

ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ

Η βάση της ζωής στα Πρώτιστα στα Φυτά και
στα Κυανοβακτήρια

Γεώργιος Ν. Χώτος
καθηγητής



Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας

Τμήμα Τεχνολογίας Αλιείας-Υδατοκαλλιεργειών
Εργαστήριο Καλλιέργειας Πλαγκτού

Η βάση της ζωής

- Επειδή η ζωή βασίζεται στη συνεχή παροχή ενέργειας στο κύτταρο.
- Επειδή το κύτταρο πρέπει συνεχώς να έχει διαθέσιμη ενέργεια, όση και όποτε απαιτείται.
- Επειδή η ενέργεια δεν δημιουργείται εκ του μηδενός.
- Επειδή τα οργανικά μόρια περιέχουν ενέργεια και τα μόρια αυτά διασπώνται μέσα στο κύτταρο με τη διαδικασία της «αναπνοής» και η περιεχόμενη ενέργειά τους μετατρέπεται σε ATP.
- Η «ουσία της ζωής» είναι η επάρκεια ATP στο κύτταρο.

Αρα το πρόβλημα είναι να έχουμε συνεχώς «καύσιμο», δηλαδή οργανικές ουσίες.

Όλα βασίζονται στη φωτοσύνθεση

- Οι οργανικές ουσίες και πιο συγκεκριμένα η βάση αυτών, το απλό σάκχαρο γλυκόζη ($C_6H_{12}O_6$), πρέπει από κάπου να προέλθουν.
- Δηλαδή τα συστατικά της (C, H, O) πρέπει με ένα κόστος ενέργειας (δηλαδή ATP) να συνδυαστούν για να φτιάξουν γλυκόζη.
- Όμως ATP σημαίνει μόριο φορτισμένο με ενέργεια. Από που λοιπόν θα προέλθει αυτή η αρχική φόρτιση του ATP;
- Η απάντηση είναι: Από τη φωτεινή ενέργεια του ήλιου.
- Αυτή η μεγαλειώδης διαδικασία ονομάζεται φωτοσύνθεση.
- Με τη φωτοσύνθεση στη Γη, ετησίως 600.000.000.000 τόνοι άνθρακα από την ατμόσφαιρα γίνονται γλυκόζη και στηρίζουν κατόπιν κάθε τύπο ζωής στη βιόσφαιρα.

Θα εξετάσουμε αναλυτικά το πως επιτελείται η φωτοσύνθεση

Ευρέως διαδεδομένες φωτοσυνθετικές «πλάνες»

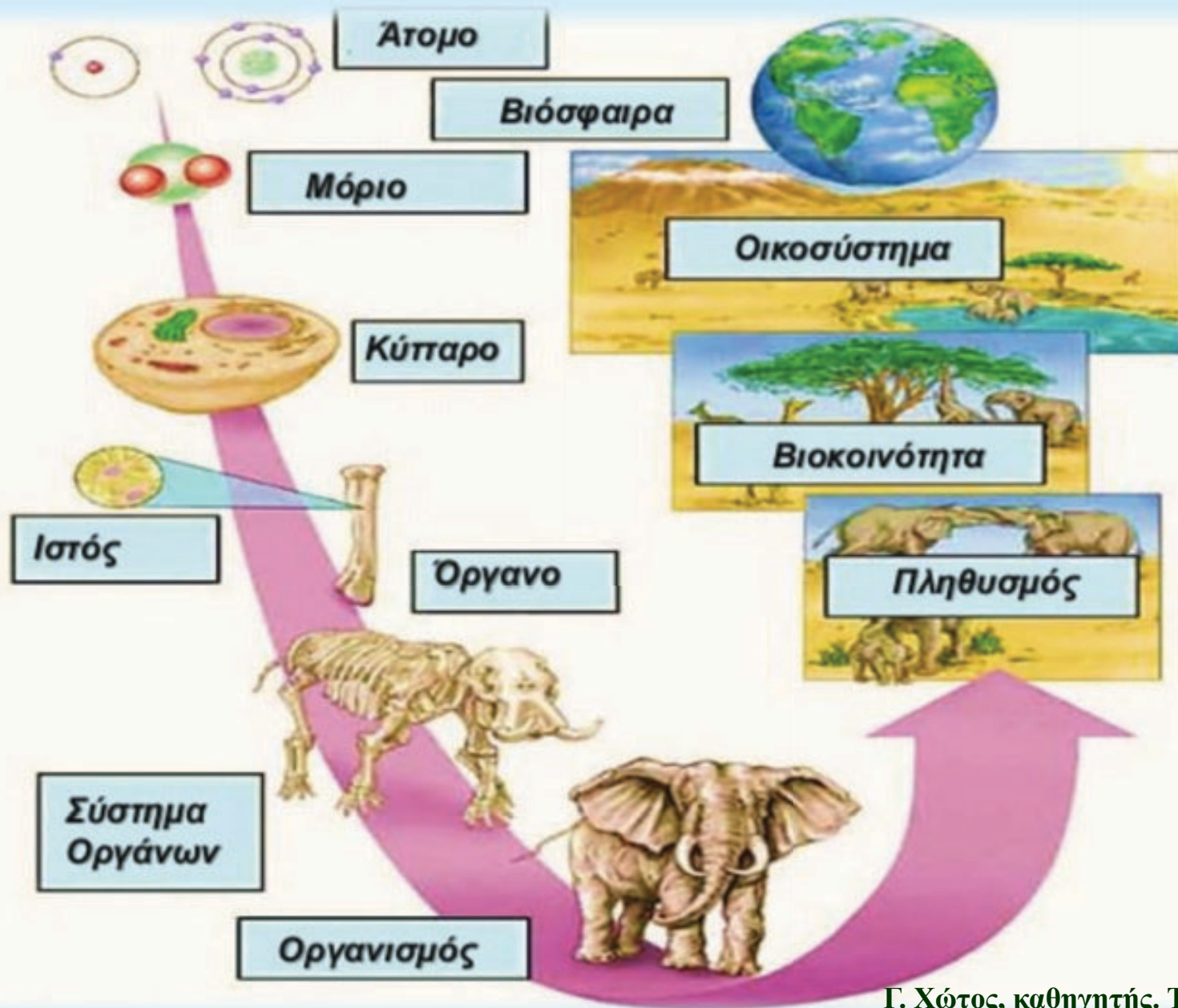
Τα φυτά και τα φύκη φωτοσυνθέτουν μόνο και παράγουν οξυγόνο την ημέρα ενώ τη νύκτα «αναπνέουν» και καταναλώνουν οξυγόνο.

Απάντηση: Όλοι οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί και φωτοσυνθέτουν και αναπνέουν κατά τη διάρκεια της ημέρας. Κατά τη διάρκεια της νύκτας (εφόσον δεν υπάρχει τεχνητό φως) μόνο αναπνέουν. Αναπνοή εδώ εννοείται η διαδικασία της βιοοξείδωσης.

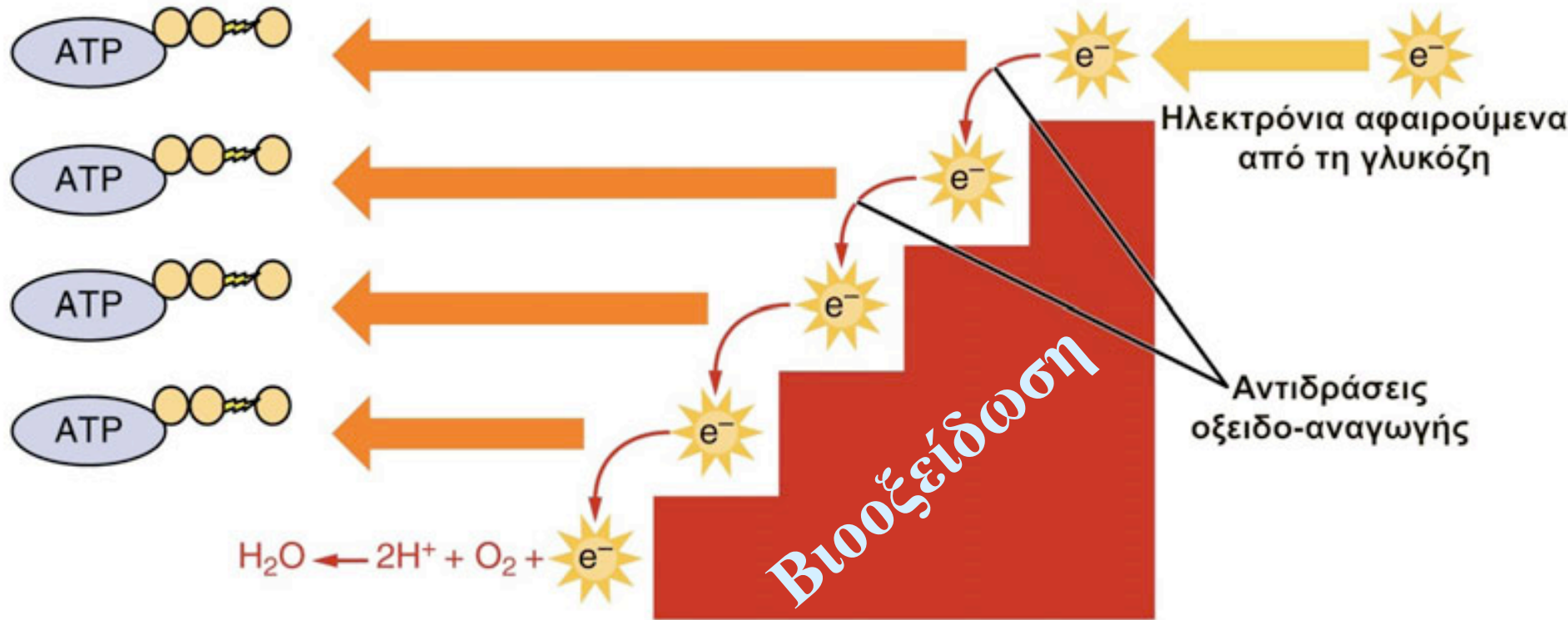
Η φωτεινή αντίδραση της φωτοσύνθεσης συμβαίνει όταν υπάρχει φως και η σκοτεινή αντίδραση όταν υπάρχει σκοτάδι.

Απάντηση: Σκοτεινή δεν σημαίνει ό,τι μπορεί να συμβεί μόνο στο σκότος απλώς δεν είναι φωτοεξαρτώμενη. Το μέγα γεγονός της «σκοτεινής» φάσης είναι η πρόσληψη του CO_2 το οποίο στον κύκλο του Calvin γίνεται γλυκόζη. Για να γίνει αυτό απαιτούνται ATP & NADPH που παράγονται κατά τη φωτεινή αντίδραση. Τη νύκτα που δεν παράγονται τέτοια μόρια (εφόσον η φωτεινή φάση έχει σταματήσει) δεν συμβαίνει σκοτεινή φάση.

Όλα χρειάζονται ενέργεια



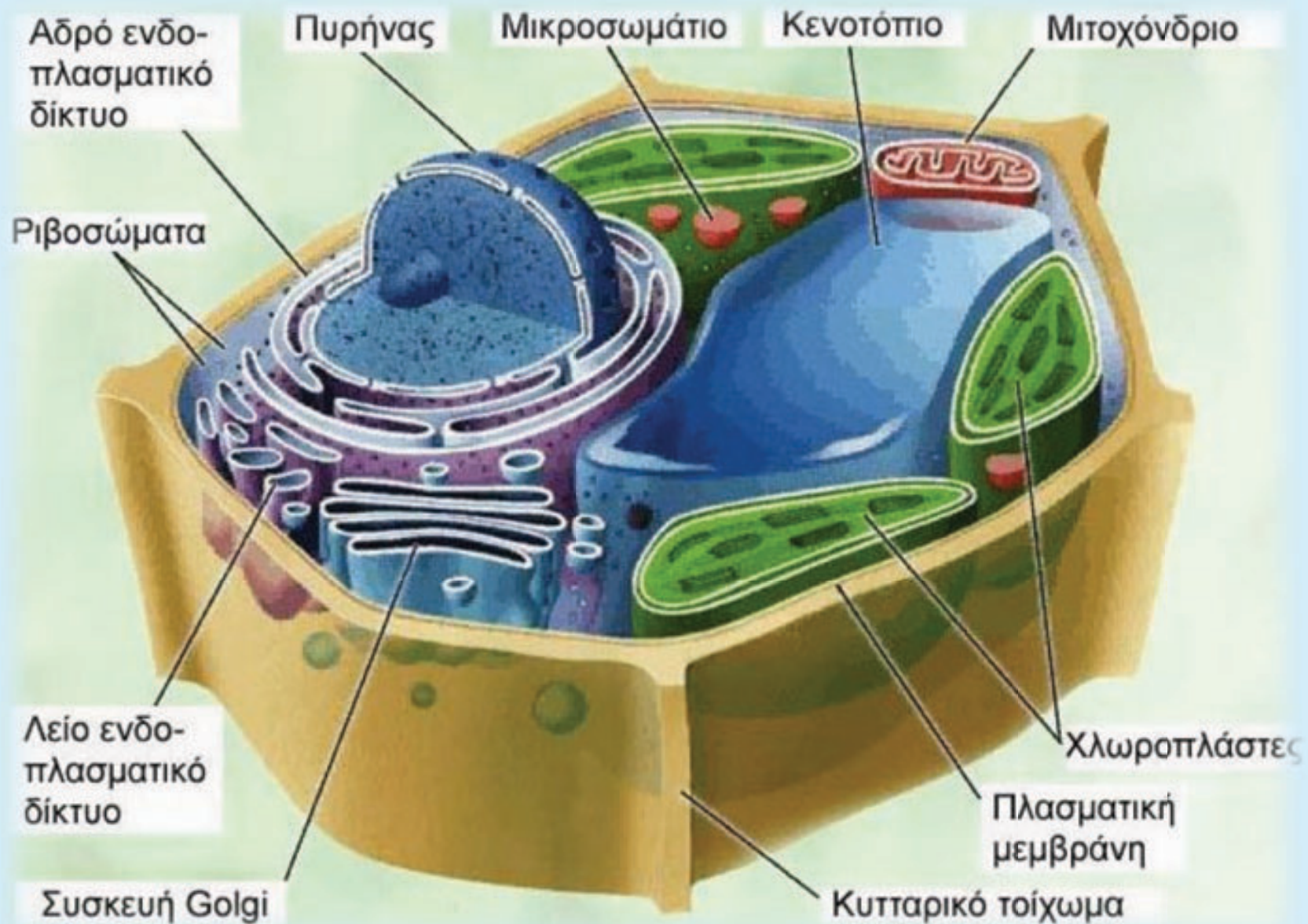
Για να μπορεί συνεχώς να γίνεται αυτό..



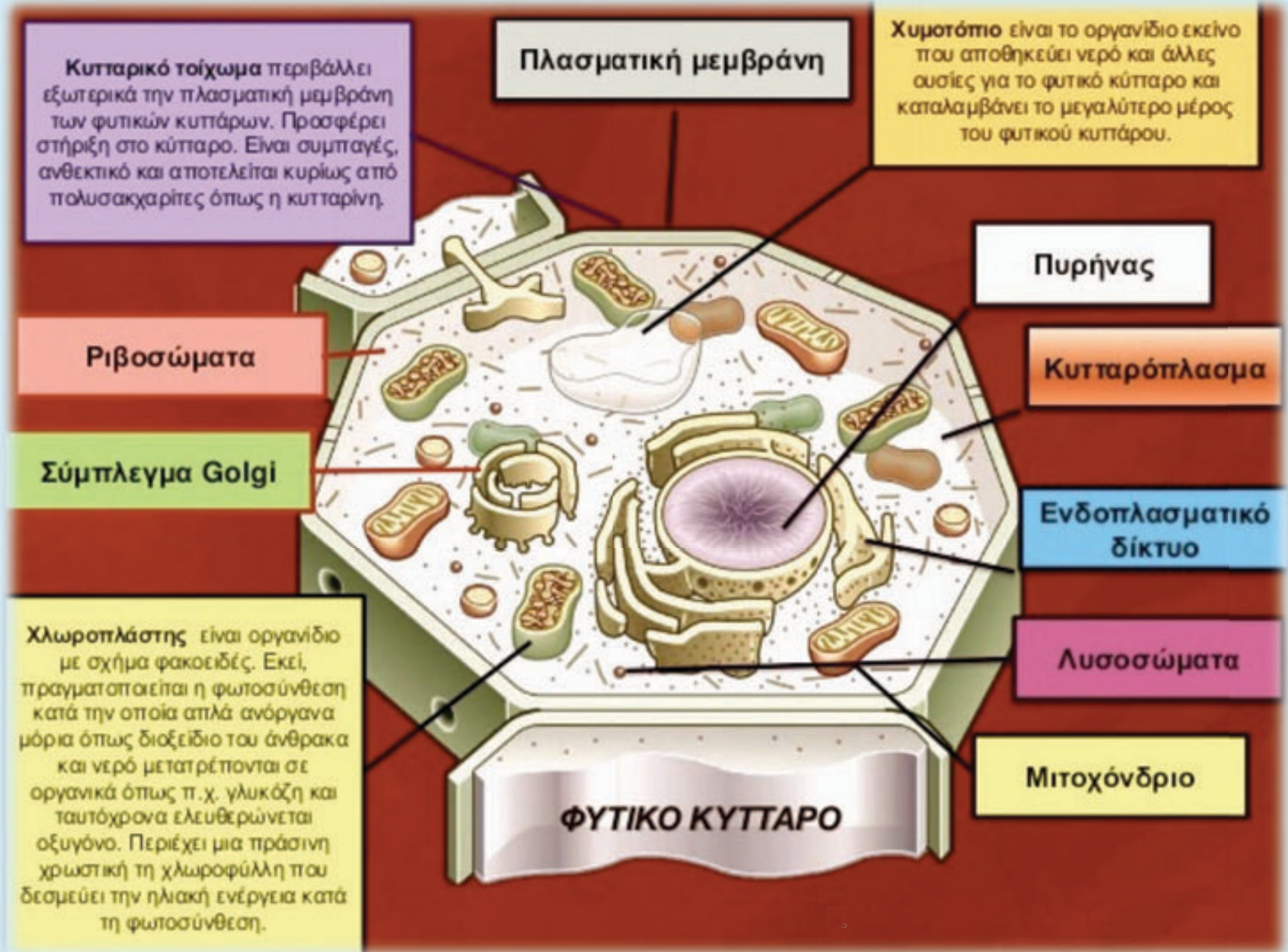
Τα Βασίλεια των οργανισμών

ΒΑΣΙΛΕΙΑ	ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΟΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ	ΟΡΓΑΝΩΣΗ	ΔΙΑΤΡΟΦΗ	ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΟΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ
ΜΟΝΗΡΗ		απλοί μονοκύτταροι προκαρυωτικοί οργανισμοί	απορροφούν την τροφή τους από το περιβάλλον τους (μερικά φωτοσυνθέτουν)	βακτήρια, κυανοβακτήρια
ΠΡΩΤΙΣΤΑ		απλοί μονοκύτταροι ευκαρυωτικοί οργανισμοί	φωτοσυνθέτουν, απορροφούν ή προσλαμβάνουν την τροφή τους	πρωτόζωα, φύκη
ΜΥΚΗΤΕΣ		πολυκύτταροι συνήθως οργανισμοί	απορροφούν την τροφή τους από το περιβάλλον τους	μούχλες, μανιτάρια
ΦΥΤΑ		πολυκύτταρες μορφές με εξειδικευμένα κύτταρα	φωτοσυνθέτουν την τροφή τους	βρύα, φτέρες, γυμνόσπερμα και αγγειόσπερμα φυτά
ΖΩΑ		πολυκύτταρες μορφές με εξειδικευμένα κύτταρα	προσλαμβάνουν την τροφή τους από το περιβάλλον τους	ασπόνδυλα (αρθρόποδα, μαλάκια κ.ά.) και σπονδυλόζωα (ψάρια, αμφίβια, ερπετά, πτηνά, θηλαστικά)

