειδωτική φωσφορυλίωση είναι

1. Οξείδωση της γλυκόζης κ των άλλων οργανικών ενώσεων
2. Η ροή των ηλεκτρονίων κατά μήκος της αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων
3. Η διαβάθμιση της συγκέντρωσης των H^+ στις δύο πλευρές της εσωτερική μοτοχονδριακής μεμβράνης
4. Η μεταφορά των φωσφωρικών στην ADP.

Η. 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 υπόστρωμα
2. Η αντίδραση απο ενδόεργη θα γίνει εξώεργη
3. Η ελεύθερη ενέργεια του συστήματος θα αλλάξει
4. Τίποτα η αντίδραση θα παραμείνει σε ισορροπία

Αντιγραφή DNA

Τα ένζυμα που συμμετέχουν στη σύνθεση της DNA αλυσίδας μπορούν να προσθέσουν νουκλεοτίδια μόνο σε ήδη υπάρχοντα κομμάτια

Σύνθεση εκκινητή (μικρή αλυσίδα RNA, 5-10 νουκλ.) από την πριμάση

Έναρξη σύνθεσης DNA από το 3' άκρο του εκκινητή DNA πολυμεράση (DNApol)

→ Δύο βασικά είδη στους προκαρυώτες (I και III)

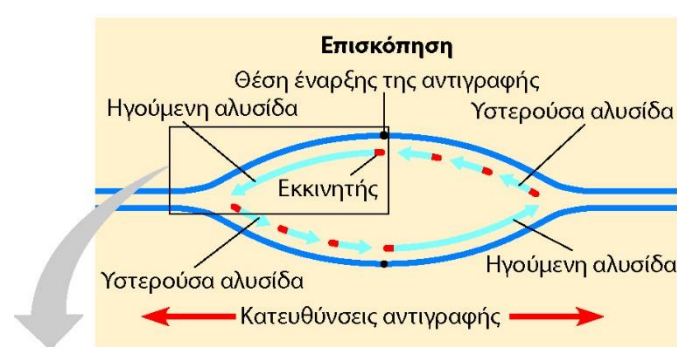
→ >11 στους ευκαρυώτες

Κατά τον πολυμερισμό απομακρύνονται δύο φωσφορικές ομάδες από τα dNTPs → υδρόλυση → εξώεργη αντίδραση