Φυτικό-Φυκικό κύτταρο



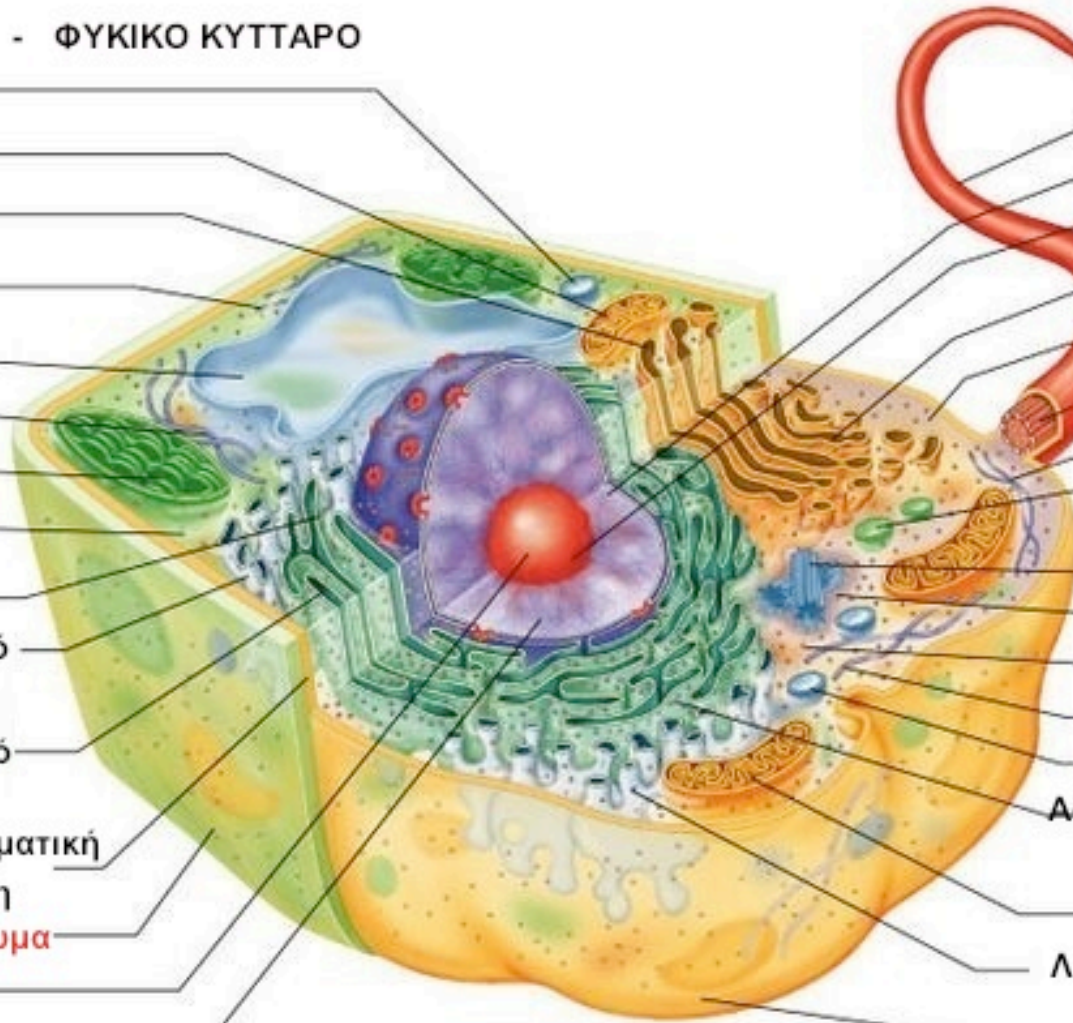
Φυτικό κύτταρο με επεξηγήσεις



Σύγκριση φυτικού-ζωϊκού κυττάρου

ΦΥΤΙΚΟ ΚΥΤΤΑΡΟ - ΦΥΚΙΚΟ ΚΥΤΤΑΡΟ

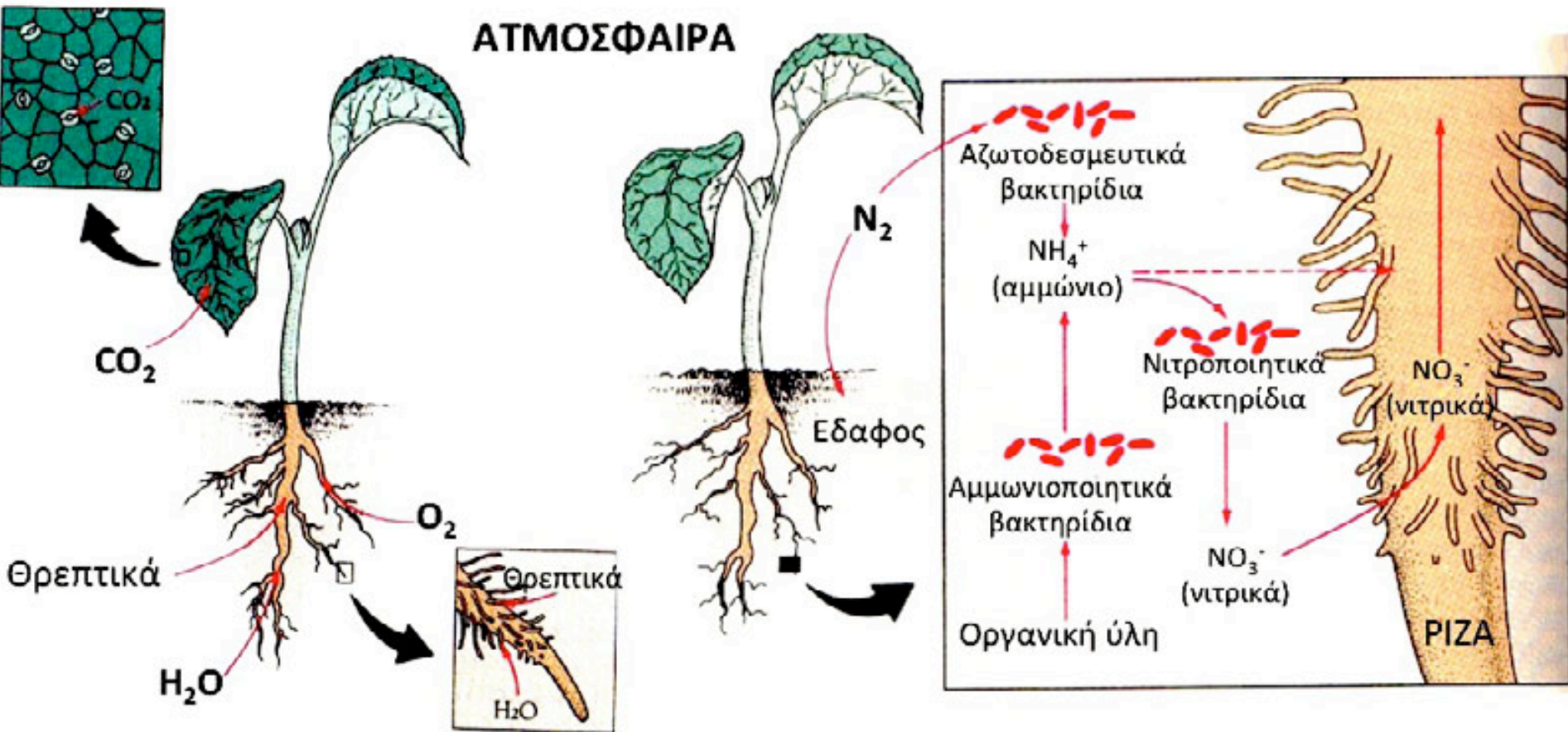
Περοξυσωμάτιο
Μιτοχόνδριο
Σωμάτιο Golgi
Μικροϊνίδια
Κενοτόπιο
Μικροσωληνίσκοι
Χλωροπλάστης
Κυτταρόπλασμα
Ριβόσωμα
Λείο ενδοπλασματικό
δίκτυο
Αδρό ενδοπλασματικό
δίκτυο
Κυτταροπλασματική
μεμβράνη
Κυτταρικό τοίχωμα
Πυρηνίσκος
Πυρήνας



ΖΩΙΚΟ ΚΥΤΤΑΡΟ

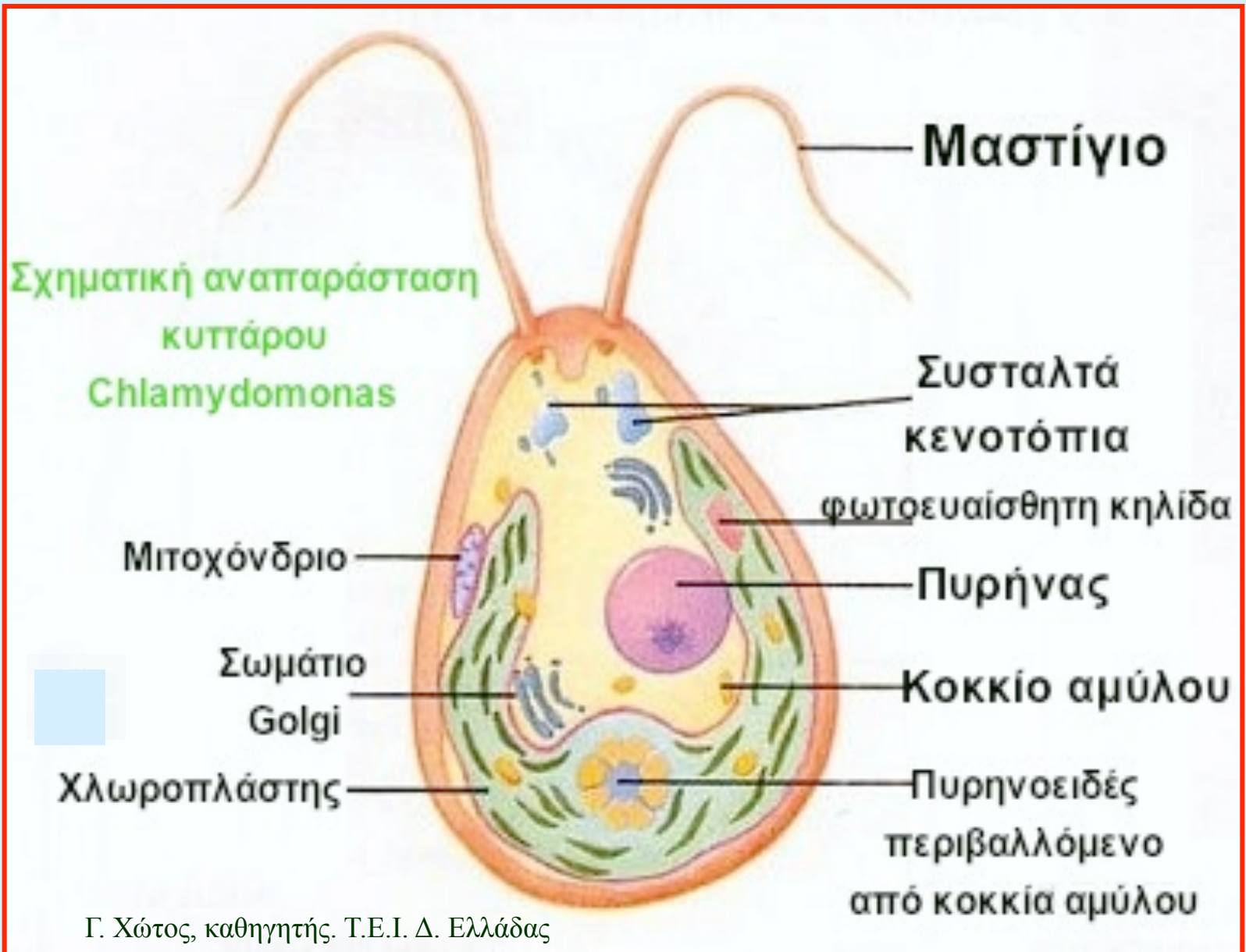
Μαστίγιο
Πυρήνας
Πυρηνίσκος
Σωμάτιο Golgi
Κυτταρόπλασμα
Σωμάτιο βάσης μαστιγίου
Μικροϊνίδια
Λυσοσωμάτιο
Κεντροσωμάτιο:
Κεντριόλιο
Περικεντριολική μάζα
Ριβόσωμα
Μικροσωληνίσκοι
Περοξυσωμάτιο
Αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο
Μιτοχόνδριο
Λείο ενδοπλασματικό δίκτυο
Κυτταρική
μεμβράνη

Πρόσληψη θρεπτικών από τα φυτά



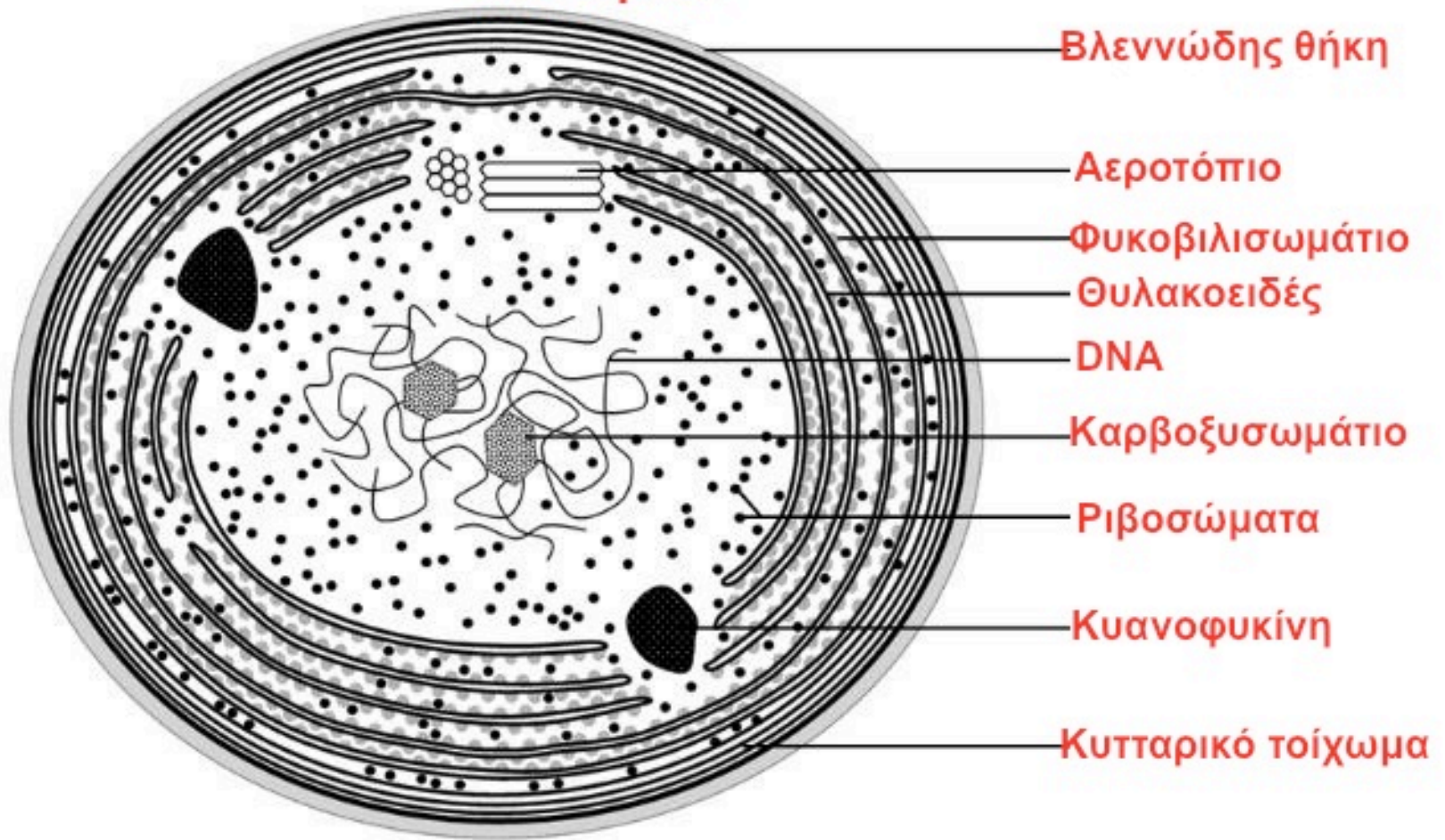
Τα φύκη δεν έχουν ρίζες και δεν τις χρειάζονται. Το νερό και τα διαλυμένα στο νερό θρεπτικά τα απορροφούν από τα κύτταρά τους που βρίσκονται μέσα στο νερό.

Τυπικό μονοκύτταρο φύκος *Chlamydomonas* sp.



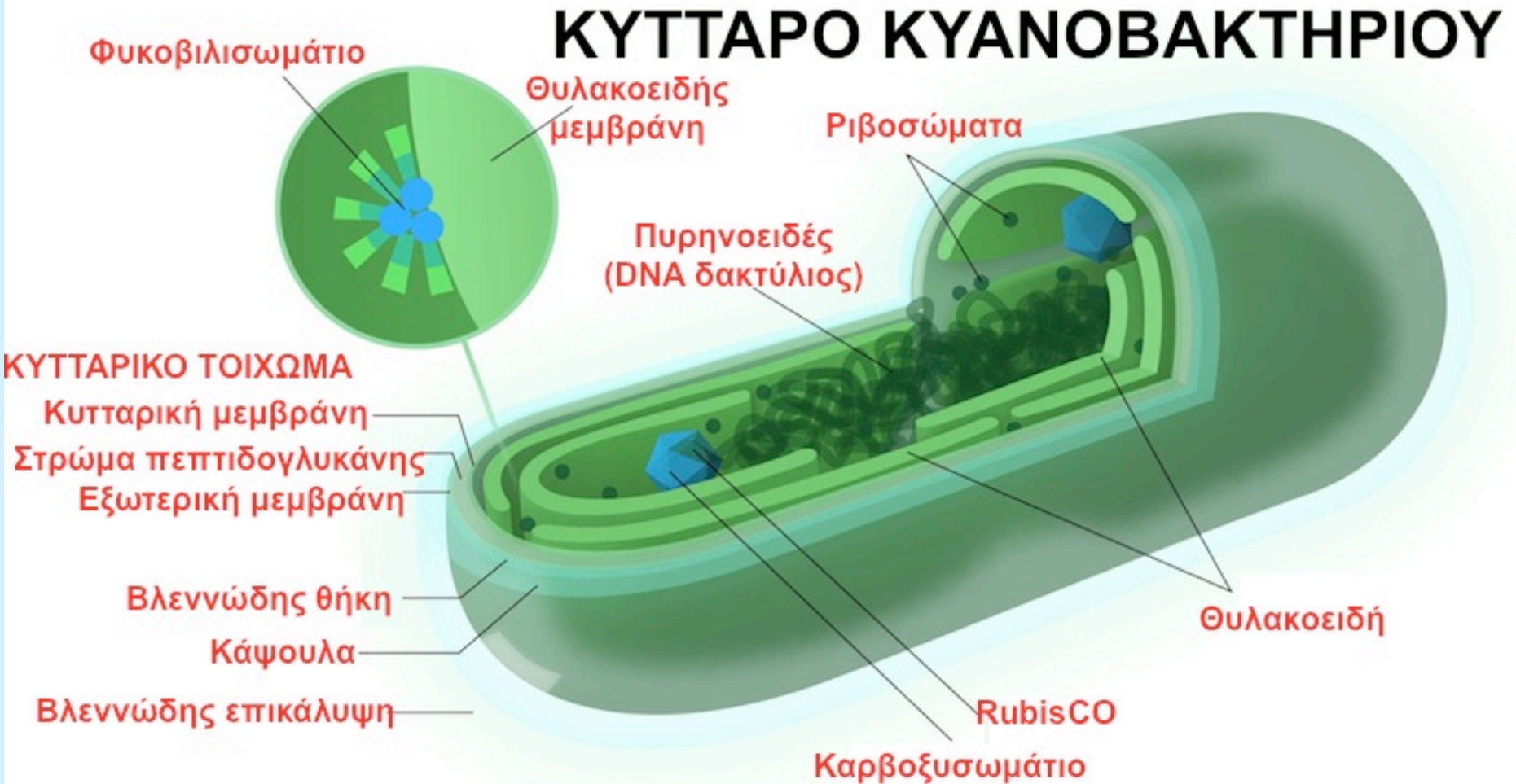
Το πιο «απλό» κυανοβακτηριακό κύτταρο

Διαγραμματική απεικόνιση κυανοβακτηριακού κυττάρου



500 nm
0.5 μ m

Κυανοβακτήριο τρισδιάστατο σε τομή



Το εσωτερικό του κυανοβακτηρίου

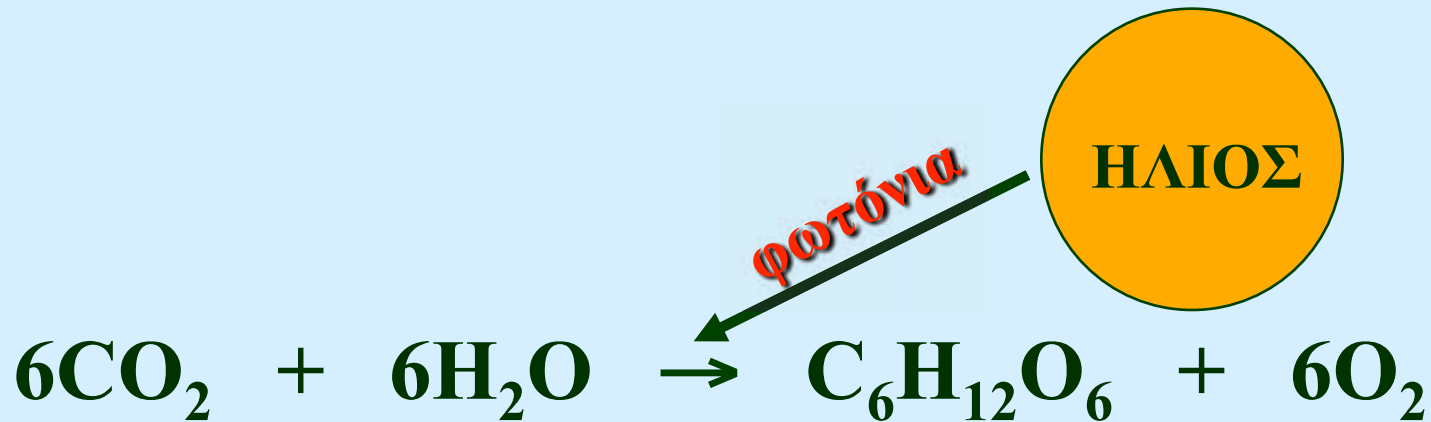


Φύκη vs Φυτών

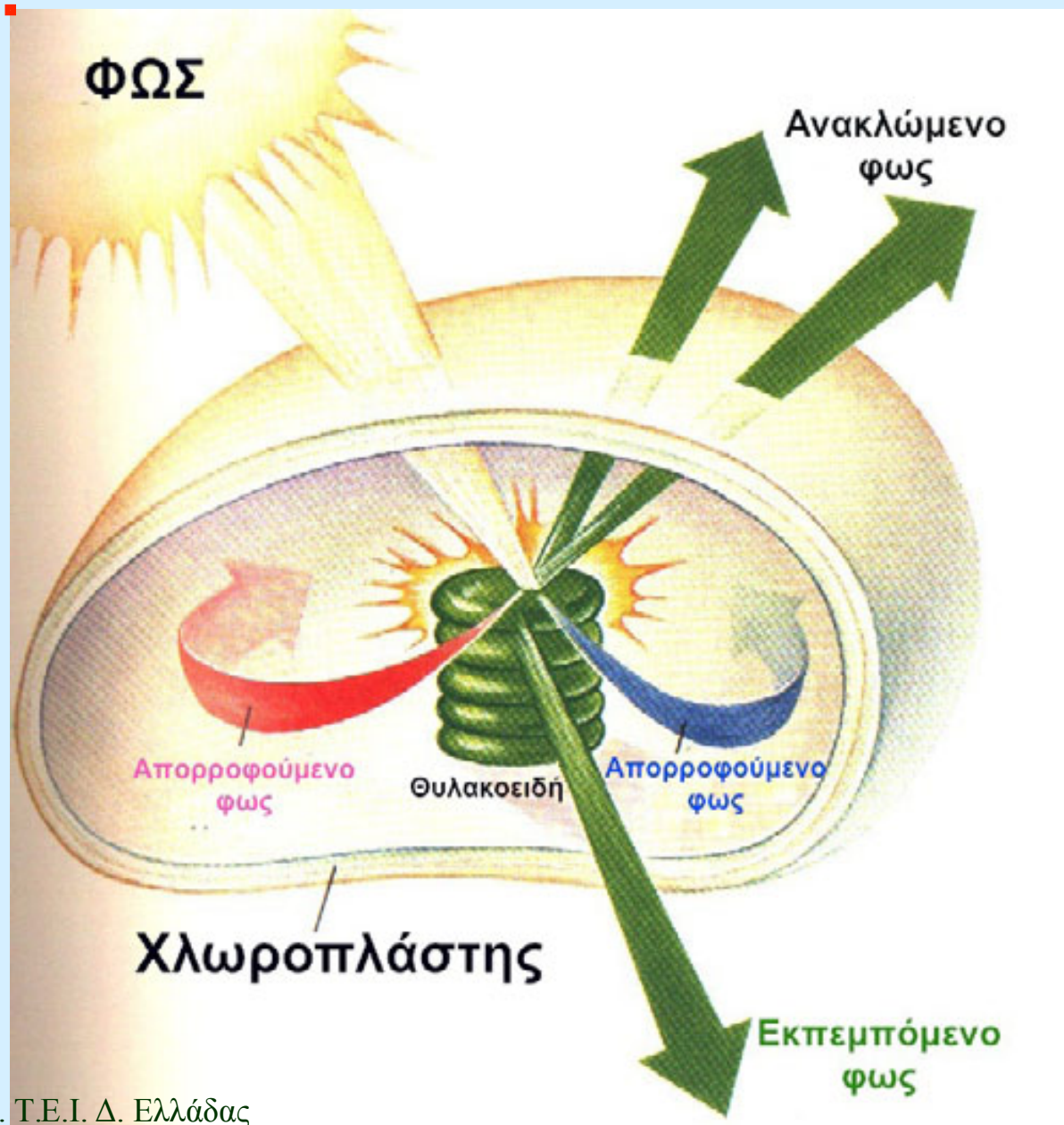
- Τα φύκη δεν υποφέρουν ποτέ από έλλειψη νερού.
- Τα φύκη φωτοσυνθέτουν καθόλο το «σώμα-θαλλό» τους (μονοκύτταρα-πολυκύτταρα), τα φυτά μόνο στα φύλλα τους.
- Τα φύκη δεσμεύουν το φως πιο εύκολα και πολλαπλασιάζονται πολύ πιο γρήγορα.
- Τα φύκη δεν σταματούν εποχιακώς να φωτοσυνθέτουν.
- Τα φύκη δεν έχουν ιδιαίτερες ανάγκες στήριξης-στερέωσης.
- Τα φύκη υπάρχουν σε πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια της Γης χωρίς νεκρές περιοχές (έρημοι, παγετώνες κ.λπ.) για αυτά.

Τι είναι η φωτοσύνθεση;

- Μια **αναβολική, ενδοεργονική**, απαιτούσα **διοξειδίο του άνθρακα (CO_2)** διαδικασία που χρησιμοποιεί **ηλιακή ενέργεια (φωτόνια)** και **νερό (H_2O)** και παράγει **οργανικά μόρια (γλυκόζη)**.



Το φως στους χλωροπλάστες



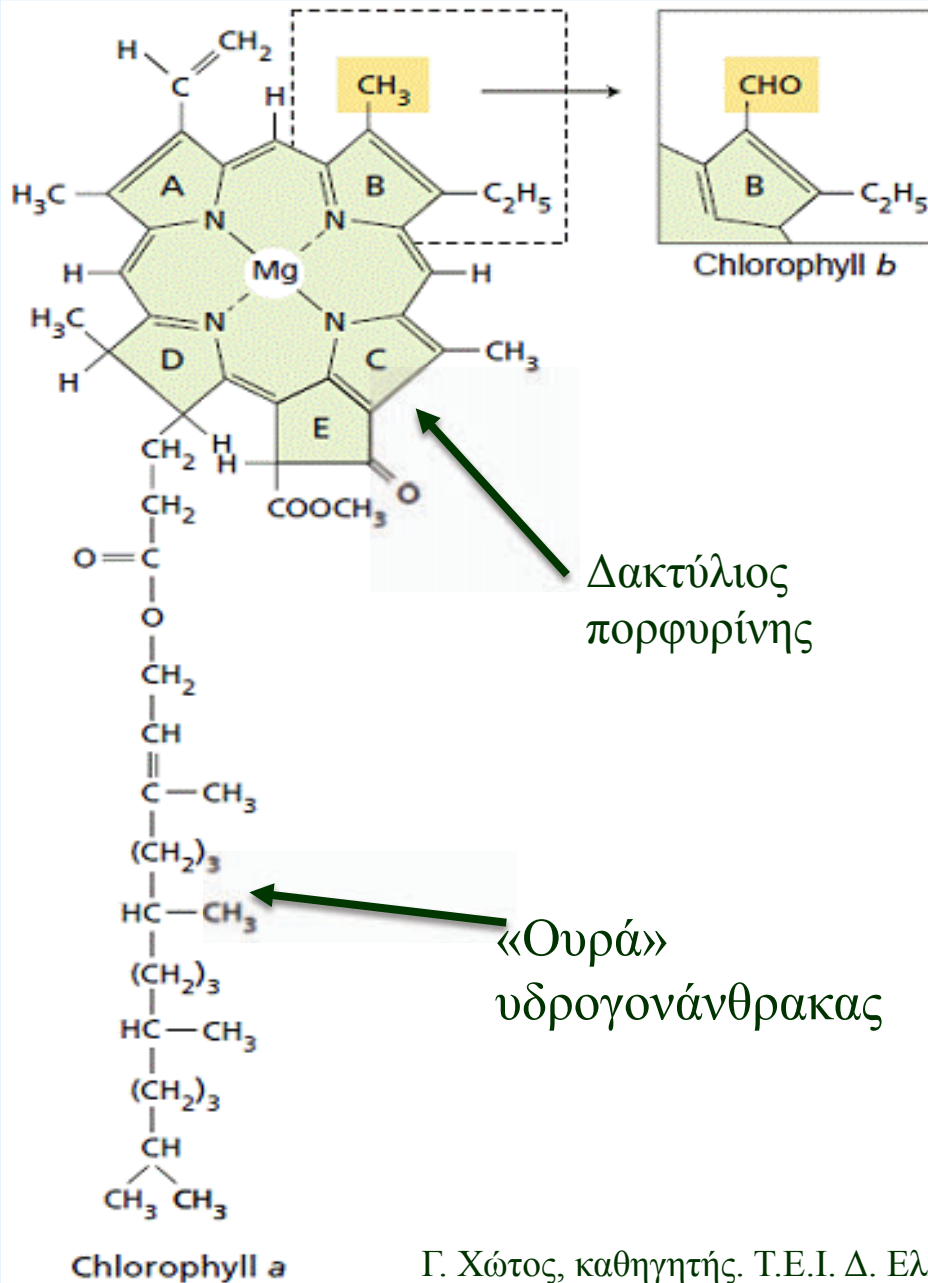
ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΕΣ

- Βρίσκονται στις **μεμβράνες των θυλακοειδών**.
- Το μόριο χλωροφύλλης έχει **Mg⁺** στο «κέντρο» του.
- **Οι χλωροφυλλούχες χρωστικές** συλλέγουν ενέργεια (φωτόνια) **απορροφώντας** ορισμένα **μήκη κύματος** (**μπλε-420 nm** και **κόκκινο-660 nm** τα πιο απορροφούμενα).
- **Φυτά και φύκη** είναι **πράσινα** (όσα είναι) επειδή το **πράσινο μέρος του φάσματος δεν απορροφάται** και **αντανακλάται**.

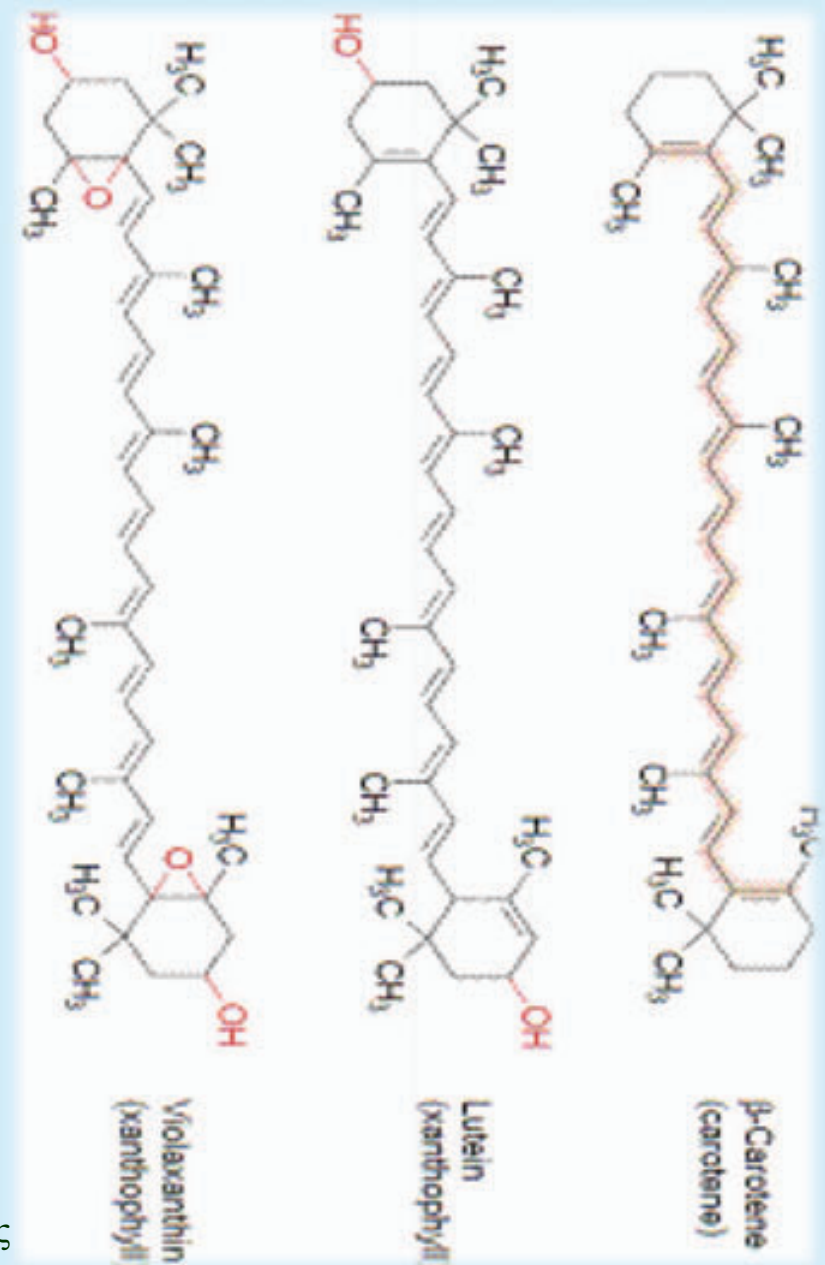
Άλλες χρωστικές

- Εκτός από τις **χλωροφυλλούχες** χρωστικές, στους χλωροπλάστες, υπάρχουν και άλλες **χρωστικές** (καρωτένια, ξανθοφύλλες).
- Τα **καρωτινοειδή** είναι χρωστικές είτε **κόκκινες** είτε **κίτρινες**.
- Κατά το φθινόπωρο, στα φύλλα, οι **πράσινες χλωροφυλλούχες** χρωστικές **σχεδόν εξαφανίζονται** και επικρατεί το χρώμα των άλλων **χρωστικών**.

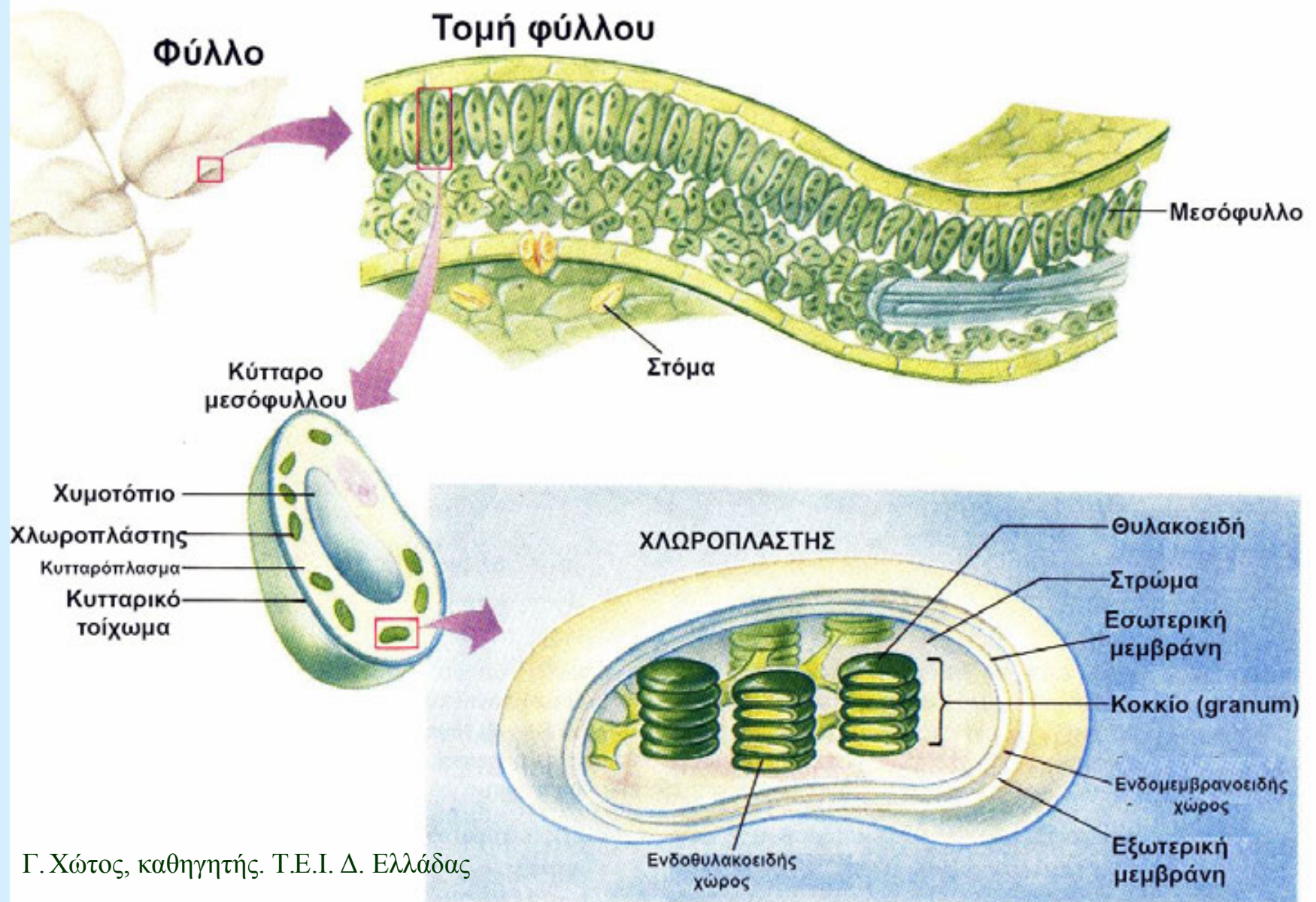
Μόρια χλωροφύλλης-καρωτενίου-ξανθοφυλλών