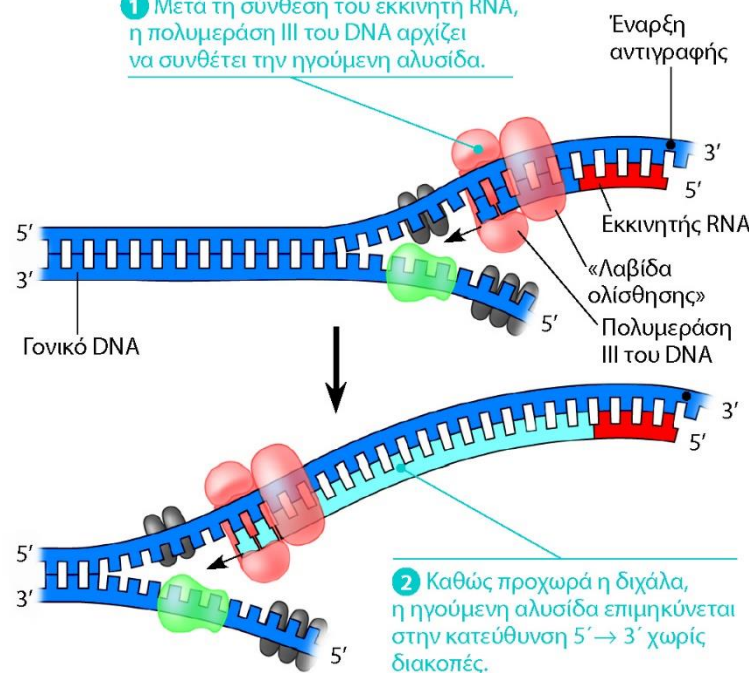
Αντιπαράλληλη επιμήκυνση

→ Ηγούμενη αλυσίδα

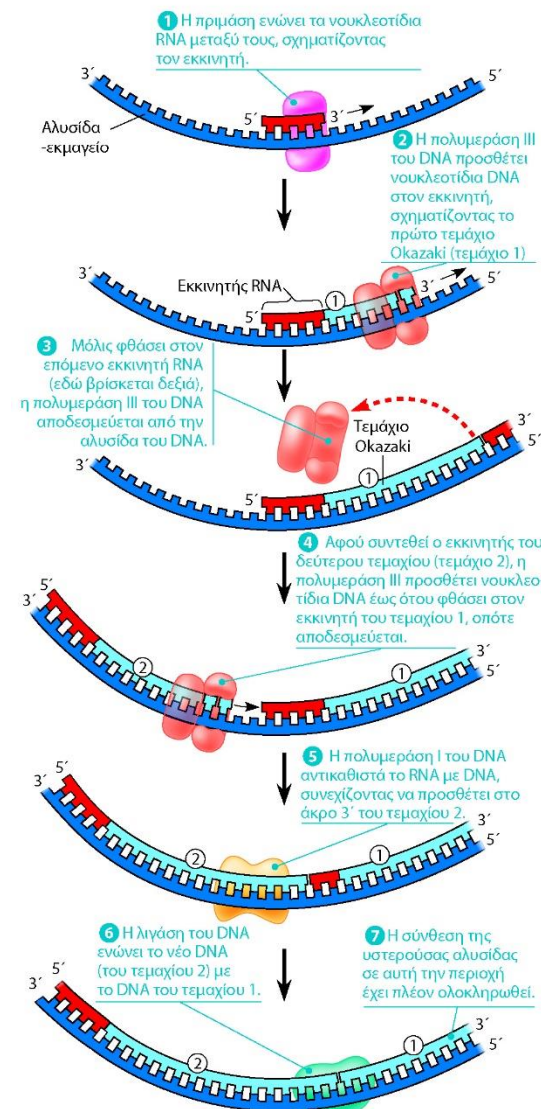
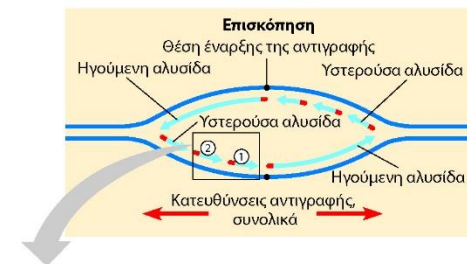
→ Υστερούσα αλυσίδα (τεμάχια Okazaki; 1000-2000 νουκλ. στους Προκαρυώτες, 100-200 νουκλ. Στους ευκαρυώτες)



1 Μετά τη σύνθεση του εκκινητή RNA, η πολυμεράση III του DNA αρχίζει να συνθέτει την ηγούμενη αλυσίδα.



▲ **Εικόνα 16.15** Σύνθεση της ηγούμενης αλυσίδας κατά την αντιγραφή του DNA. Το διάγραμμα επικεντρώνεται στο τμήμα του DNA που βρίσκεται στην αριστερή διχάλα αντιγραφής (βλ. σημειωμένο παραλληλόγραμμο στο πλαίσιο επισκόπησης, στο άνω μέρος της εικόνας). Η πολυμεράση III του DNA μοιάζει με παλάμη που κρατά τη γονική αλυσίδα, και συνδέεται στενά με μια πρωτεΐνη που ονομάζεται λαβίδα ολίσθησης, η οποία περιβάλλει κυκλικά την νεοσυνθεθειμένη διπλή έλικα, σαν δακτύλιος. Η λαβίδα ολίσθησης «μετακινεί» την πολυμεράση III κατά μήκος της γονικής αλυσίδας του DNA.