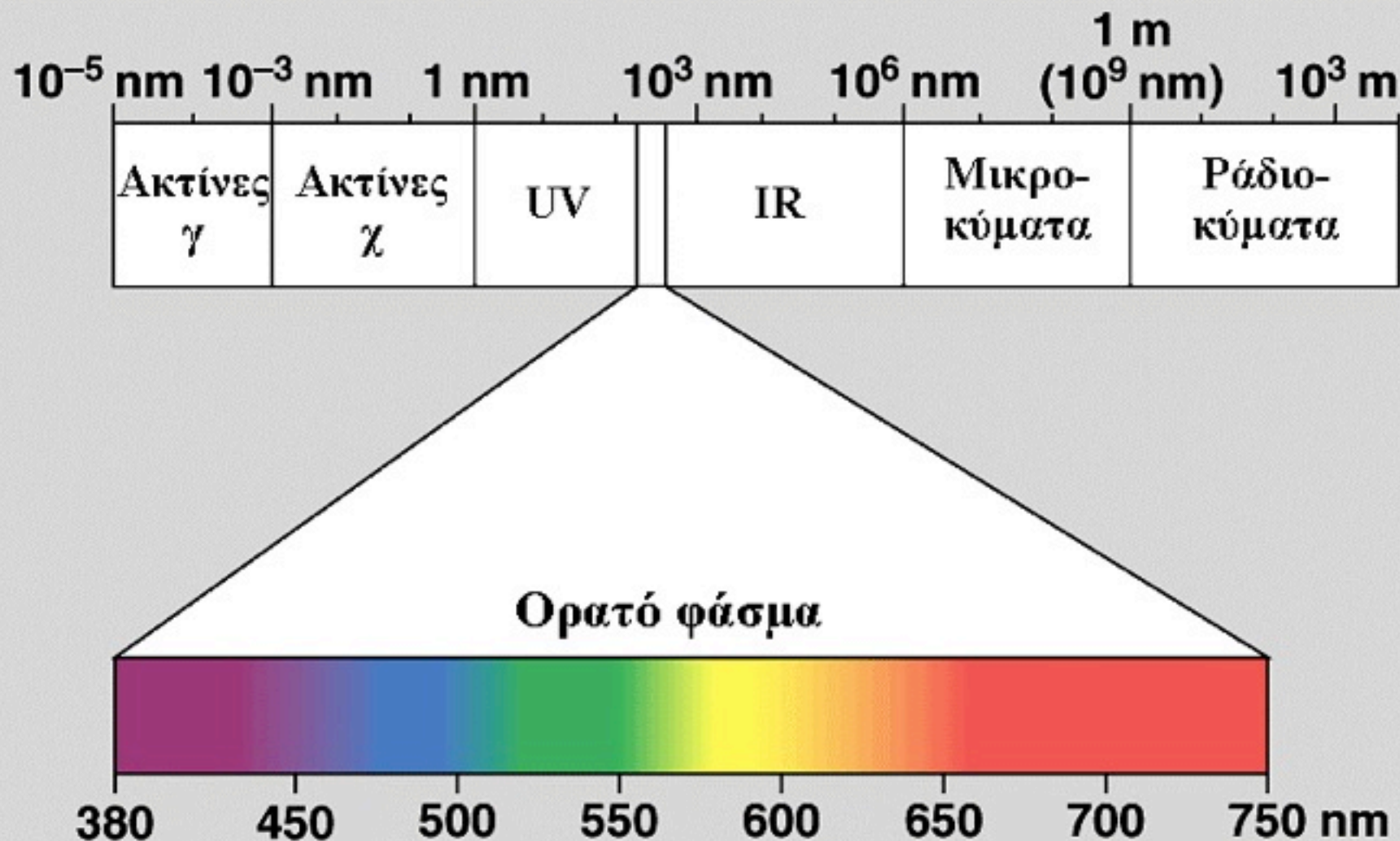
Γ. Χώτος, καθηγητής. Τ.Ε.Ι. Δ. Ελλάδας



Φυτά-εδώ συμβαίνει φωτοσύνθεση

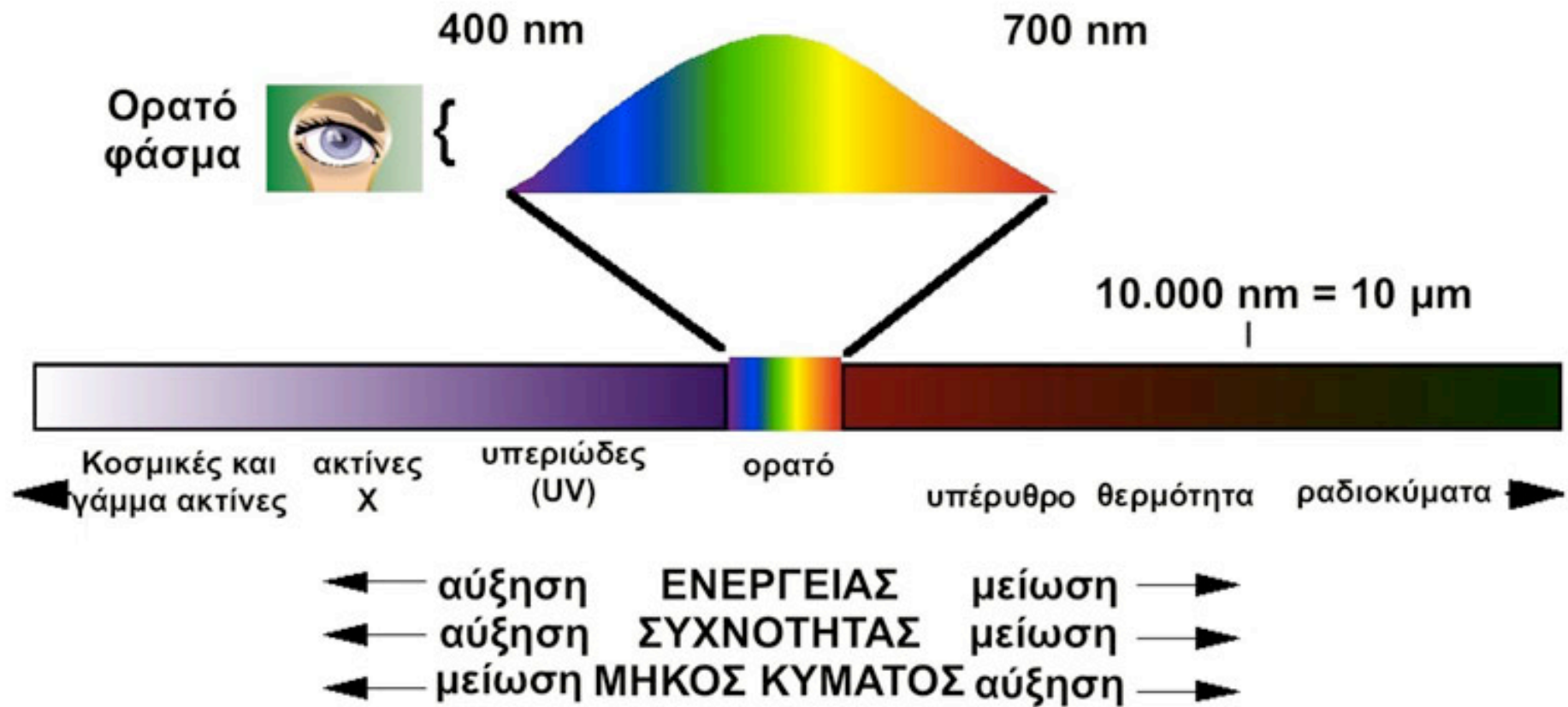


Το ορατό φάσμα, μια πολύ μικρή περιοχή

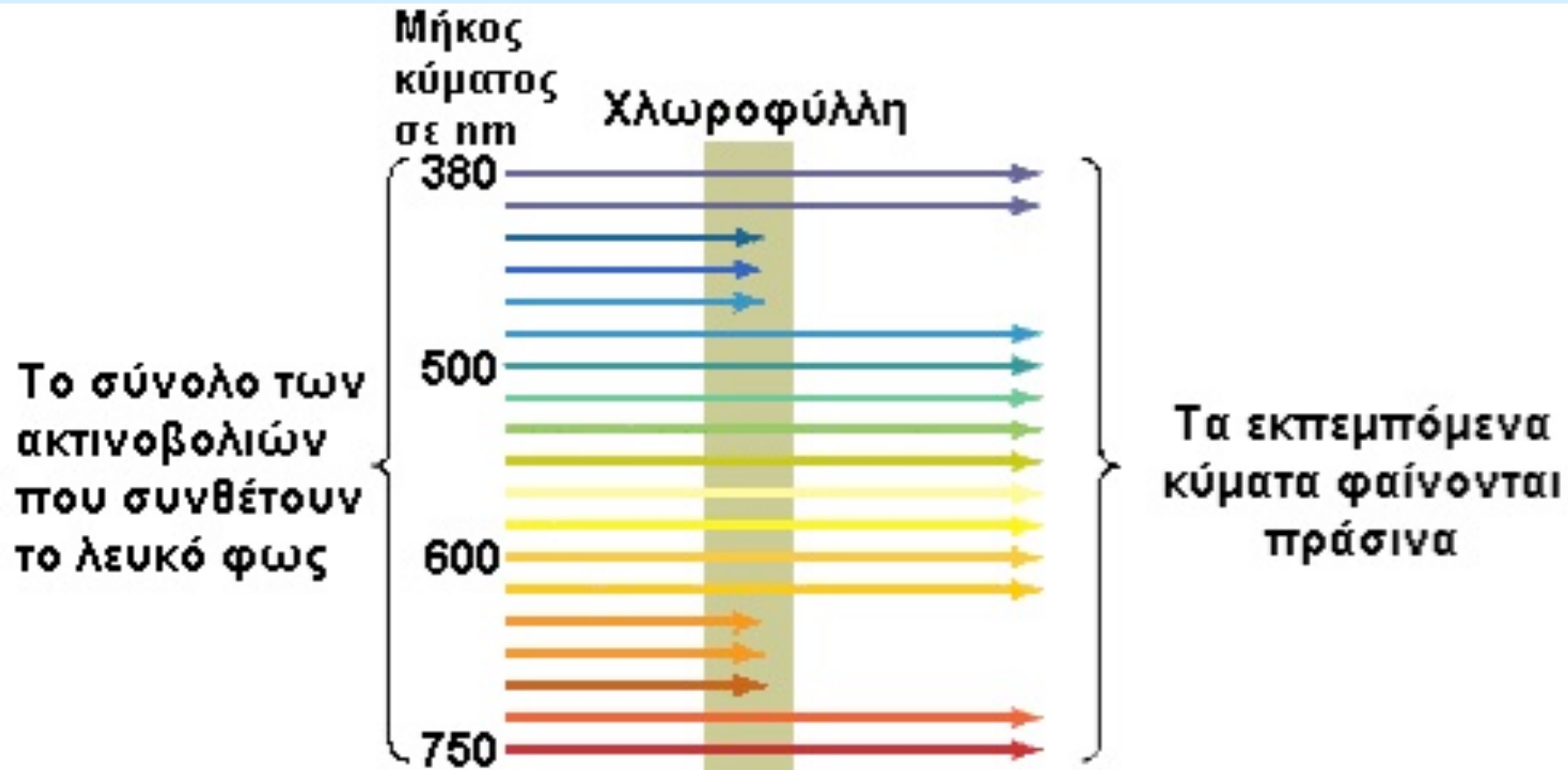


Μικρά μήκη κύματος —————> Μεγάλα μήκη κύματος
Περισσότερη ενέργεια —————> Λιγότερη ενέργεια

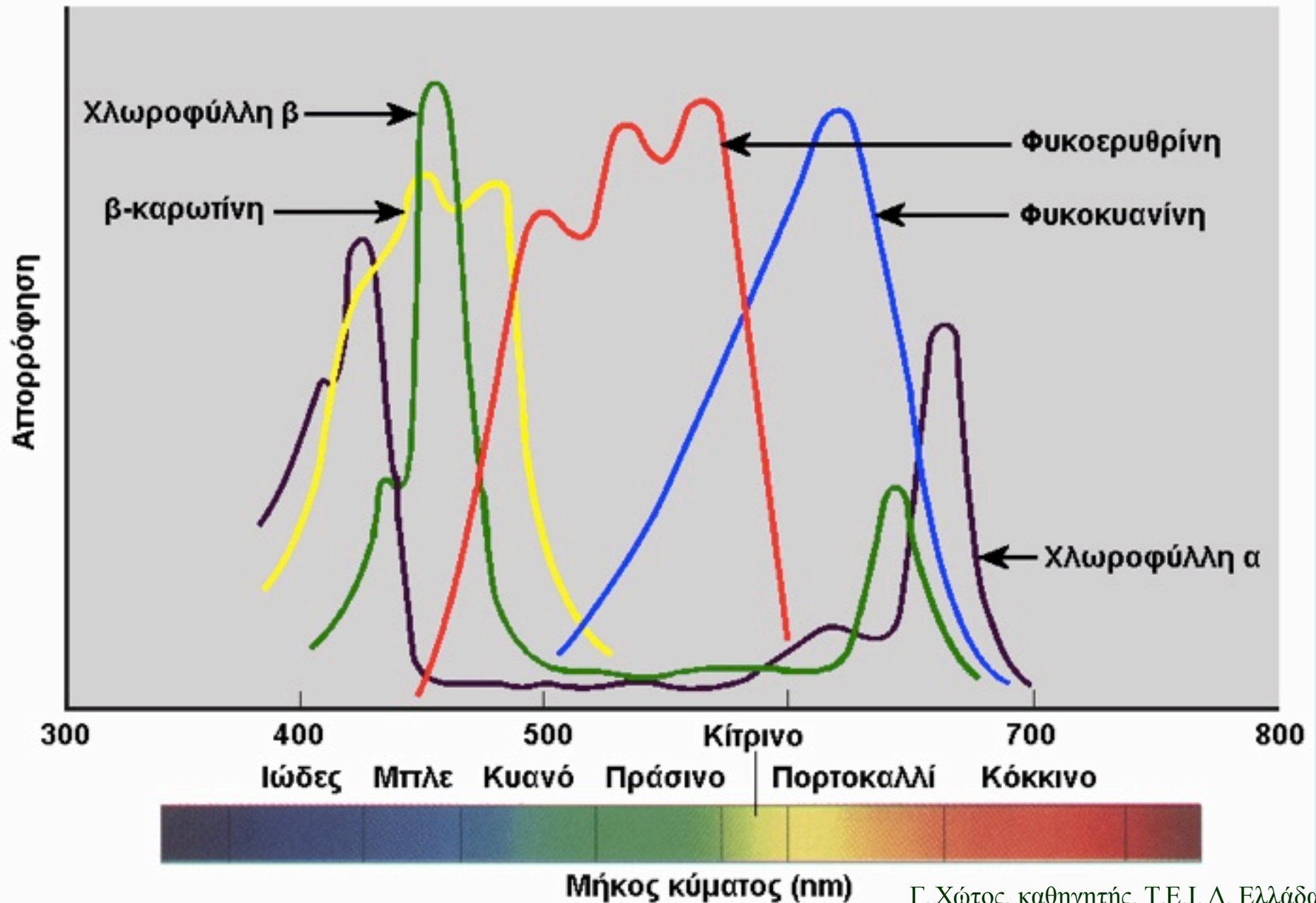
Το ελάχιστο μέρος του φάσματος που είναι ορατό (και φωτοσυνθετικώς ενεργό)



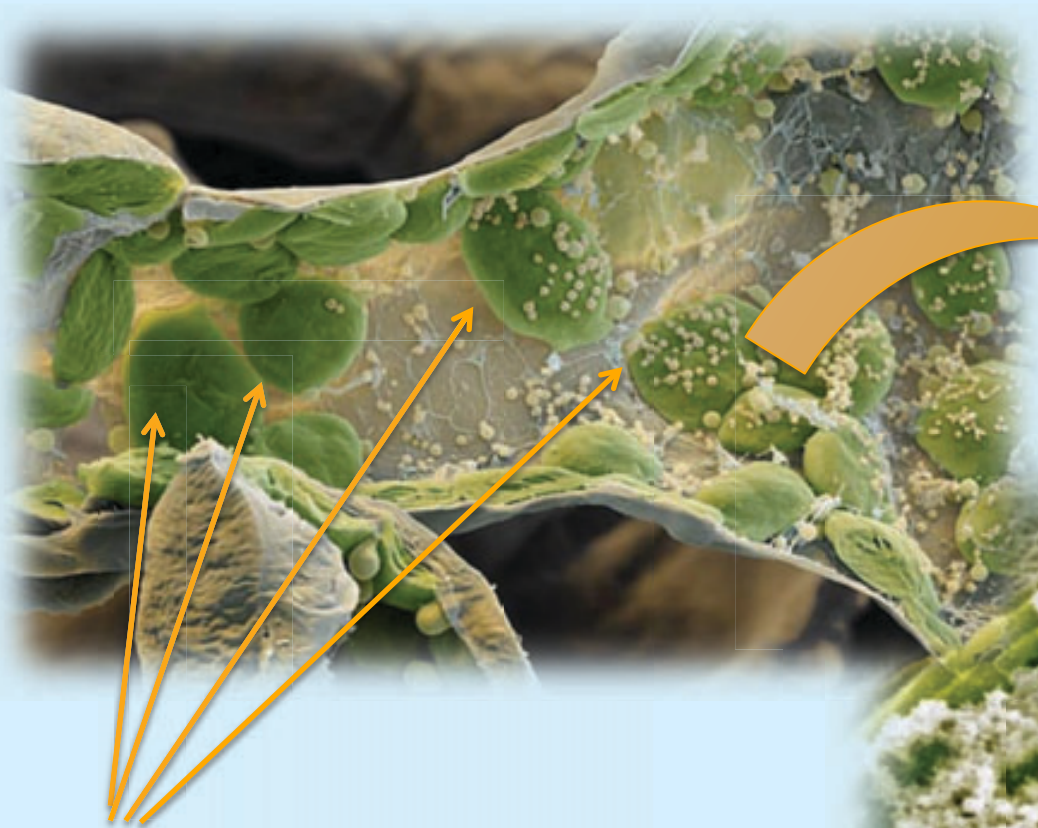
Αυτό το φάσμα απορροφά η χλωροφύλλη, αυτό αφήνει να περνά (και το βλέπουμε εμείς)



Πανόραμα απορρόφησης όλων των χρωστικών



Μικροσκοπική φωτογραφία χλωροπλαστών

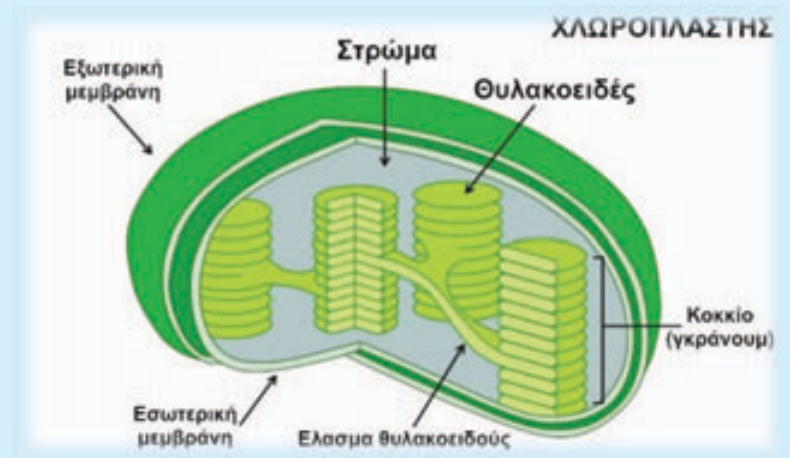
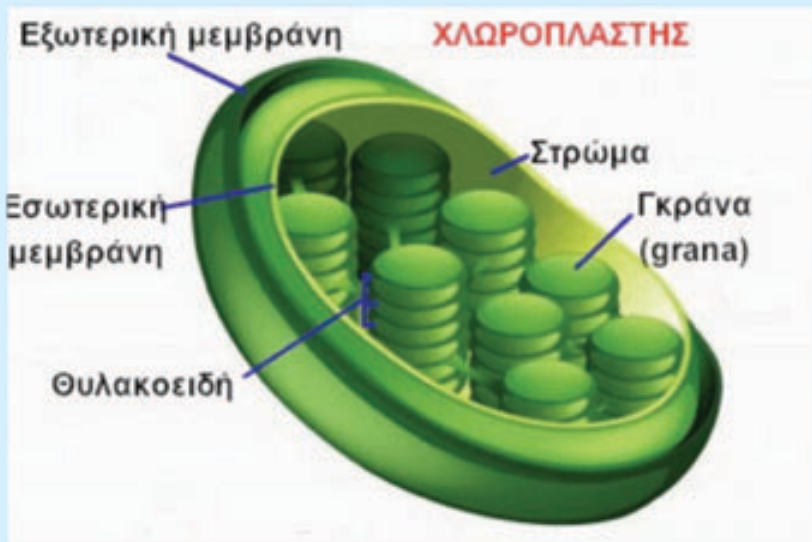


Χλωροπλάστες σε φυτικό
κύτταρο

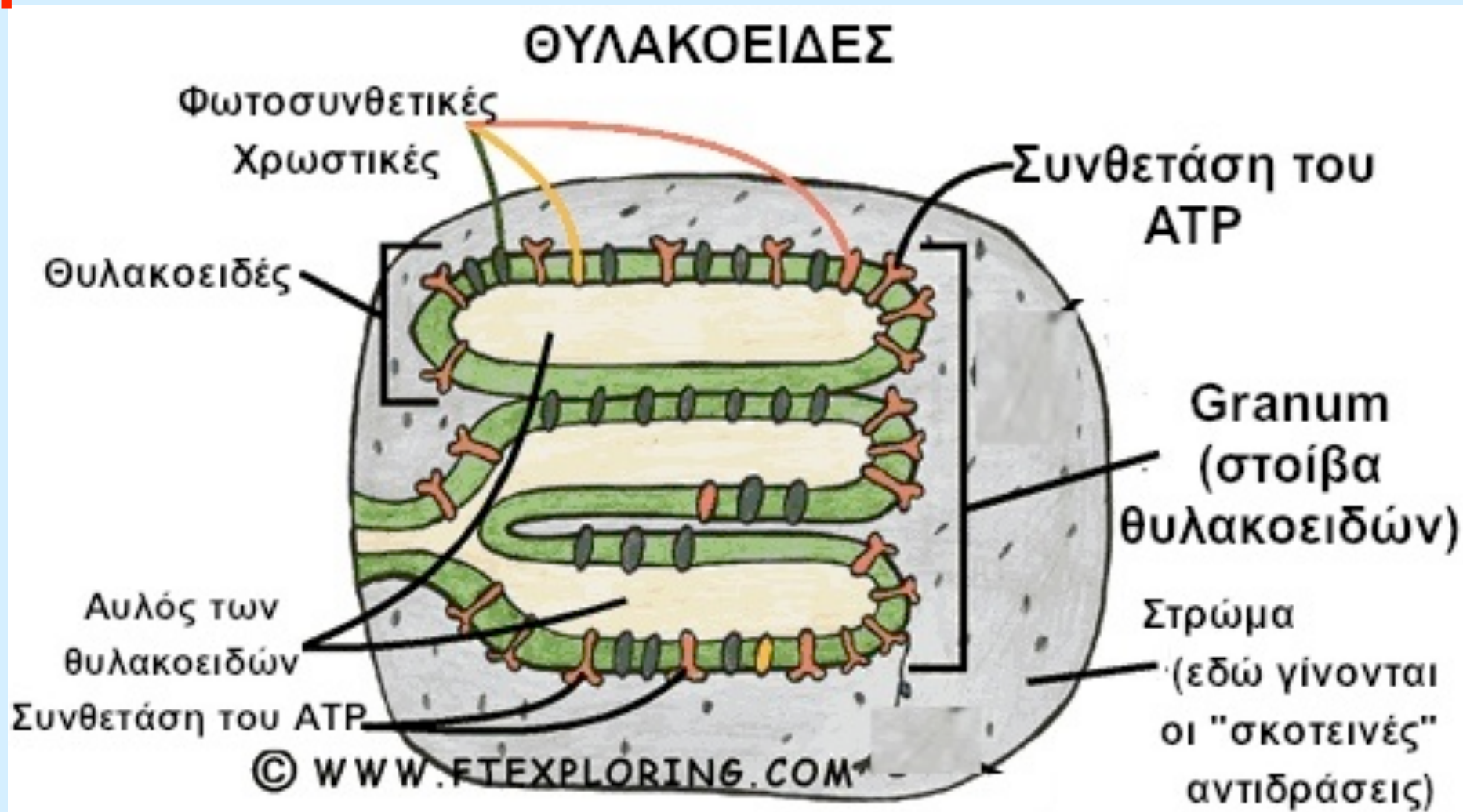
Μεγέθυνση ενός
χλωροπλάστη
Διακρίνονται οι
θυλακοειδείς μεμβράνες



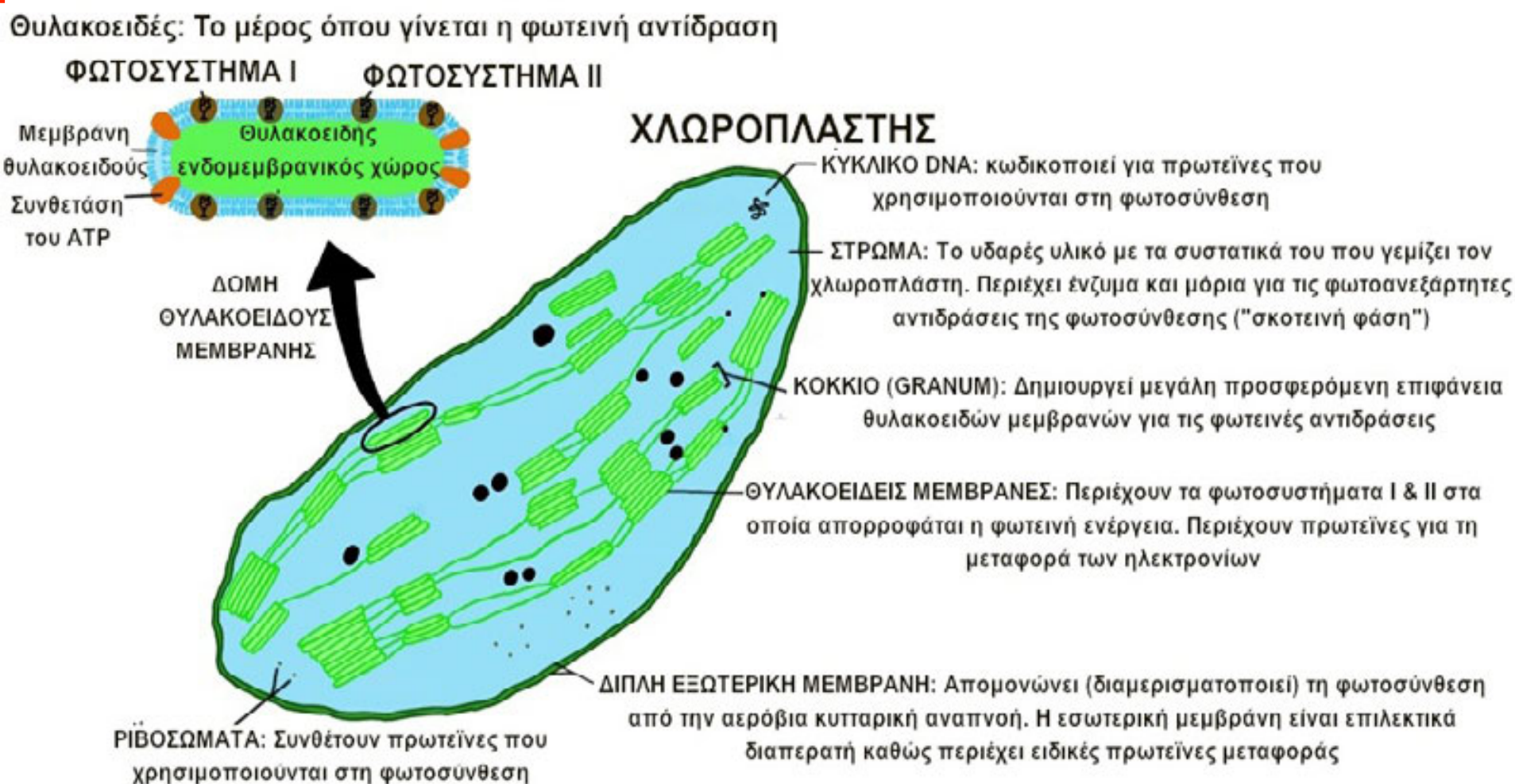
Χλωροπλάστες-τομές



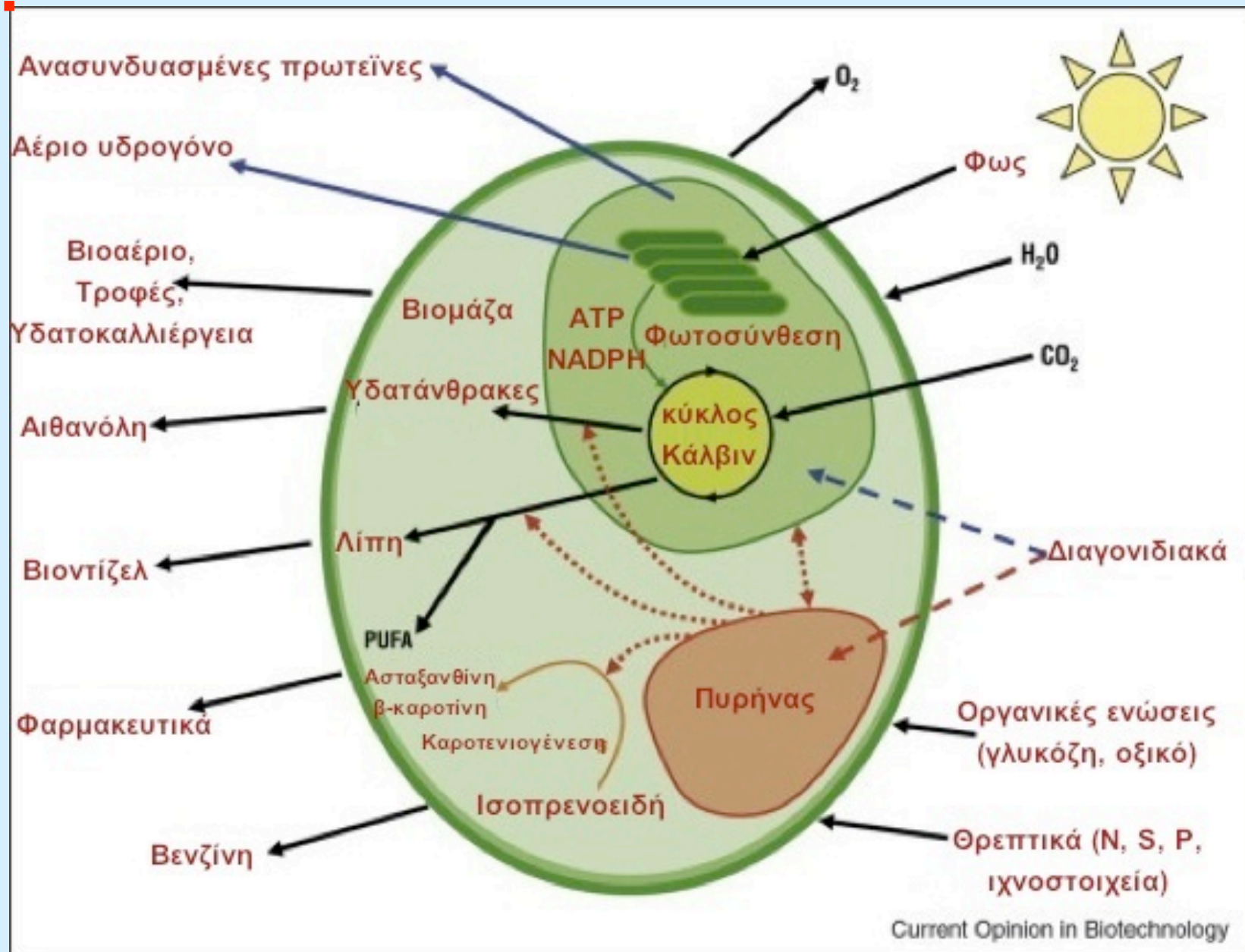
Στη θυλακοειδή μεμβράνη συμβαίνουν όλα ...



Η «πλούσια» δομή ενός χλωροπλάστη



Τι μπορεί να μας δώσουν τα φυτά και τα φύκη



Χλωροπλάστης-φωτοσύστημα-χλωροφύλλη

Χλωροπλάστης

Μεμβράνη θυλακοειδούς

Φωτοσυστήματα & Χλωροφύλλη

Ενεργειακό κέντρο
χλωροφύλλης
(P680, P700)

Μεταφορά ηλεκτρονίου
και ενέργειας

Φωτόνιο
(500 nm)

Δέκτης
ηλεκτρονίου

Φωτόνιο
(450 nm)

Καροτενοειδές

Χλωροφύλλη

Φωτοσύστημα

στην χλωροφύλλη b CHO

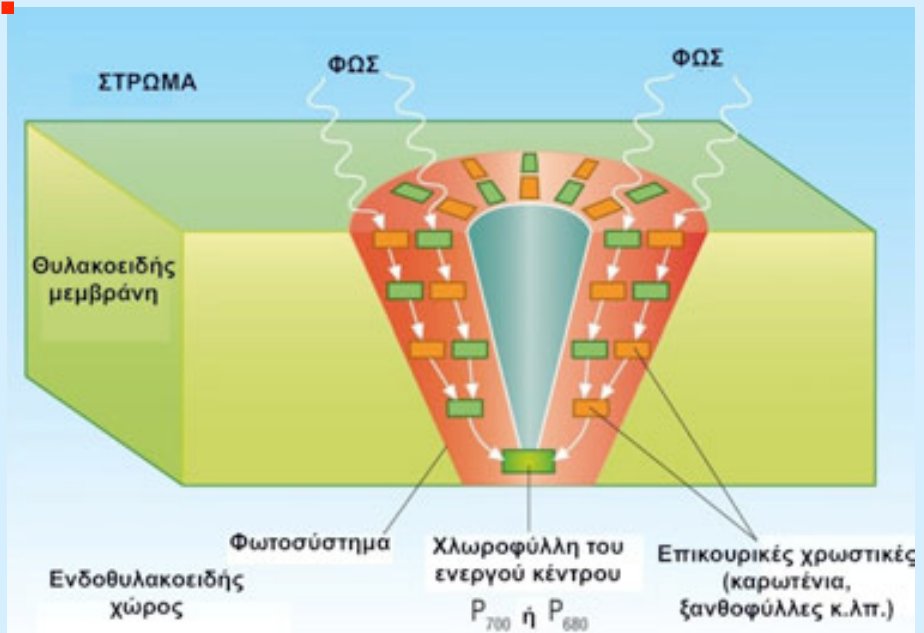
στην χλωροφύλλη a

Πορφυρίνη
(κεφαλή)

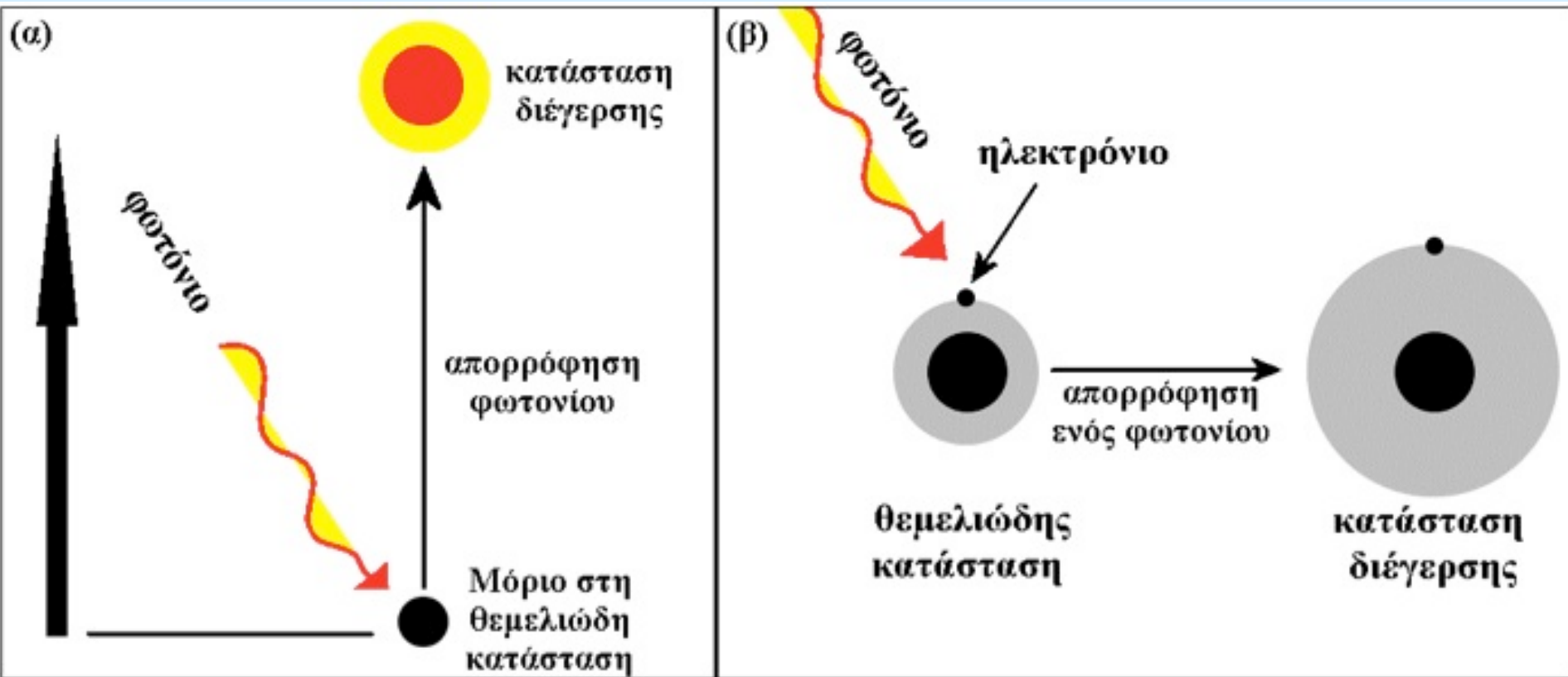
Υδρογονάνθρακας
("ουρά")

Χλωροφύλλη

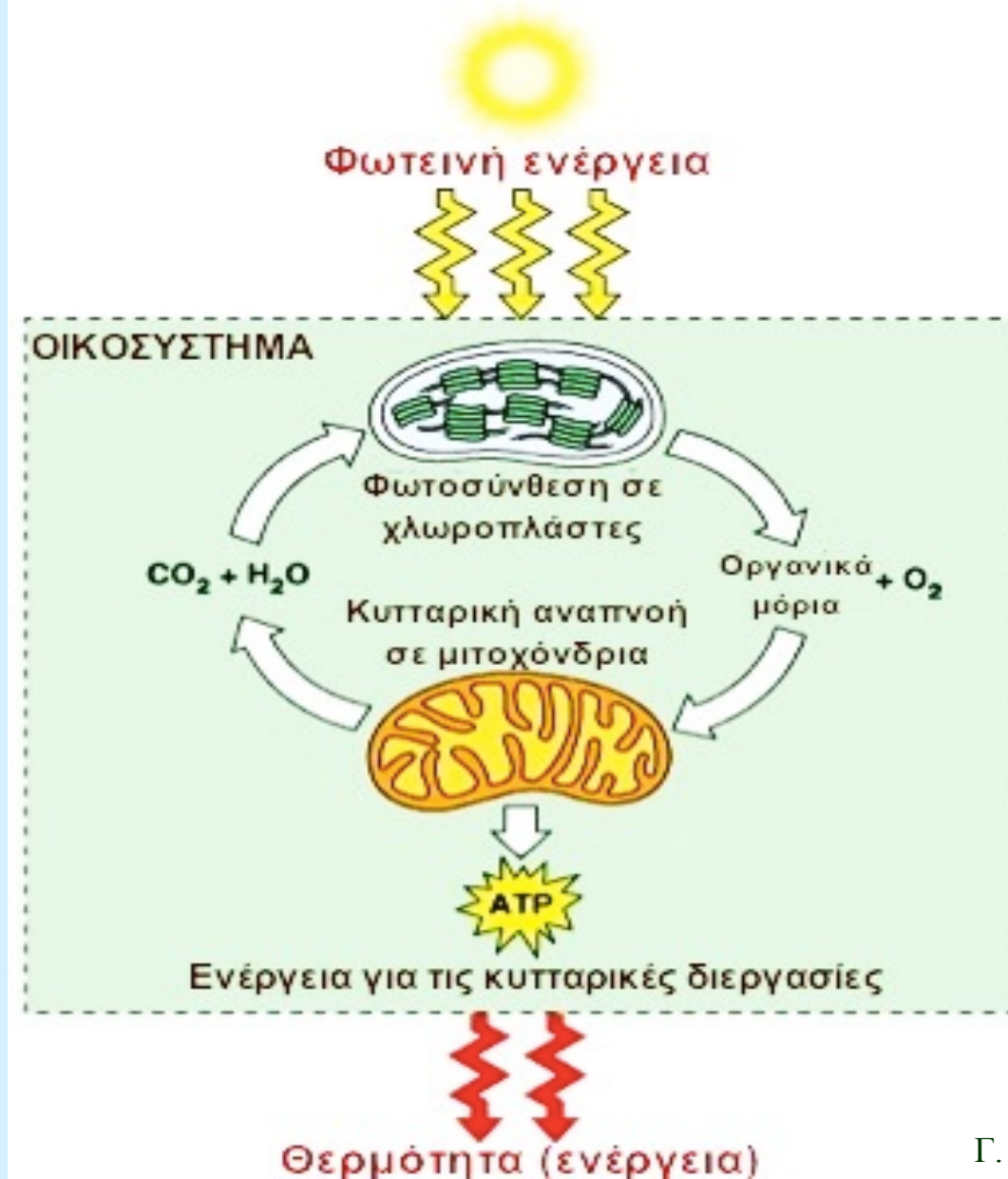
Συγκέντρωση ενέργειας στο κέντρο αντίδρασης



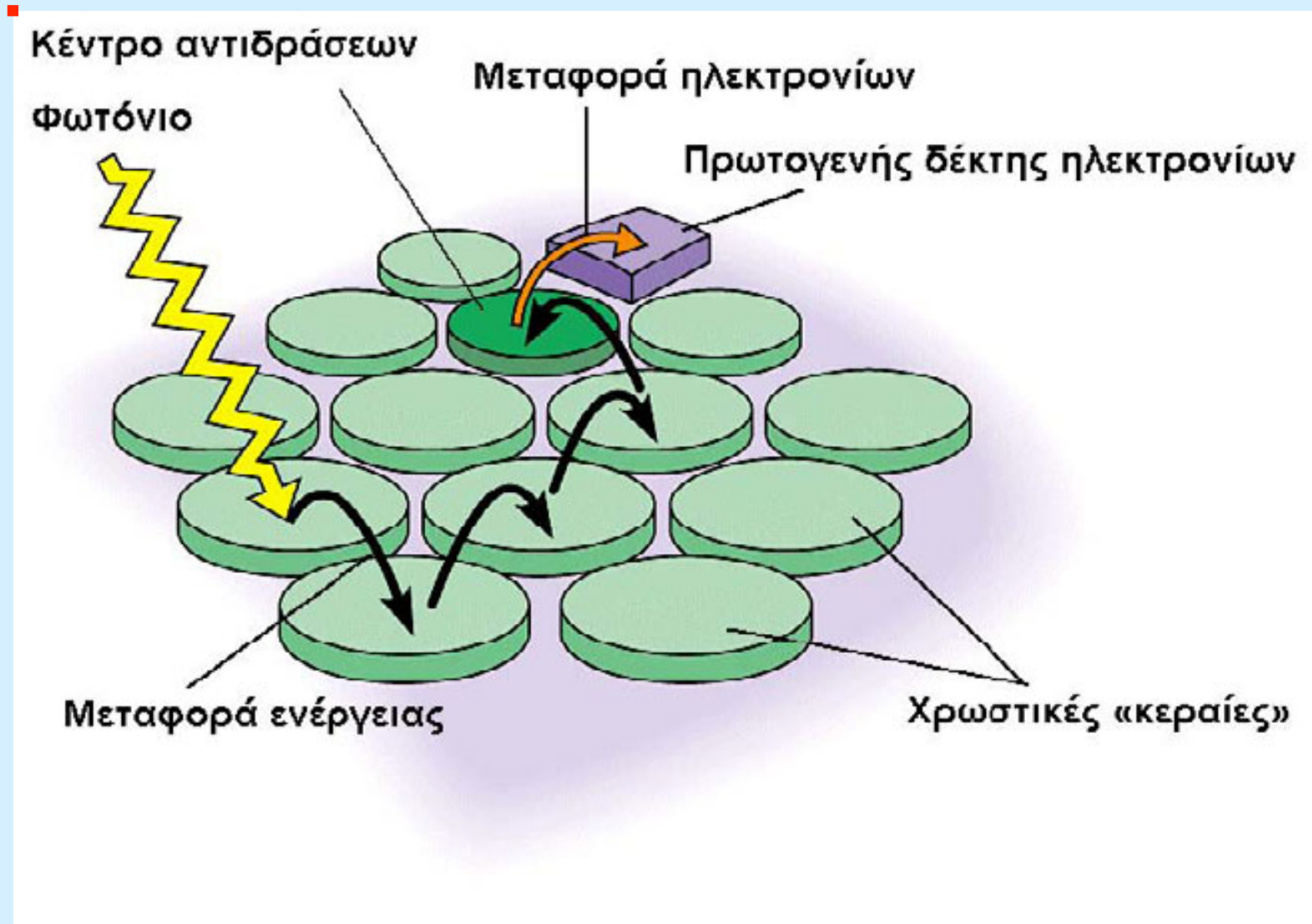
Διέγερση ηλεκτρονίου χλωροφύλλης από φωτόνια



Ροή της ενέργειας σε χλωροπλάστες και μιτοχόνδρια



Το φωτοσύστημα από κοντά



Ανάλυση της φωτοσύνθεσης

- Δύο διακριτές φάσεις (αντιδράσεις).

1. Φωτεινή αντίδραση ή Φωτοεξαρτώμενη αντίδραση

Παράγει **ενέργεια** από **το φως (φωτόνια)** στις μορφές των **ATP** και **NADPH**.

Ανάλυση της φωτοσύνθεσης

2. Κύκλος του Κάλβιν (Calvin) ή
Φωτοανεξάρτητη αντίδραση ή
Δέσμευση άνθρακα ή
 C_3 στερέωση ή «σκοτεινή» αντίδραση

Χρησιμοποιεί **ενέργεια (ATP & NADPH)** από τη
φωτεινή αντίδραση και παράγει **σάκχαρα**
(γλυκόζη).

1. Φωτεινή αντίδραση (Ροή ηλεκτρονίων)

- Συμβαίνει στις **μεμβράνες των θυλακοειδών**
- Κατά τη **φωτεινή αντίδραση**, υπάρχουν **δύο πιθανές** «πορείες» για τη **ροή των ηλεκτρονίων**.