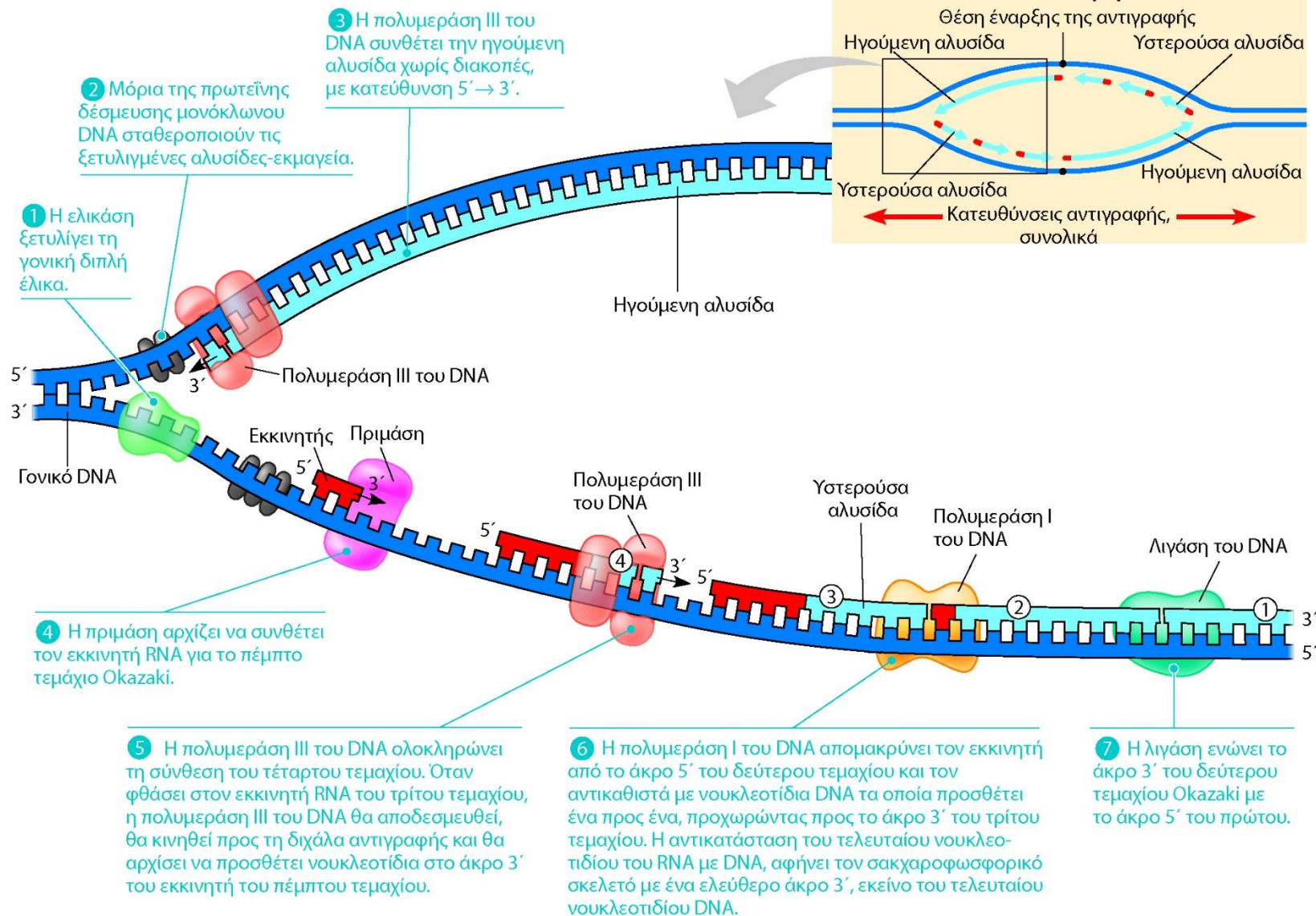


▲ **Εικόνα 16.16** Σύνθεση της υστερούσας αλυσίδας.

Αντιγραφή DNA

Η DNApol απομακρύνει τους εκκινητές από τα κομμάτια Okazaki και προσθέτει τα αντίστοιχα dNTPs

Η λιγάση ενώνει τα κομμάτια

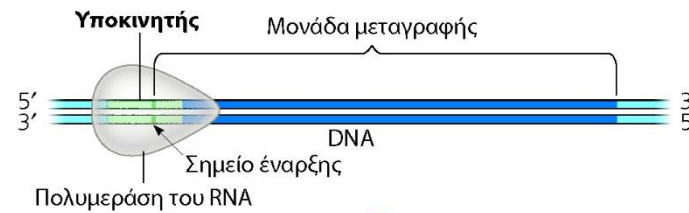


▲ **Εικόνα 16.17 Σύνοψη της αντιγραφής του βακτηριακού DNA.** Το αναλυτικό διάγραμμα παρουσιάζει μία μόνο διχάλα αντιγραφής, αλλά όπως φαίνεται και στην επισκόπηση (άνω δεξιά) η αντιγραφή συνήθως λαμβάνει χώρα ταυτοχρόνως σε δύο διχάλες, μία σε κάθε άκρο της αντιγραφικής θηλιάς. Αν παρατηρήσουμε το σύνολο της αντιγραφής, βλέπουμε ότι σε κάθε θυγατρική αλυσίδα η μισή συντίθεται χωρίς διακοπές ως ηγούμενη αλυσίδα, ενώ η άλλη μισή (στην άλλη πλευρά της θέσης έναρξης της αντιγραφής) συντίθεται τμηματικά ως υστερούσα αλυσίδα.

Μεταγραφή

Ο υποκινητής συνήθως περιέχει και το σημείο έναρξης της μεταγραφής

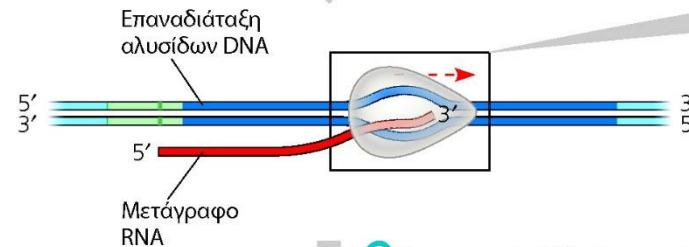
Η RNA πολυμεράση (RNAPol) μαζί με τους παράγοντες μεταγραφής ξεκινά τη μεταγραφή της αλυσίδας εκμαγείου από συγκεκριμένο σημείο.



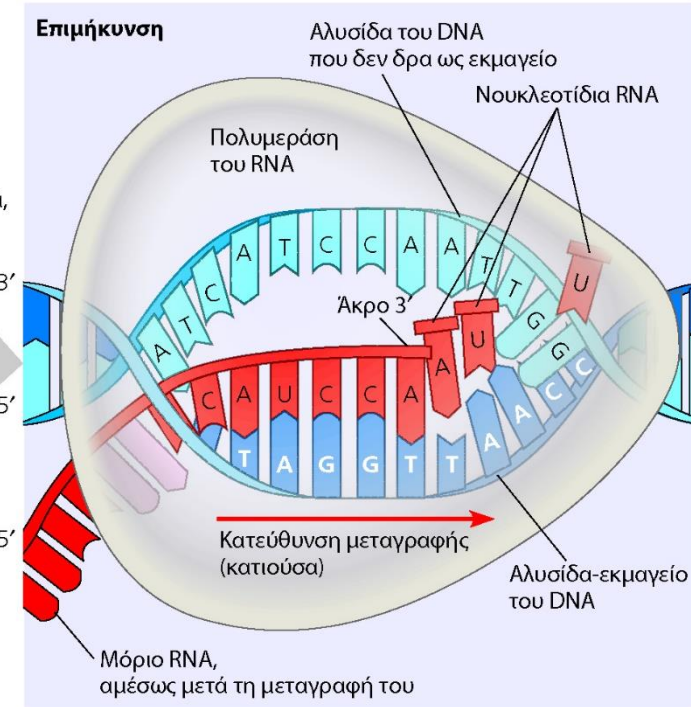
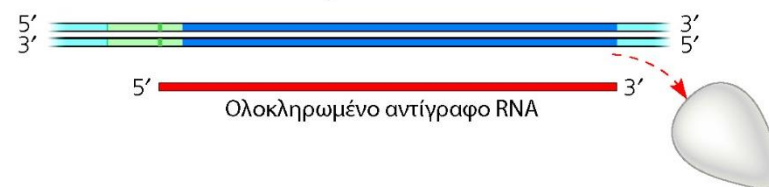
1 Έναρξη. Μετά την πρόσδεση της πολυμεράσης του RNA στον υποκινητή, οι αλυσίδες του DNA αποδιατάσσονται τοπικά και η πολυμεράση ξεκινά τη σύνθεση του RNA από το σημείο έναρξης της αλυσίδας-εκμαγείου.



2 Επιμήκυνση. Η πολυμεράση κινείται καθοδικά, ξετυλίγοντας το DNA και επιμηκύνοντας το μετάγραφο RNA με κατεύθυνση 5' → 3'. Όπου ολοκληρώνεται η μεταγραφή, οι δύο αλυσίδες του DNA επαναδιατάσσονται, σχηματίζοντας πάλι διπλή έλικα.



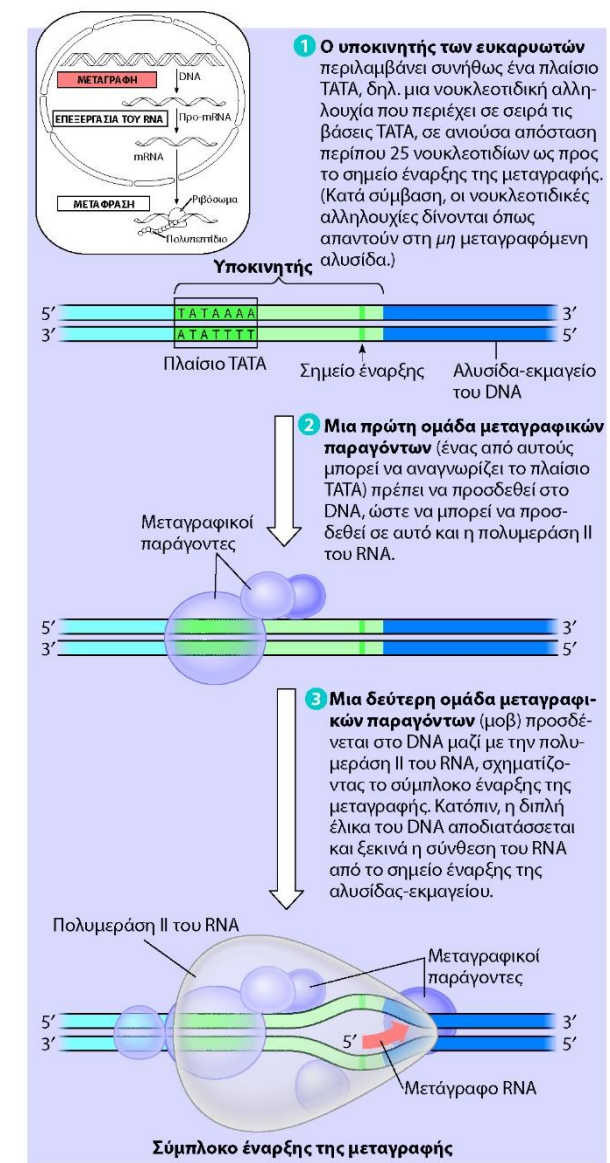
3 Τερματισμός. Τελικά, το μετάγραφο RNA απελευθερώνεται και η πολυμεράση αποσπάται από το DNA.