A. Κυκλική ροή ηλεκτρονίων

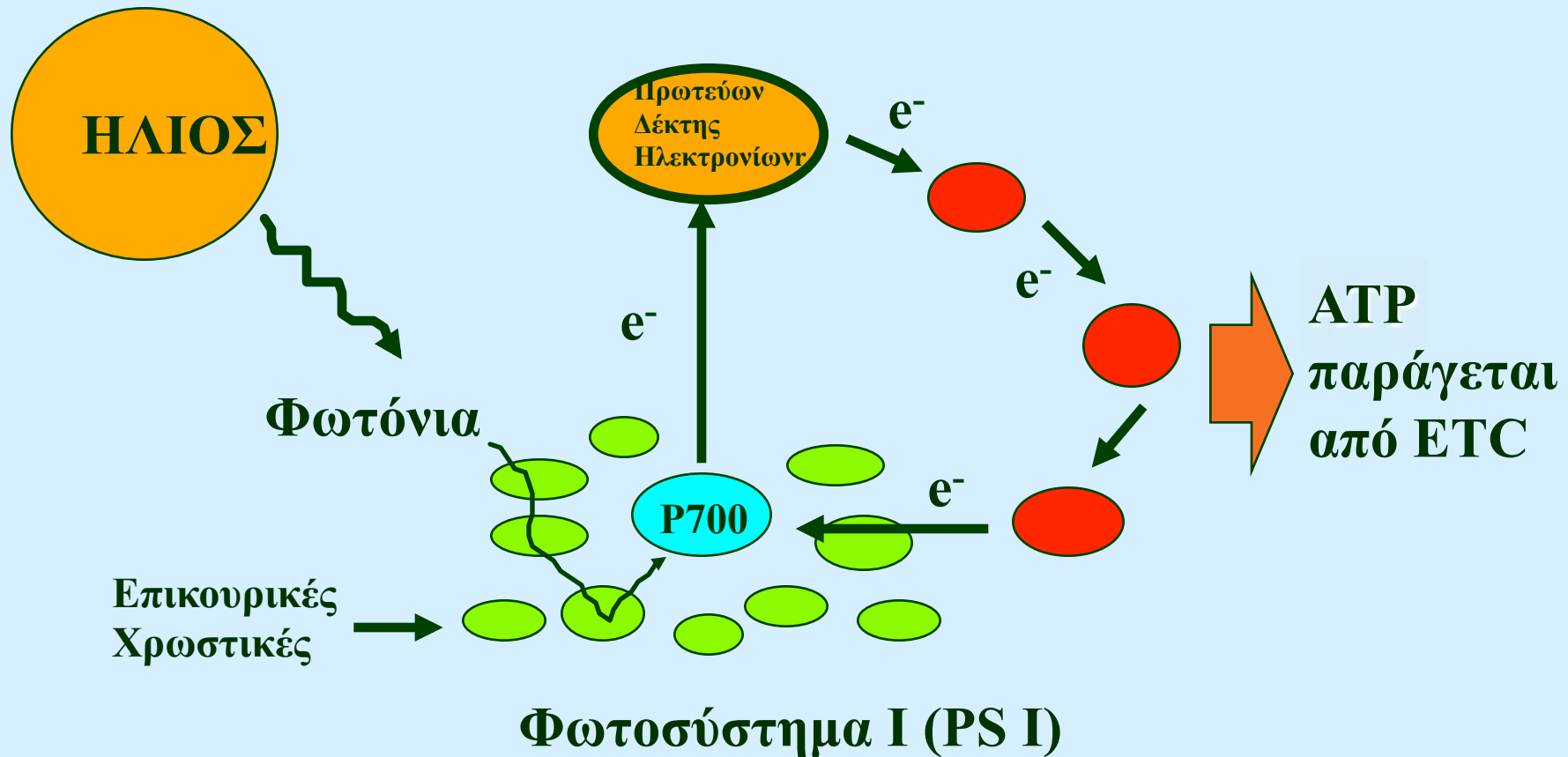
B. Μη κυκλική ροή ηλεκτρονίων

Α. Κυκλική Ροή Ηλεκτρονίων

- Συμβαίνει στις **θυλακοειδείς μεμβράνες**.
- Χρησιμοποιεί το **Φωτοσύστημα I μόνο**
- P700 κέντρο αντίδρασης- Χλωροφύλλη-a
- Γίνεται διά της **Αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων (Electron Transport Chain -ETC)**
- **Παράγει ATP μόνο**

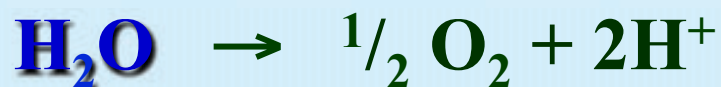


Α. Κυκλική Ροή Ηλεκτρονίων

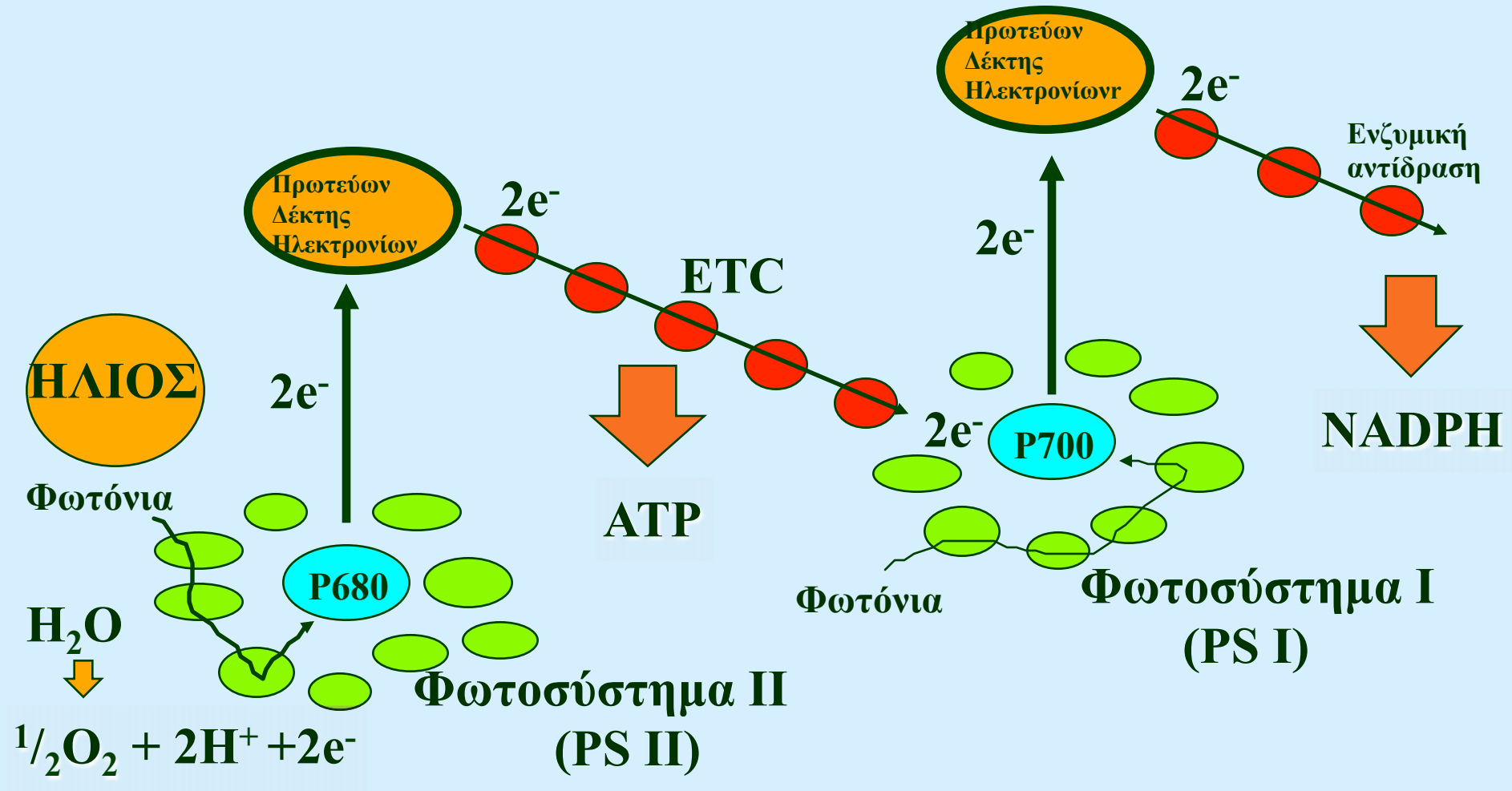


B. Μη Κυκλική Ροή Ηλεκτρονίων

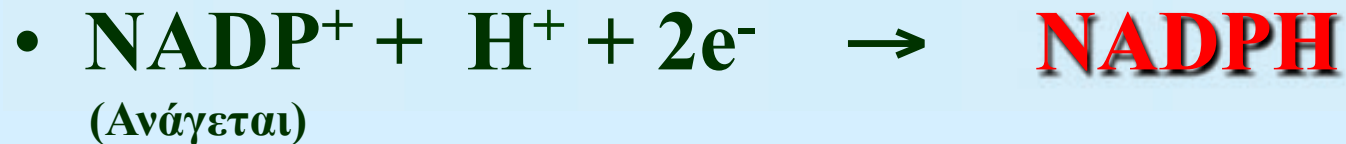
- Συμβαίνει στις **Θυλακοειδείς μεμβράνες**
- Χρησιμοποιεί **PS II** και **PS I**
- **P680** κέντρο αντίδρασης (PS II) – Χλωροφύλλη **a**
- **P700** κέντρο αντίδρασης (PS I) – Χλωροφύλλη **a**
- Χρησιμοποιεί **Electron Transport Chain (ETC-Αλυσίδα Μεταφοράς Ηλεκτρονίων)**
- **Παράγει O₂, ATP και NADPH**
- **Το οξυγόνο προέρχεται από τη διάσπαση (φωτόλυση) του H₂O, όχι του CO₂**



Β. Μη Κυκλική Ροή Ηλεκτρονίων



Β. Μη Κυκλική Ροή Ηλεκτρονίων



Η παραγωγή των παραπάνω μορίων είναι η «ουσία» της φωτεινής αντίδρασης

Χημειώσμωση

- Κινεί την **σύνθεση του ATP** .
- Γίνεται στις **θυλακοειδείς μεμβράνες**.
- Χρησιμοποιεί την **ETC** και το **ATP συνθετάση (ένζυμο)** παράγοντας **ATP**.
- **Φωτοφωσφορυλίωση:** πρόσθεση μιας **φωσφορικής ρίζας** στο **ADP** παράγοντας **ATP**.

Χημειώσμωση

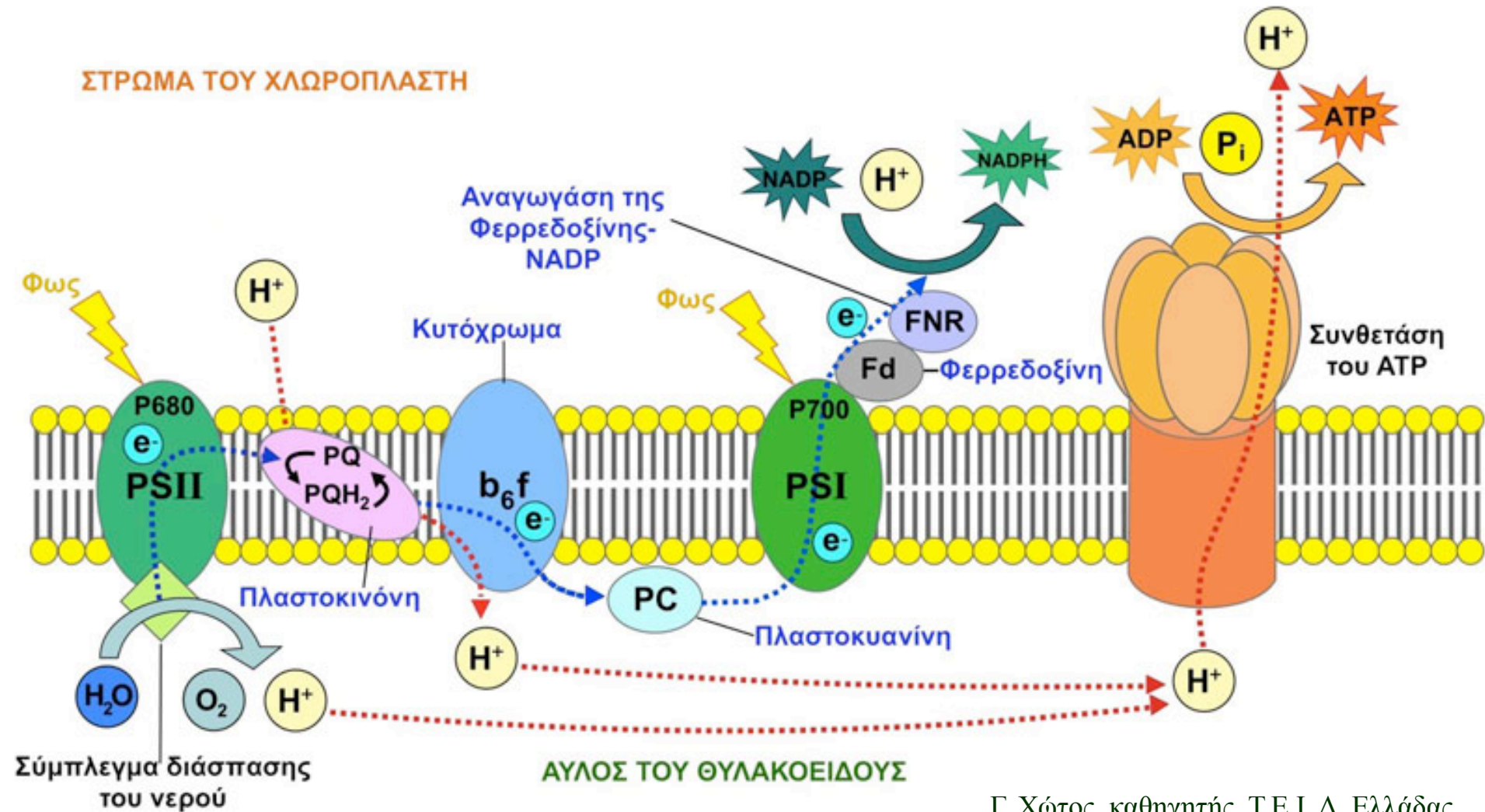
- Ο μηχανισμός της χημειώσμωσης για τη **σύνθεση του ATP** είναι ο εξής:
- Γίνεται στις **θυλακοειδείς μεμβράνες**.
- Κατά τη φωτόλυση (διάσπαση) του H_2O παράγονται συνεχώς πρωτόνια (H^+) συσσωρευόμενα στον αυλό (εσωτερικό) του θυλακοειδούς
- Συνάμα περισσότερα πρωτόνια (H^+) από το στρώμα μεταφέρονται στον αυλό του θυλακοειδούς με ενέργεια που προσφέρει η μεταφορά των ηλεκτρονίων από το PS II στο PS I. Έτσι συσσωρεύονται πολλά περισσότερα πρωτόνια στο εσωτερικό του θυλακοειδούς συγκριτικά με το εξωτερικό του (στρώμα).

Χημειώσμωση

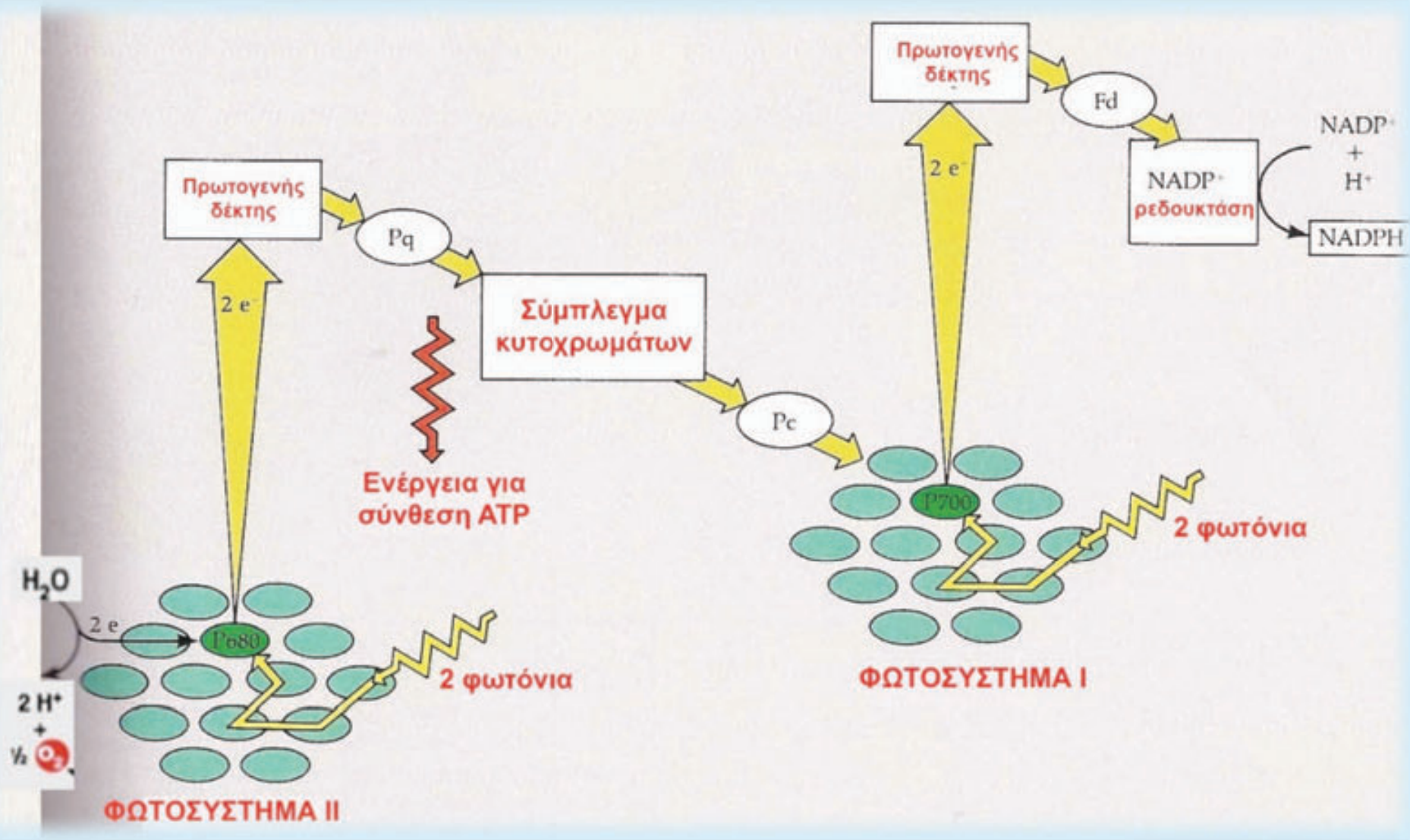
- Η διαφορά στη **συγκέντρωση** πρωτονίων στις δύο αυτές περιοχές που διαχωρίζονται από μεμβράνη (θυλακοειδής μεμβράνη) μη διαπερατή στα ιόντα (και το H^+ είναι ιόν), δημιουργεί μια οσμωτική πίεση με τάση των ιόντων να μεταφερθούν από το εσωτερικό του θυλακοειδούς προς το στρώμα.
- Η μόνη «οδός διαφυγής» τους είναι μέσω μιας ειδικής πρωτεΐνης ενσφηνωμένης στη μεμβράνη, της **ATP συνθετάσης (ένζυμο)**.
- Η ATP συνθετάση ενεργοποιούμενη από τη «βεβιασμένη» διέλευση των H^+ διά μέσου διαύλου της παράγει **ATP με πρόσθεση μιας φωσφορικής ρίζας (P_i) στο ADP**.

Γενικώς στη φωτοσύνθεση, φωτοφωσφορυλίωση ονομάζουμε την πρόσθεση μιας **φωσφορικής ρίζας** στο **ADP** παράγοντας **ATP**.

Η Χημειώσμωση παραστατικά

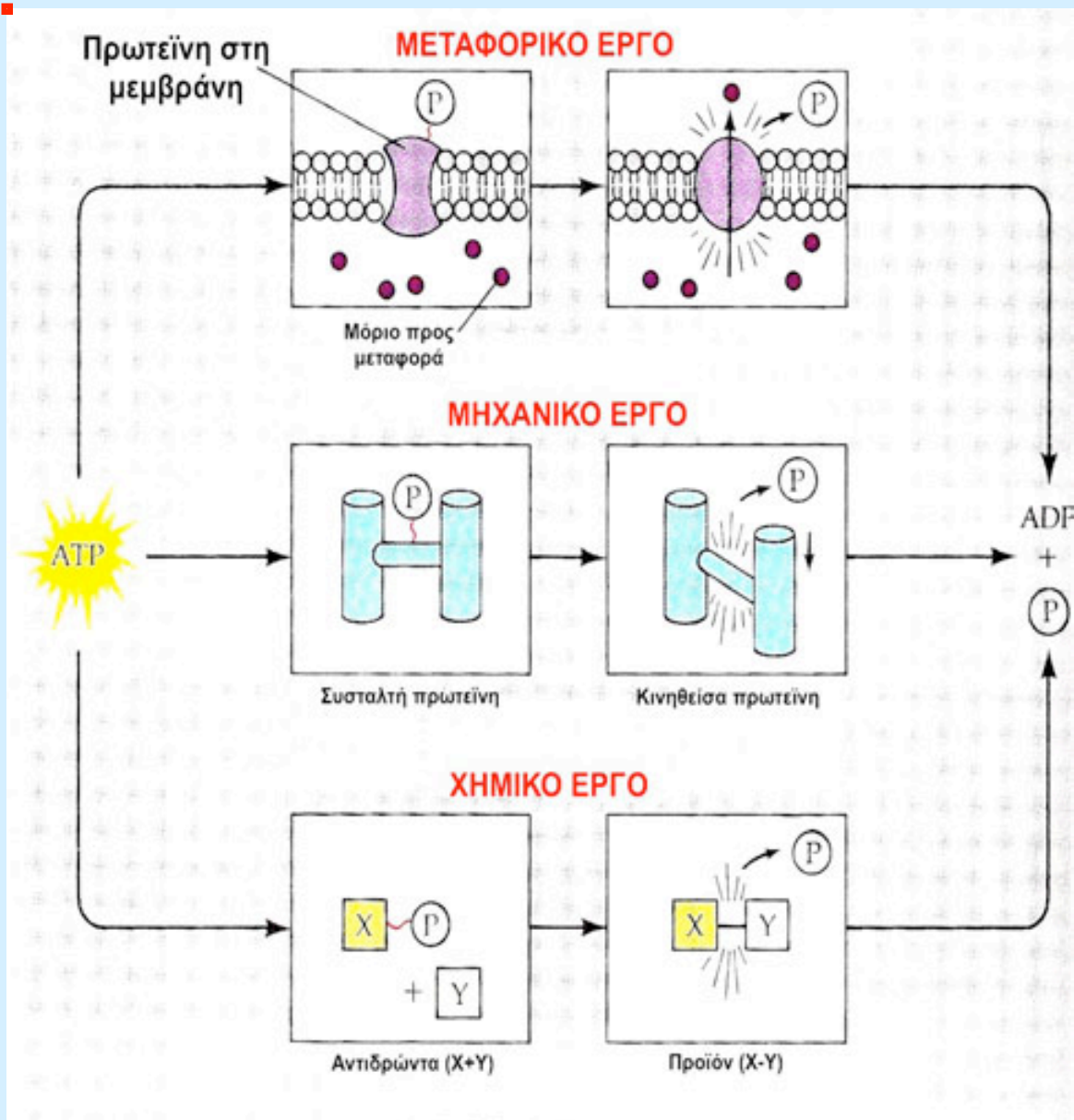
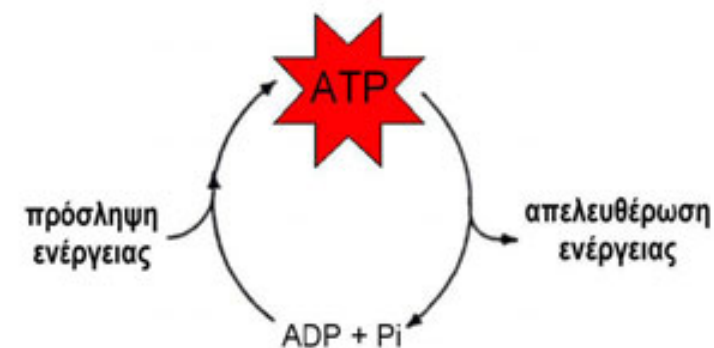
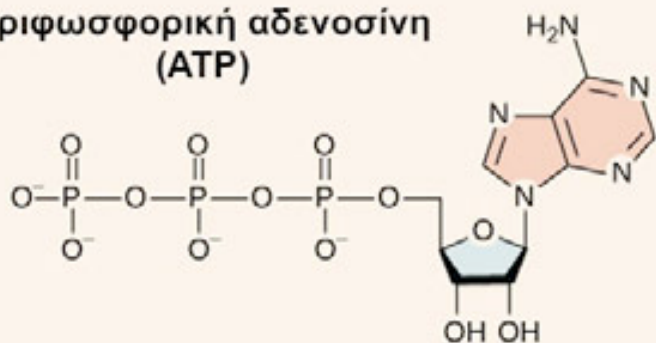