▲ Εικόνα 17.7 Τα στάδια της μεταγραφής: έναρξη, επιμήκυνση και τερματισμός. Η μεταγραφή, όπως γενικευμένα περιγράφεται εδώ, ισχύει τόσο για τα βακτήρια όσο και για τους ευκαρυώτες, αν και οι δύο διεργασίες εμφανίζουν διαφορές σε επιμέρους σημεία της διαδικασίας τερματισμού (βλ. κείμενο). Επίσης, στα βακτήρια το μετάγραφο RNA μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ως mRNA, ενώ στους ευκαρυώτες πρώτα πρέπει να υποστεί επεξεργασία.

Μεταγραφή

- Αναγνώριση TATA box (στη μη μεταγραφόμενη αλυσίδα) στον υποκινητή από μεταγραφικούς παράγοντες
- Σύνδεση RNApol II
- Σύνδεση μεταγραφικών παραγόντων και αποδιάταξη αλυσίδων
- Η RNApol ξετυλίγει τις αλυσίδες και ταυτόχρονα προσθέτει νουκλεοτίδια
- Τερματισμός
 - Προκαρυώτες: Αλληλουχία λήξης της μεταγραφής και αποκόλληση RNApol και RNA
 - Ευκαρυώτες: μεταγραφή συγκεκριμένης περιοχής → σήμα πολυαδενυλίωσης (AAUAAA) → πρόσδεση συγκεκριμένων πρωτεϊνών και απελευθέρωση πρώιμου mRNA.



▲ **Εικόνα 17.8 Έναρξη μεταγραφής από τον υποκινητή ενός ευκαρυωτικού κυττάρου.** Στα ευκαρυωτικά κύτταρα, προκειμένου η πολυμεράση II του RNA να ξεκινήσει τη μεταγραφή, είναι απαραίτητη η διαμεσολαβητική παρουσία πρωτεϊνών που ονομάζονται μεταγραφικοί παράγοντες.

! Εξηγήστε ποιες διαφορές θα παρουσίαζε η αλληλεπίδραση της πολυμεράσης του RNA με τον υποκινητή αν η εικόνα έδειχνε την έναρξη της μεταγραφής στα βακτήρια.

Μεταγραφή-επεξεργασία Του RNA

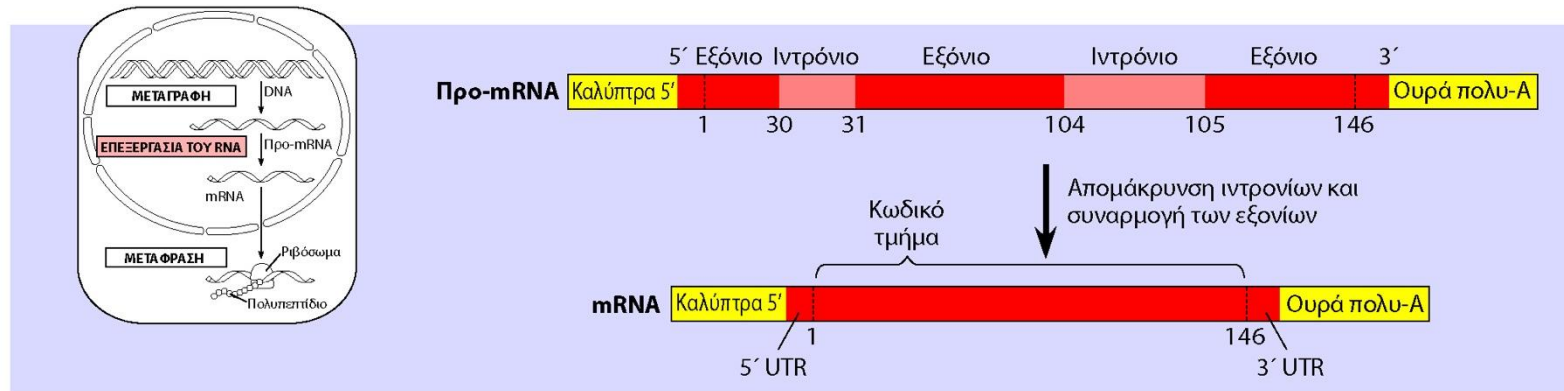
- 5' κάλυπτρο από τροποποιημένο dGTP
- 3' άκρο → προσθήκη 50-200 dATPs
- Διευκόλυνση εξόδου από τον πυρήνα
- Προστασία από την υδρόλυση
- Διευκόλυνση πρόσδεσης του 5' άκρου με το ριβόσωμα

Συναρμογή του RNA

- Εξώνια: κωδικά τμήματα
- Εσώνια: μη κωδικά τμήματα
- Σωμάτιο συναρμογής (spliceosome): σύμπλοκο πρωτεϊνών και μικρών κομματιών RNA → αναγνώριση και πρόσδεση με μικρές αλληλουχίες RNA στο εσώνιο → συμμετοχή στην αναγνώριση και το κόψιμο → ενζυμική δράση του RNA (ριβόζυμα)



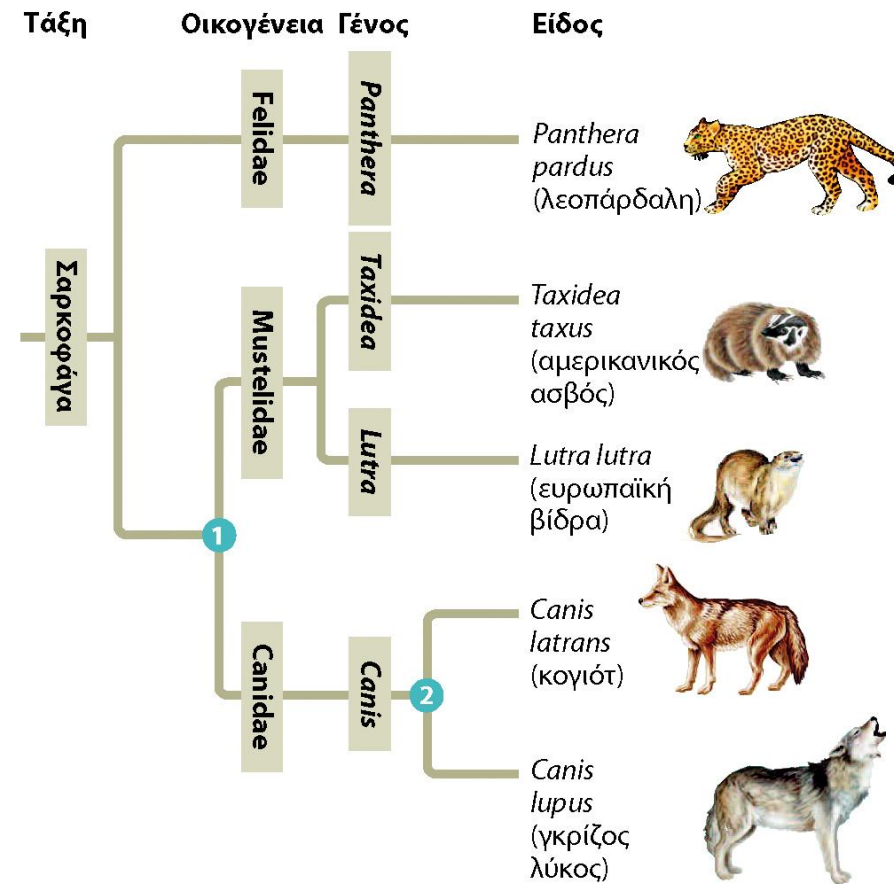
▲ **Εικόνα 17.9 Επεξεργασία του RNA: προσθήκη καλύπτρας 5' και ουράς πολυ-A.** Στους ευκαρυώτες, ειδικά ένζυμα τροποποιούν τα δύο άκρα του μορίου του προ-mRNA. Τα τροποποιημένα άκρα ενδέχεται να διευκολύνουν την έξοδο του mRNA από τον πυρήνα και να προστατεύουν το RNA από την αποικοδόμηση. Όταν το mRNA φθάσει στο κυτταρόπλασμα, τα τροποποιημένα άκρα διευκολύνουν, σε συνδυασμό με ορισμένες κυτταροπλασματικές πρωτεΐνες, την πρόσδεση των ριβοσωμάτων. Η καλύπτρα 5', η ουρά πολυ-A και οι περιοχές 5' UTR και 3' UTR δεν μεταφράζονται σε πρωτεΐνες.