Η ροή των ηλεκτρονίων στους χλωροπλάστες



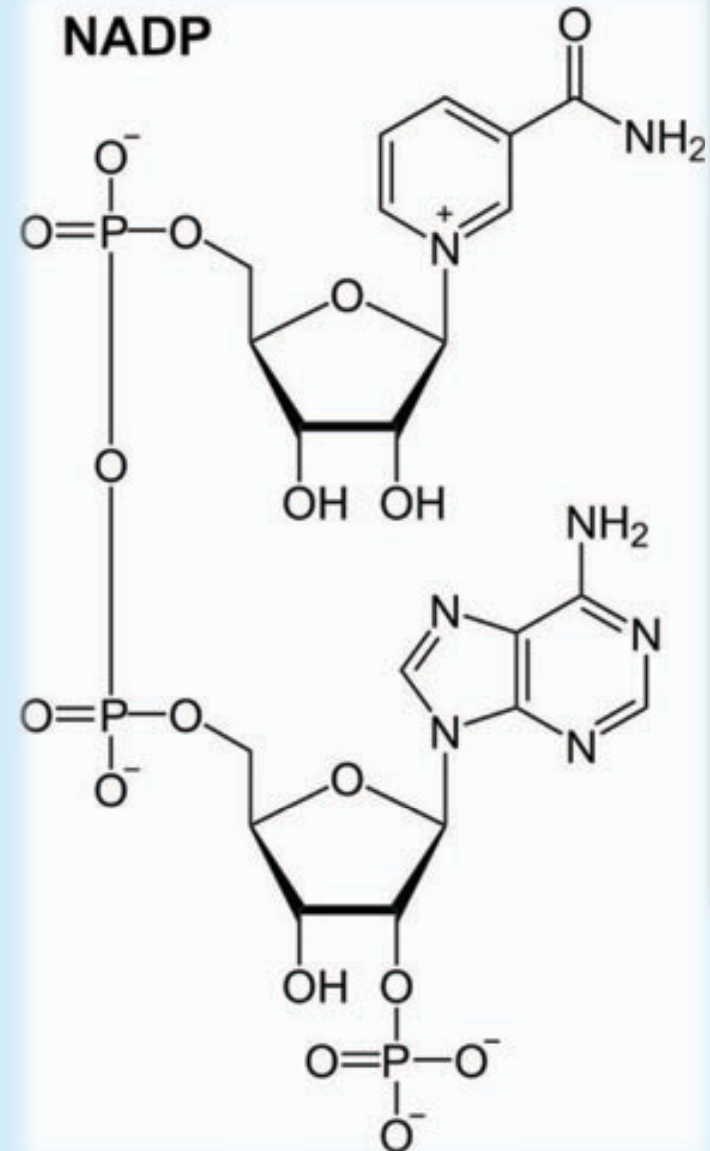
Η δομή του (της) ΑΤΡ και το έργο που επιτελεί

Τριφωσφορική αδενοσίνη (ΑΤΡ)



Η αναγωγή του NADP^+ σε NADPH

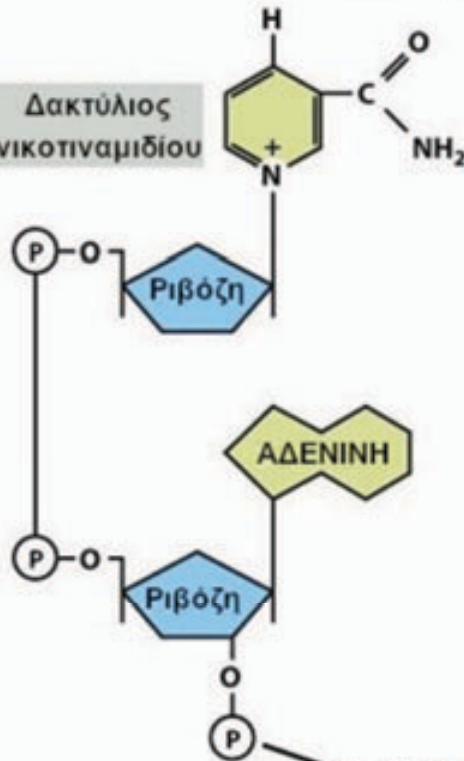
NADP



NADP⁺

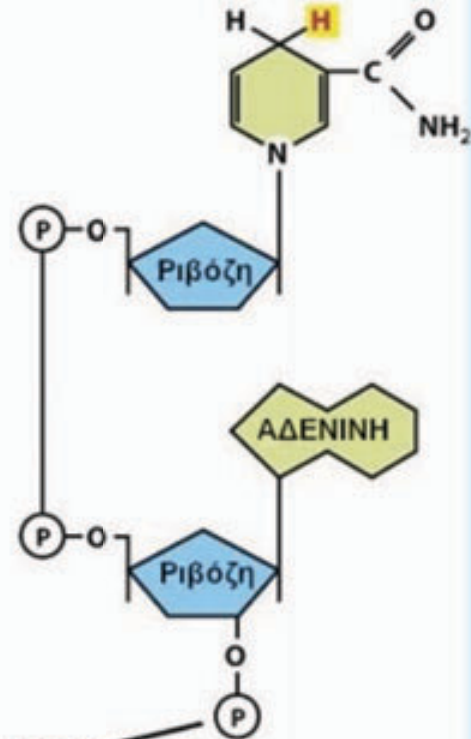
Οξειδωμένη
κατάσταση

Δακτύλιος
νικοτιναμιδίου



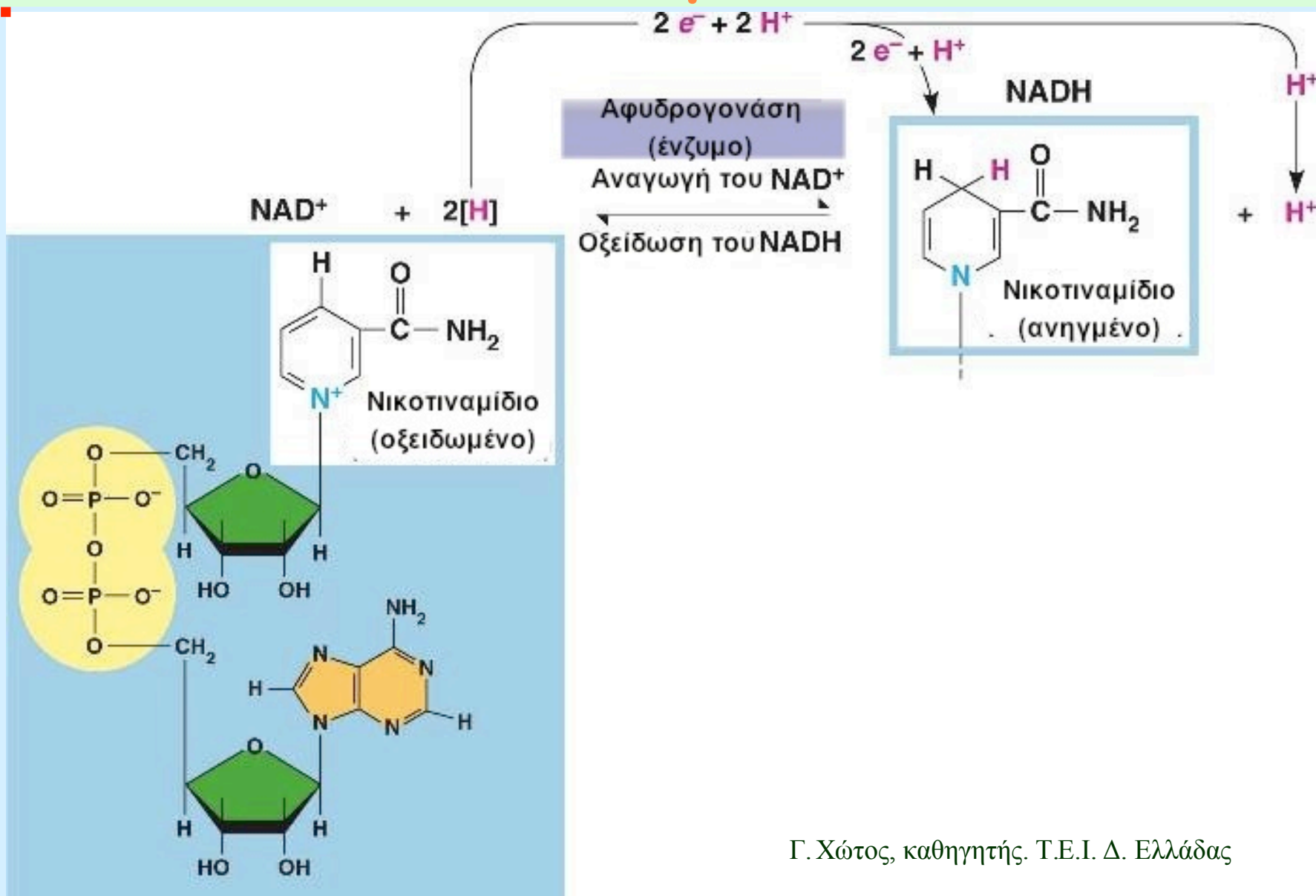
NADPH

Ανηγμένη
κατάσταση

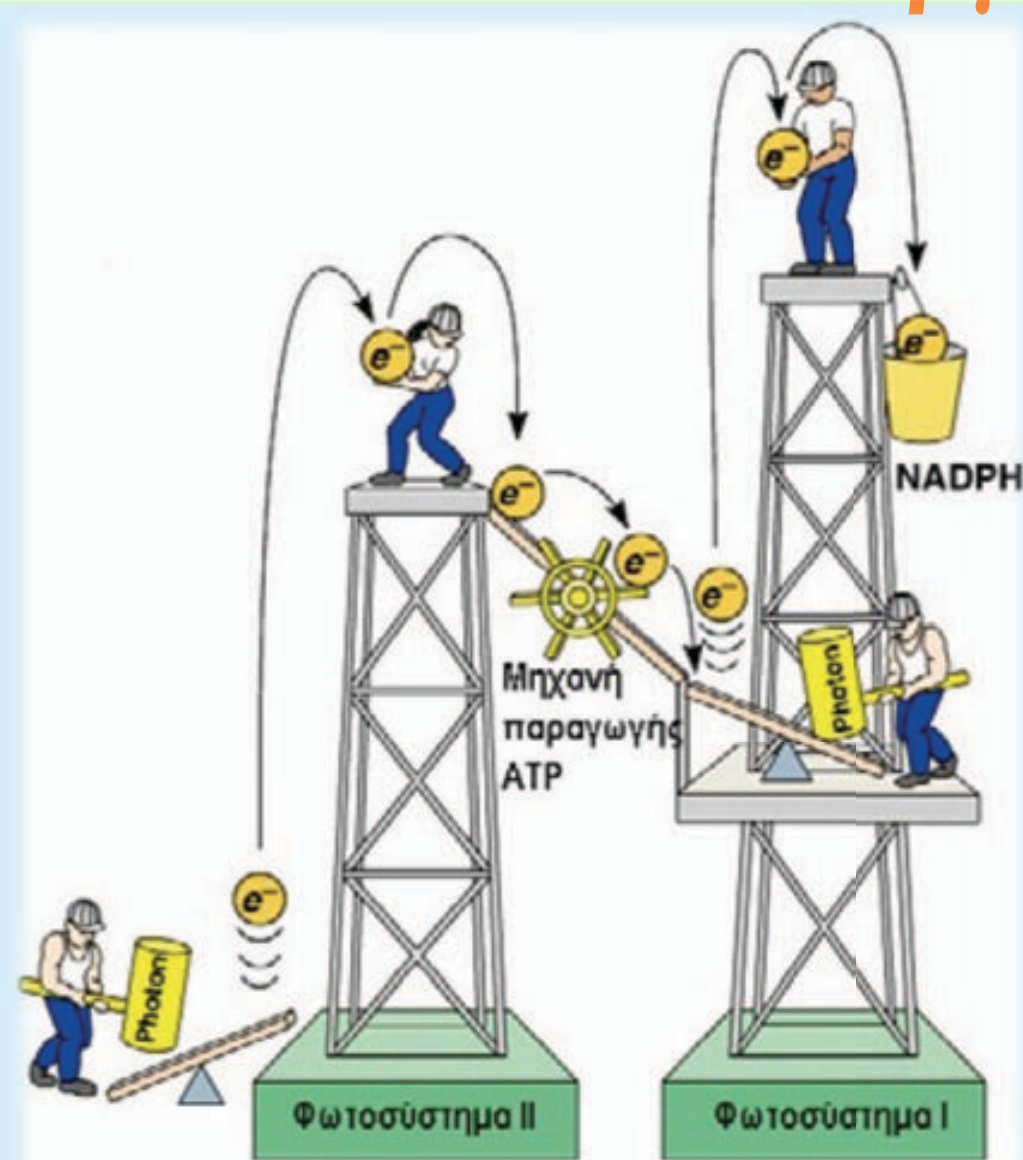


Αυτή η φωσφορική ομάδα
δεν υπάρχει στα NAD^+ και NADH

Η «απόκτηση» ενός ατόμου «H» από το νικοτιναμίδιο

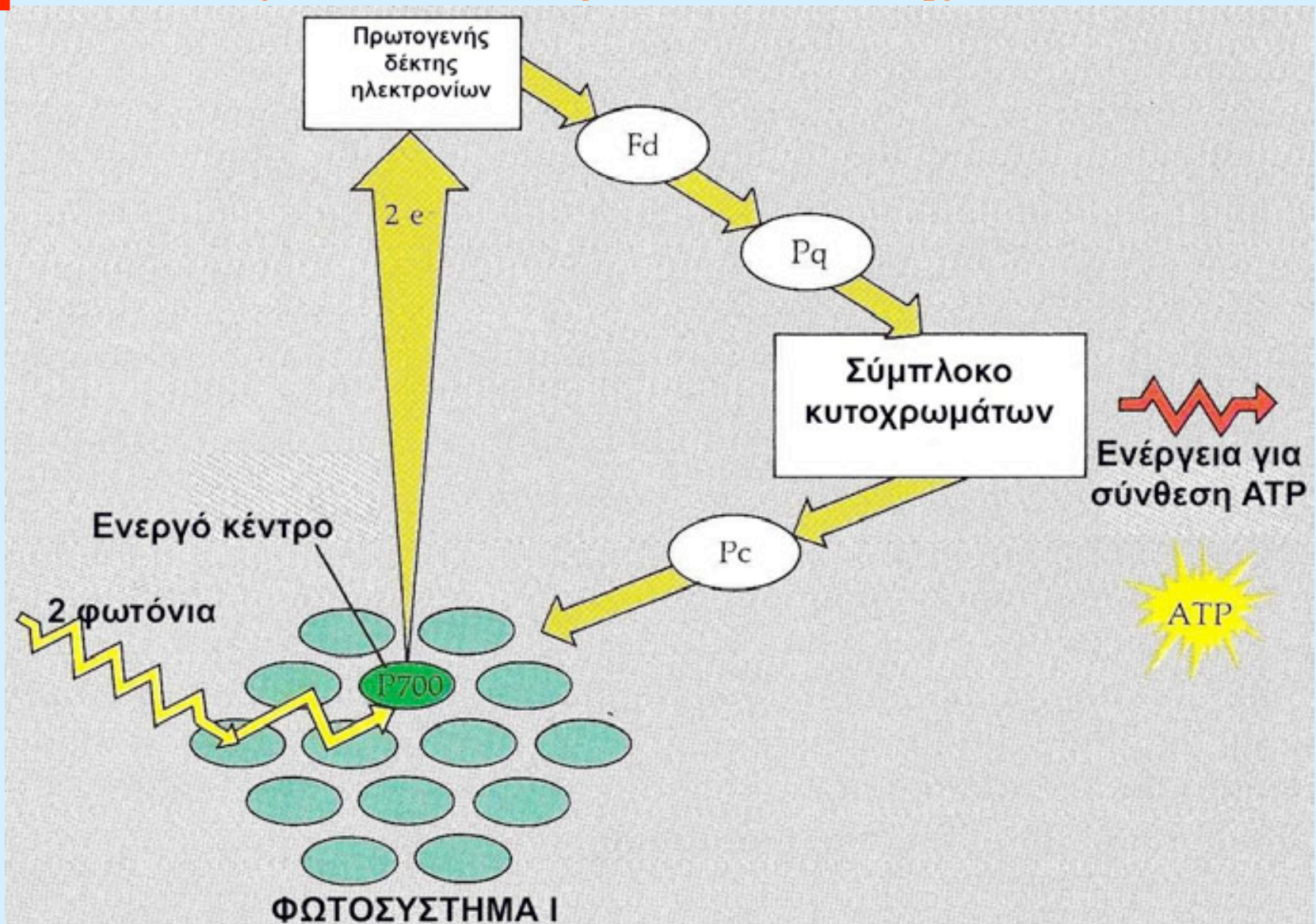


Η μεταφορά των ηλεκτρονίων παράγει έργο

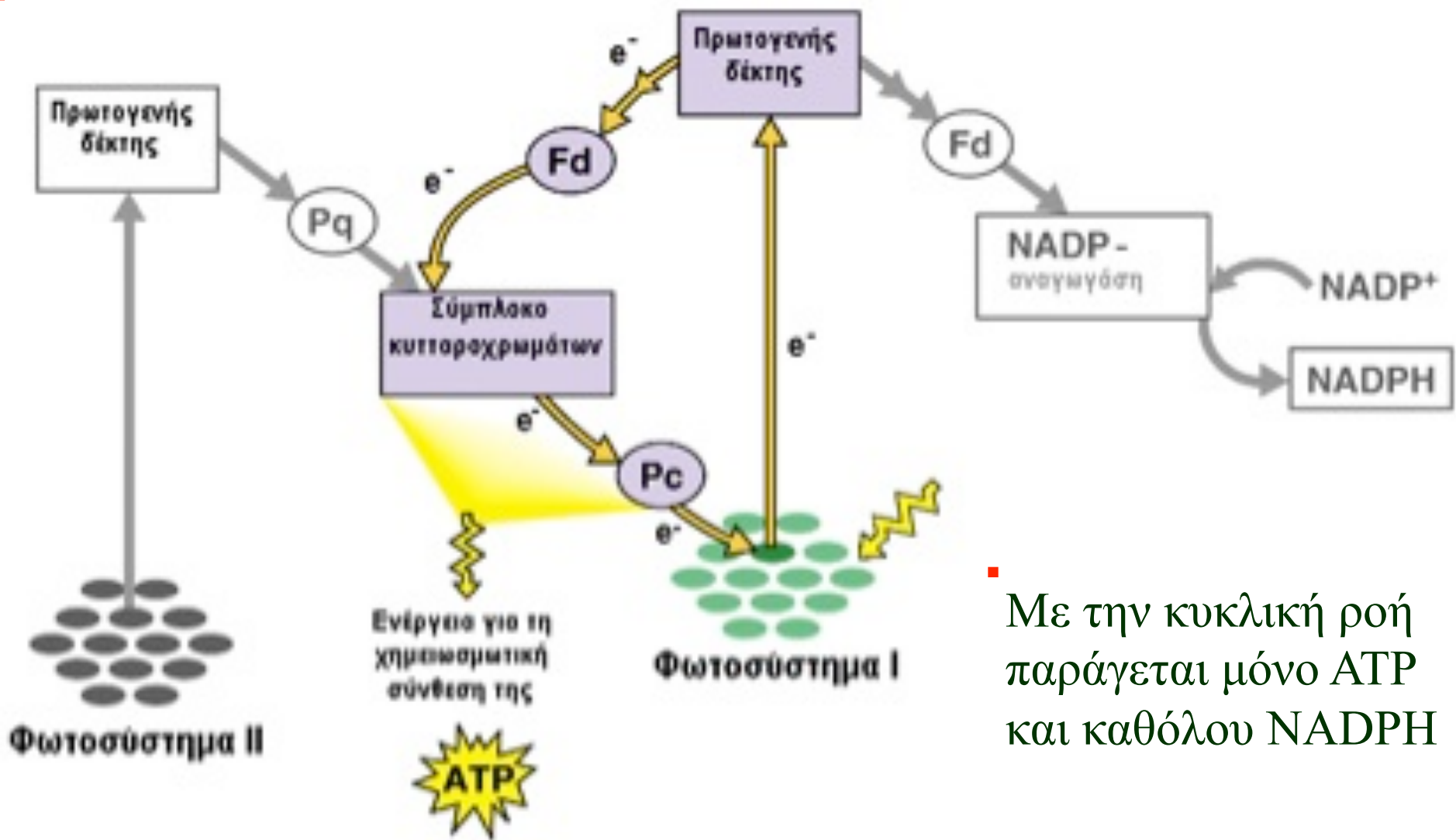


Τα «ανθρωπάκια» με τις σφύρες αντιπροσωπεύουν το έργο που προσφέρουν τα φωτόνια (photons) η ενέργεια των οποίων μεταφέρεται στα ηλεκτρόνια που «ανυψώνονται» ενεργειακά και κατά την ελεγχόμενη «πτώση» τους παράγουν έργο. Δηλαδή δημιουργούν ATP και τελικώς καταλήγουν στο NADP^+ για να δημιουργηθεί NADPH.