▲ **Εικόνα 17.10 Επεξεργασία του RNA: συναρμογή του RNA.** Το μόριο RNA που βλέπουμε κωδικοποιεί τη σφαιρίνη β, ένα από τα πολυπεπτίδια της αιμοσφαιρίνης. Οι αριθμοί κάτω από το διάγραμμα του RNA αναφέρονται στα κωδικόνια. Η σφαιρίνη β έχει μήκος 146 αμινοξέα. Τόσο το γονίδιο της σφαιρίνης β όσο και το αντίστοιχο πρωτογενές μετάγραφο (προ-mRNA) έχουν τρία εξόνια, τα οποία αντιστοιχούν στις αλληλουχίες που τελικά θα εξέλθουν από τον πυρήνα ως mRNA. (Οι περιοχές 5' UTR και 3' UTR αποτελούν συστατικά μέρη των εξονίων, δεδομένου ότι συμπεριλαμβάνονται στην αλληλουχία του mRNA, αλλά στην πραγματικότητα δεν κωδικοποιούν κάποιο πρωτεϊνικό τμήμα και επομένως δεν μεταφράζονται.) Κατά την επεξεργασία του RNA, τα ιντρόνια αποκόπτονται και τα εξόνια συναρμολογούνται μεταξύ τους. Σε πολλά γονίδια, τα ιντρόνια έχουν πολύ μεγαλύτερο μήκος συγκριτικά με τα εξόνια που βλέπουμε εδώ για το γονίδιο της σφαιρίνης β. (Το μήκος των ιντρονίων της εικόνας δεν έχει σχεδιαστεί υπό κλίμακα.)

Φυλογένεση και ταξινόμηση

Neil A. Campbell, ΒΙΟΛΟΓΙΑ, ΤΟΜΟΣ II, ΠΕΚ 2011



▲ **Εικόνα 26.4** Σύνδεση ταξινόμησης και φυλογένεσης. Στα φυλογενετικά δένδρα, όσο αναπτύσσεται η ιεραρχική ταξινόμηση των οργανισμών τόσο πυκνότερες γίνονται οι διακλαδώσεις. Στο δένδρο που βλέπουμε παριστάνονται οι πιθανές εξελικτικές σχέσεις ανάμεσα σε ορισμένα τάξα που περιλαμβάνει η τάξη των Σαρκοφάγων (Carnivora), που η ίδια αποτελεί κλάδο της κλάσης των Θηλαστικών (Mammalia). Το σημείο διακλάδωσης **1** παριστάνει τον πιο πρόσφατο κοινό πρόγονο όλων των μελών της οικογένειας της νυφίτσας (Mustelidae) και του σκύλου (Canidae). Το σημείο διακλάδωσης **2** παριστάνει τον πιο πρόσφατο κοινό πρόγονο των κογιότ και των γκρίζων λύκων.

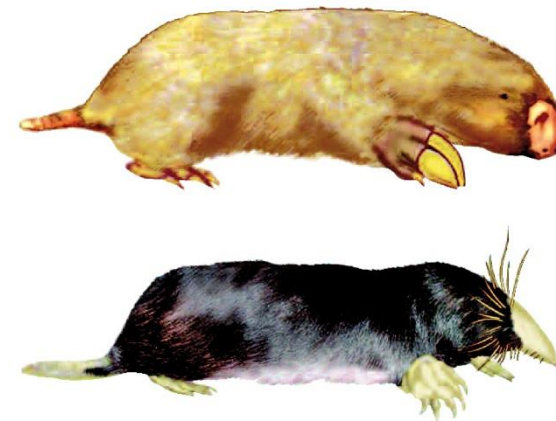
Η φυλογένεση προκύπτει από μοριακά και μορφολογικά δεδομένα

Ομολογίες ονομάζονται οι φαινοτυπικές και γενετικές ομοιότητες που οφείλονται στην ύπαρξη κοινού προγόνου.

π.χ. αριθμός και διάταξη των οστών στα άκρα των θηλαστικών ή ομοιότητες σε γονίδια

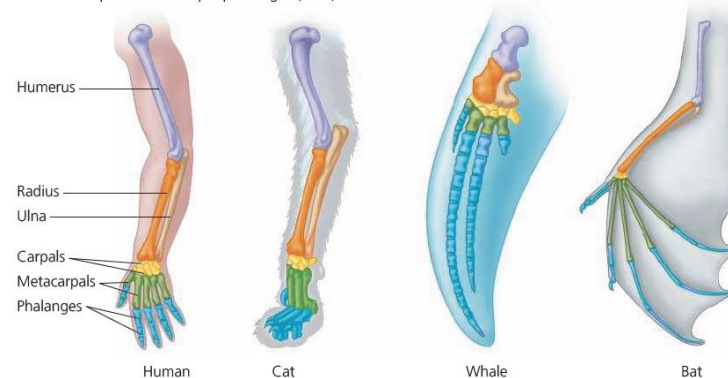
ΑΛΛΑ σε κάποιες περιπτώσεις ομοιότητες στη μορφολογία δεν συνοδεύονται από ομοιότητες στα γονίδια

Συγκλίνουσα εξέλιξη ή αναλογία: Μορφολογικές ομοιότητες που δεν οφείλονται σε κοινό πρόγονο αλλά σε παρόμοιες περιβαλλοντικές πιέσεις- ανεξάρτητη εξέλιξη



▲ **Εικόνα 26.7** Συγκλίνουσα εξέλιξη ανάλογων χαρακτηριστικών που συνδέονται με την ικανότητα για σκάψιμο. Το επίμηκες σώμα, οι μεγάλες πατούσες στα μπροστινά πόδια, τα μικρά μάτια και η οξύληκτη μύτη που προστατεύεται με ειδική πάχυνση της επιδερμίδας είναι χαρακτηριστικά που εξελίχθηκαν ανεξάρτητα στον μαρσιποφόρο «τυφλοπόντικα» της Αυστραλίας (πάνω) και στον τυφλοπόντικα της Βόρειας Αμερικής, ο οποίος ανήκει στα ευθήρια (κάτω).

▼ **Figure 22.15 Mammalian forelimbs: homologous structures.** Even though they have become adapted for different functions, the forelimbs of all mammals are constructed from the same basic skeletal elements: one large bone (purple), attached to two smaller bones (orange and tan), attached to several small bones (gold), attached to several metacarpals (green), attached to approximately five digits, each of which is composed of multiple phalanges (blue).



Φυσική επιλογή

Βασικά χαρακτηριστικά της Φυσικής Επιλογής

- Η φυσική επιλογή είναι η διαδικασία κατά την οποία άτομα με συγκεκριμένα κληρονομήσιμα χαρακτηριστικά επιβιώνουν και αναπαράγονται με υψηλότερο ρυθμό από άλλα εξαιτίας αυτών των χαρακτηριστικών.
- Στη διάρκεια του χρόνου η φυσική επιλογή μπορεί να αυξήσει τη συχνότητα των προσαρμογών που είναι ωφέλιμες για ένα συγκεκριμένο περιβάλλον.
- Αν οι περιβαλλοντικές συνθήκες αλλάξουν ή αν τα άτομα μεταφερθούν σε νέο ενδιαίτημα τότε η φυσική επιλογή μπορεί να καταλήξει σε προσαρμογές στις νέες συνθήκες, ακόμα και σε ειδογένεση.

1. Η φυσική επιλογή δρα στα άτομα και στο περιβάλλον τους αλλά αυτά ΔΕΝ ΕΞΕΛΙΣΣΟΝΤΑΙ!!!

Οι πληθυσμοί είναι αυτοί που εξελίσσονται μέσα στον χρόνο

2. Η φυσική επιλογή μπορεί να προωθήσει ή να εξαλείψει μόνο τα κληρονομήσιμα στοιχεία που διαφέρουν ανάμεσα στα διαφορετικά άτομα του πληθυσμού.

3. Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες ποικίλλουν στον χώρο και στον χρόνο. Ένα χαρακτηριστικό που είναι ευνοϊκό σε συγκεκριμένο περιβάλλον και χρονική στιγμή μπορεί να είναι ακόμα και καταστροφικό υπό άλλες συνθήκες. Η φυσική επιλογή λειτουργεί πάντα αλλά τα χαρακτηριστικά που θα προωθηθούν εξαρτώνται από τις συνθήκες όπου ένα είδος ζει και ζευγαρώνει

Φυσική επιλογή κ Εξέλιξη

2. Η φυσική επιλογή μπορεί να προωθήσει ή να εξαλείψει μόνο τα κληρονομήσιμα στοιχεία που διαφέρουν ανάμεσα στα διαφορετικά άτομα του πληθυσμού.

Η γενετική ποικιλομορφία καθιστά πιθανή την εξέλιξη!!!!

Πηγές γενετική ποικιλομορφίας

1. Μεταλλάξεις
2. Αλλαγή θέσης ή αριθμού γονιδίων
3. Γρήγορη αναπαραγωγή
4. Σεξουαλική αναπαραγωγή

Σε κάθε ενδιαίτημα κάποια άτομα έχουν την τάση να επιβιώνουν και να αφήνουν περισσότερους απογόνους από άλλα.

Στην περίπτωση που για αυτό τον λόγο τα κληρονομήσιμα χαρακτηριστικά αλλάζουν από γενιά σε γενιά λέμε ότι οι πληθυσμοί έχουν εξελιχθεί μέσω της φυσικής επιλογής.

Καποιοι λανθασμένα θα έλεγαν ότι η φύση επιλέγει. Η φύση όμως δεν επιλέγει αλλά οριοθετεί απλώς το σκηνικό για το παιχνίδι της εξέλιξης.

Φυσική επιλογή κ Εξέλιξη

Τα άτομα με την μεγαλύτερη αρμοστικότητα (fitness) είναι αυτά που δίνουν τους περισσότερους απογόνους. Η αρμοστικότητα είναι σχετική.

Η εξέλιξη δεν έχει στόχο να δημιουργήσει τέλεια άτομα. Απλώς δουλεύει πάνω στα διαθέσιμα γονίδια ώστε να προκύψουν πιο αρμοστικά βάσει της διαθέσιμης δεξαμενής.

[Ecoli ARG genes](#)