Κυκλική ροή ηλεκτρονίων (μόνο στο φωτοσύστημα I)

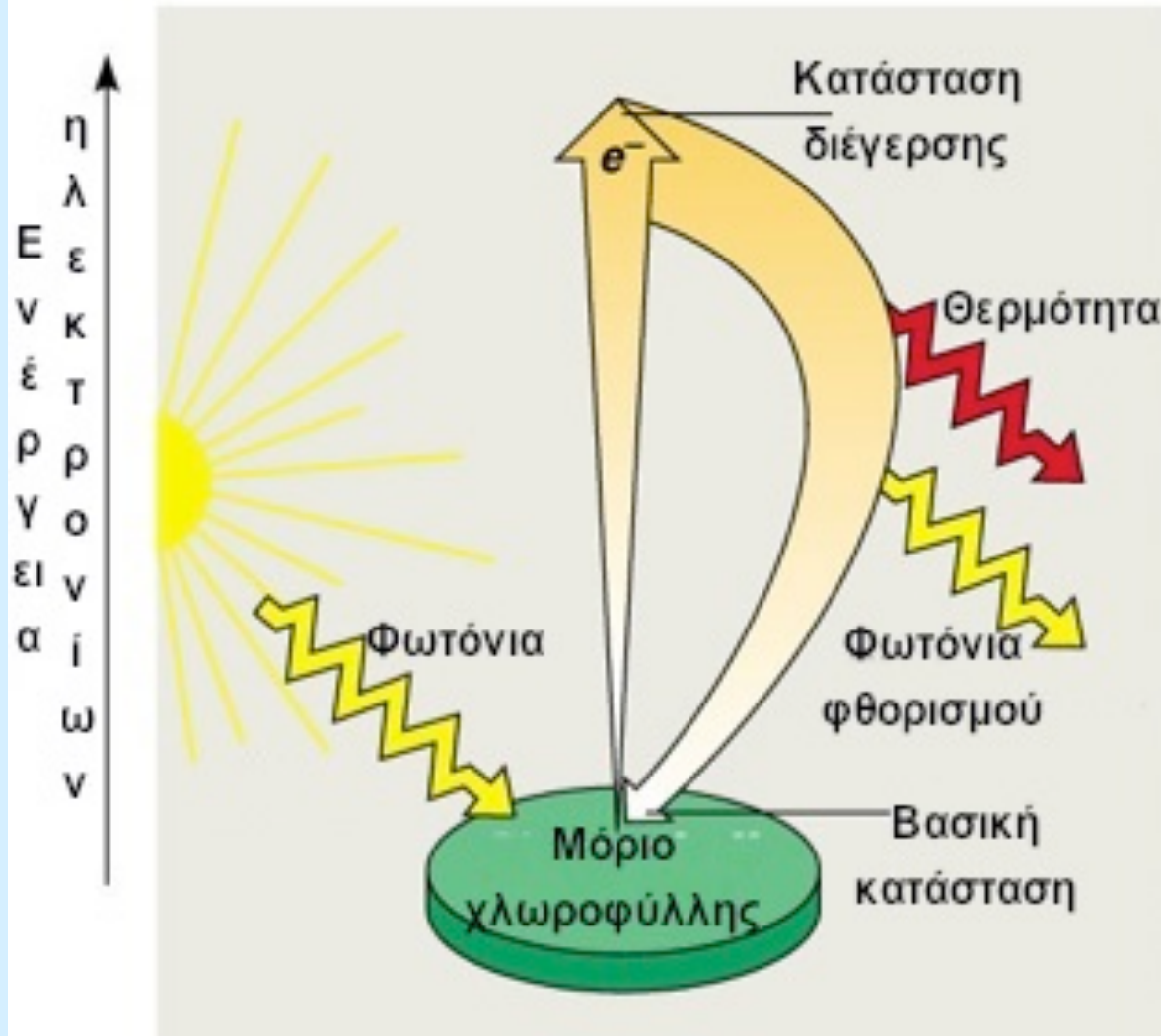


Κυκλική ροή ηλεκτρονίων (μόνο στο φωτοσύστημα I)

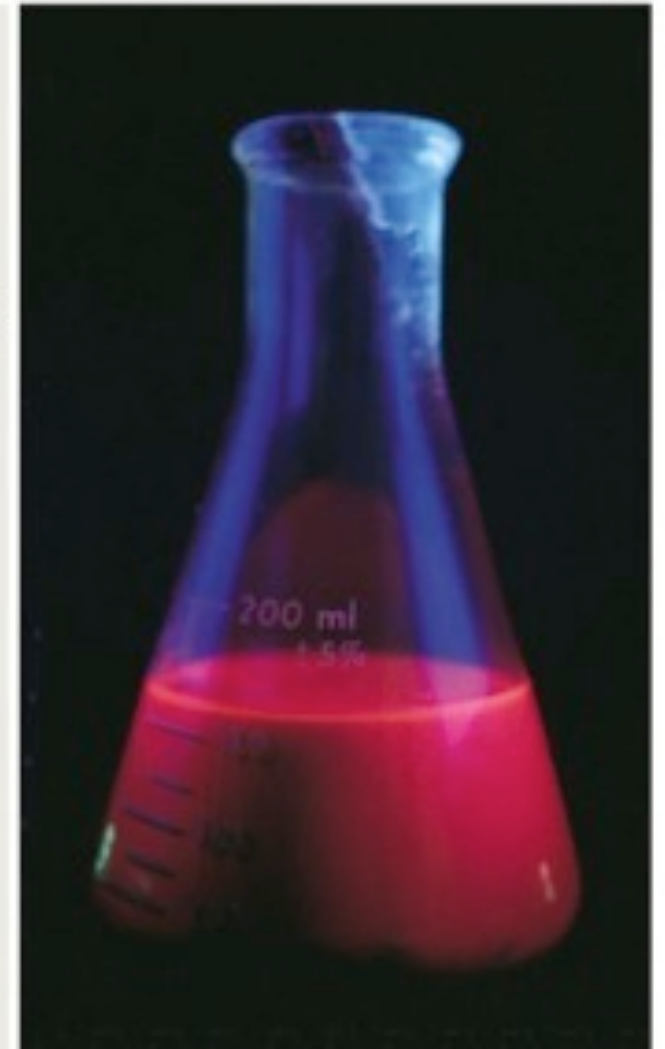


■ Με την κυκλική ροή παράγεται μόνο ATP και καθόλου NADPH

Ενέργεια ηλεκτρονίου που χάνεται κατά την κυκλική ροή

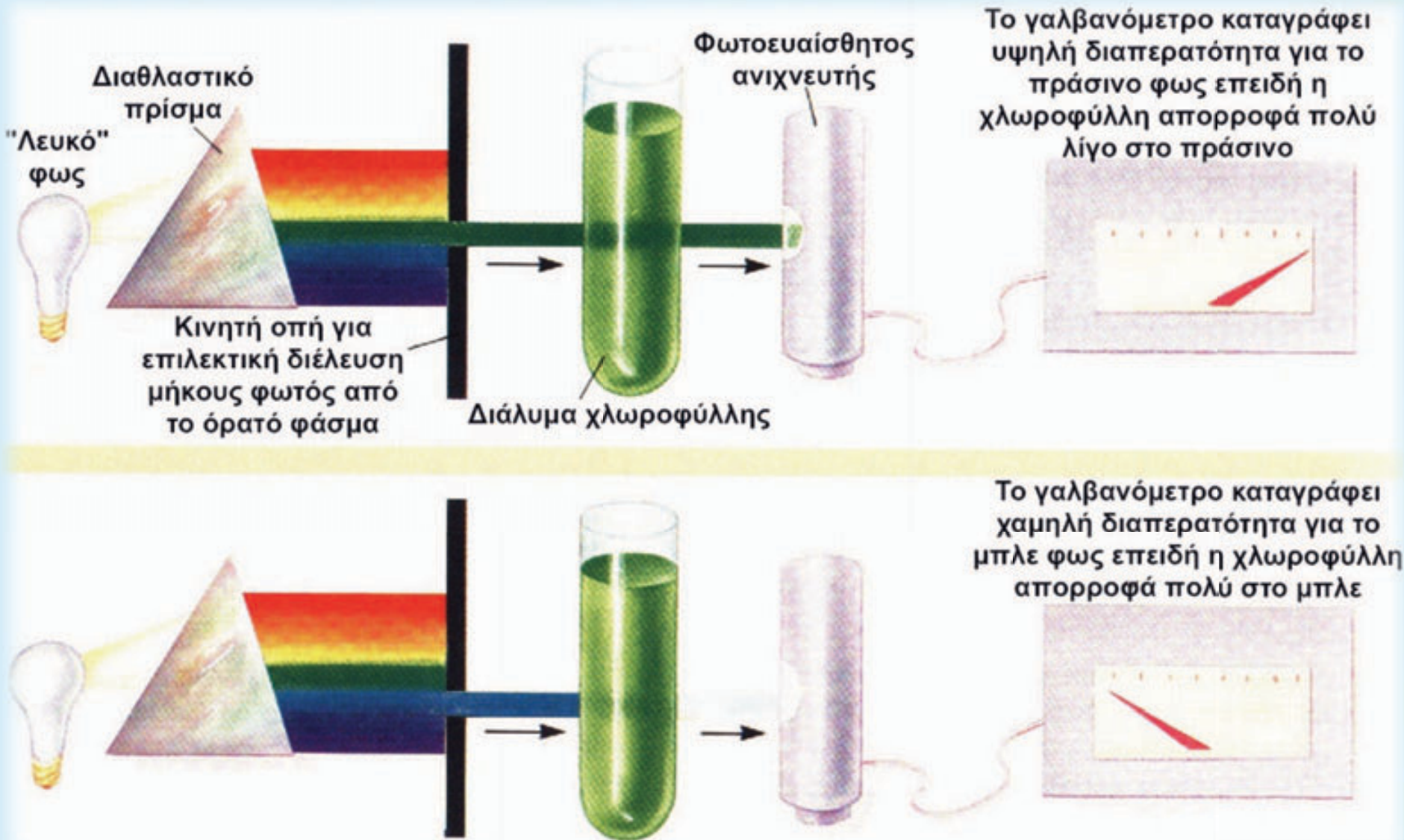


α) Διέγερση απομονωμένου μορίου χλωροφύλλης

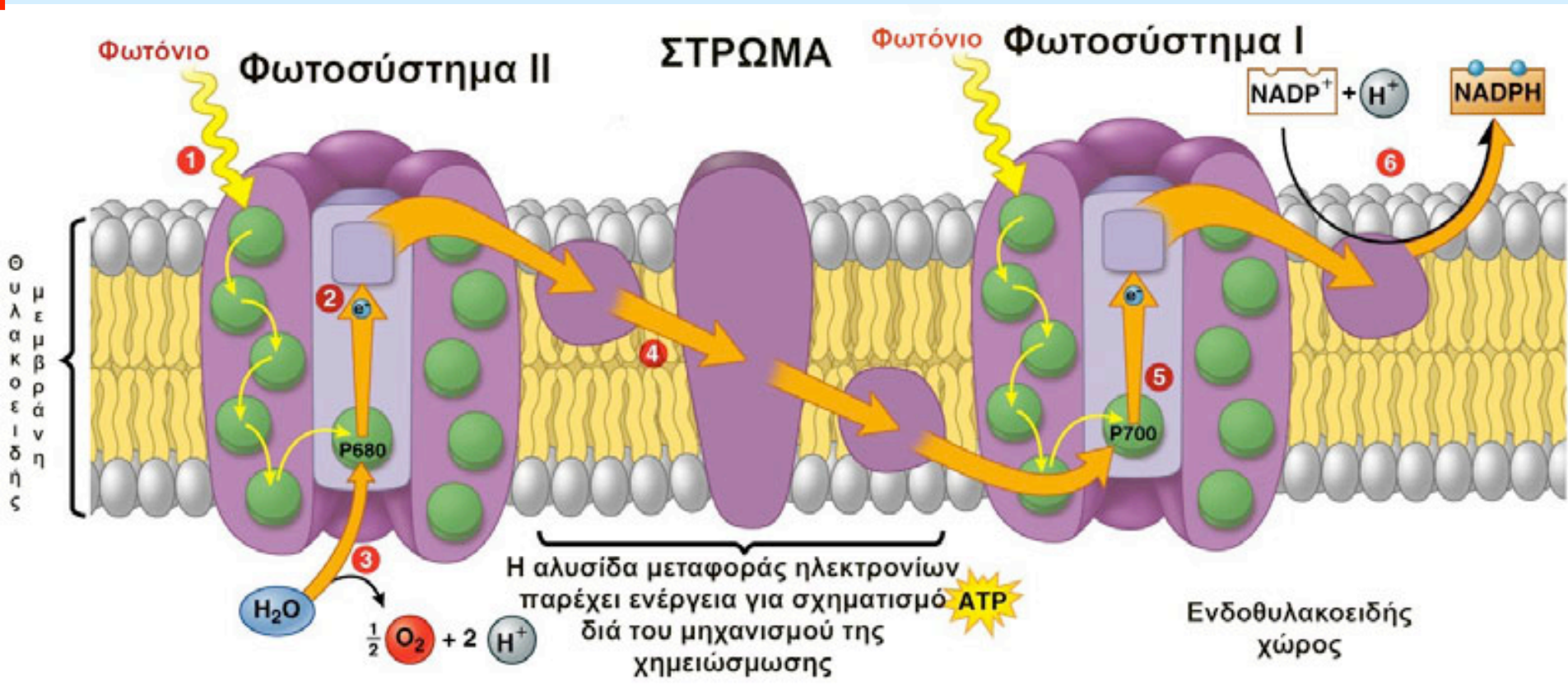


β) Φθορισμός

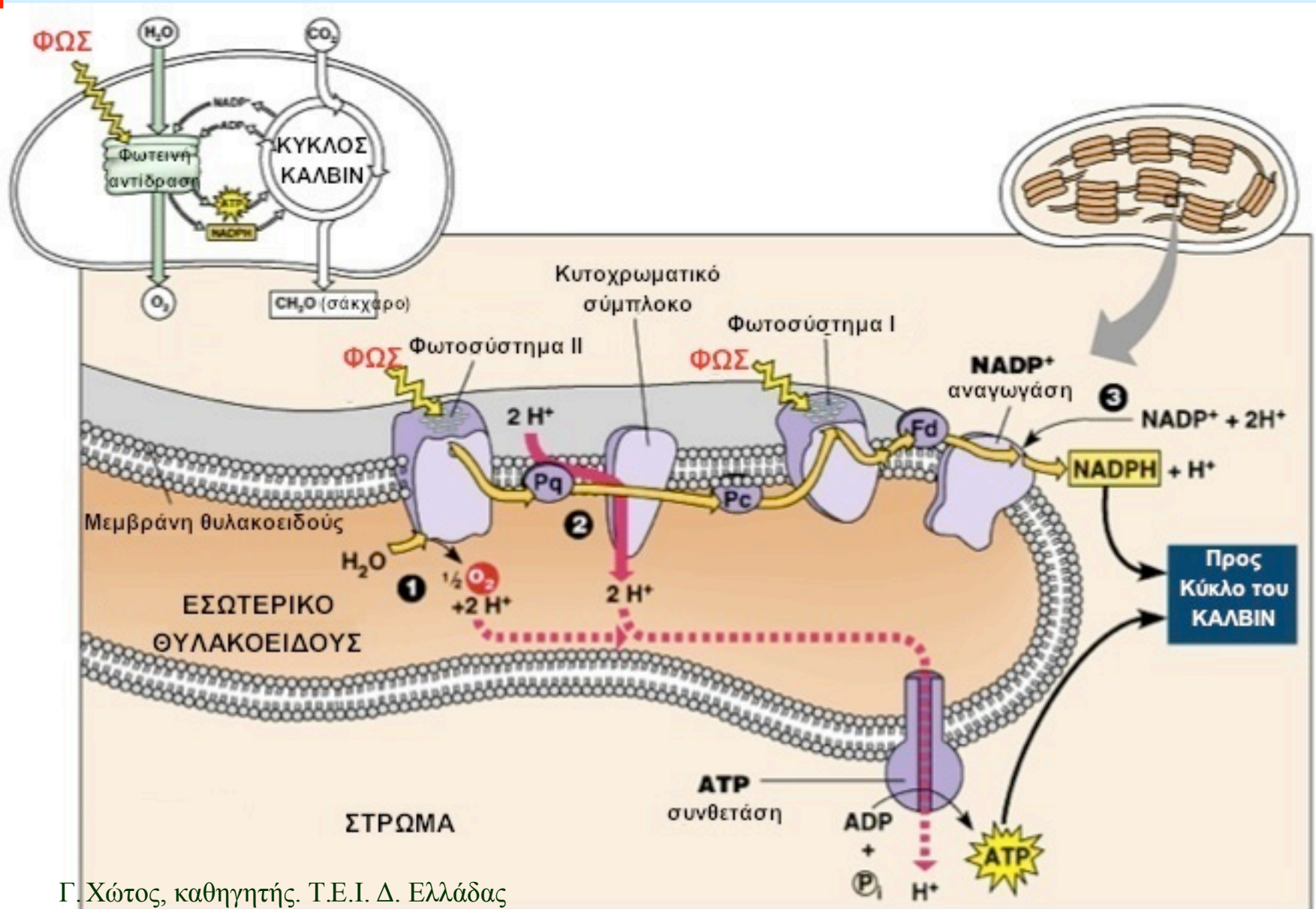
Το «κατάλληλο» φως για φωτοσύνθεση



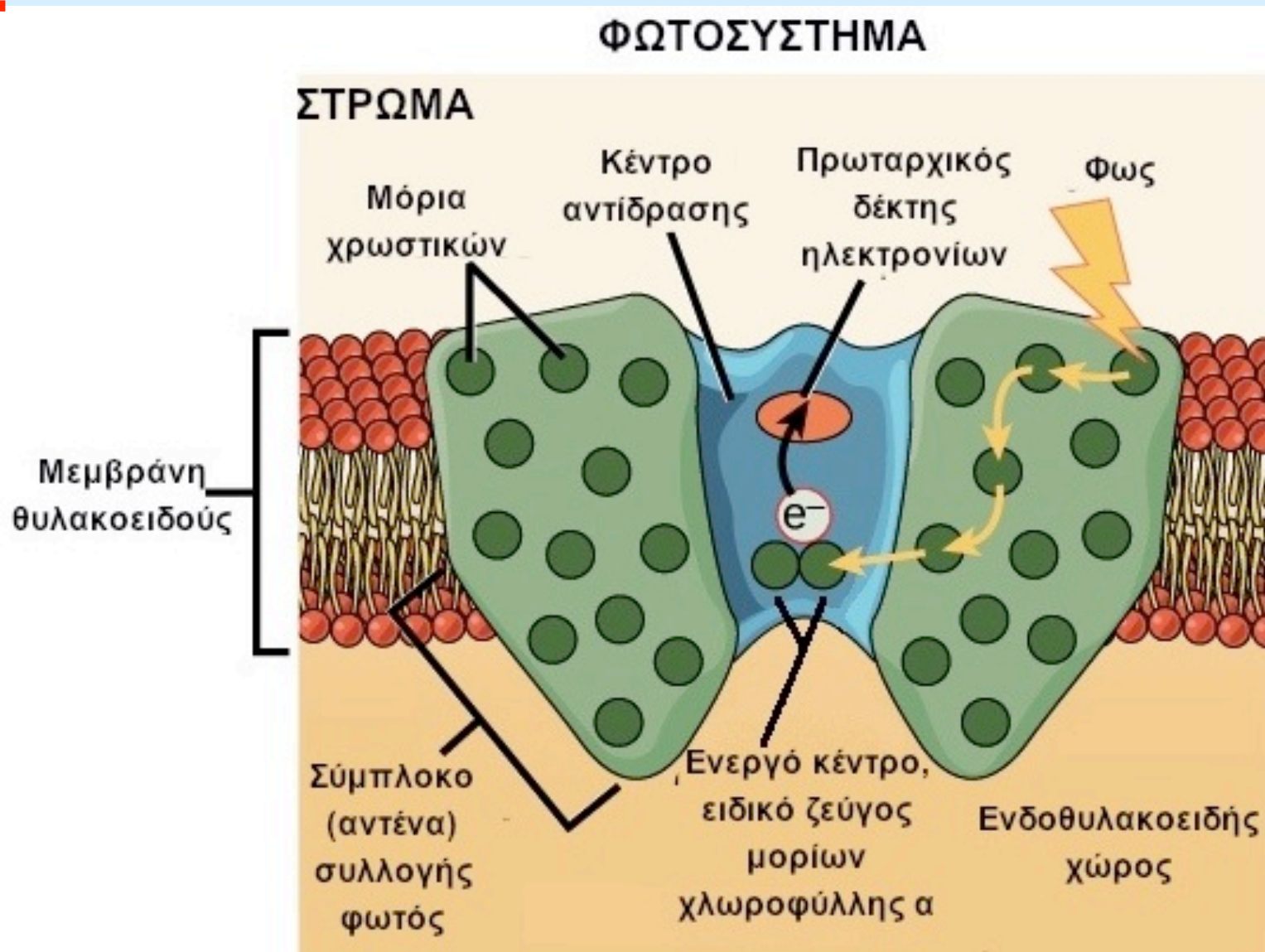
Τα δύο φωτοσυστήματα σε δράση



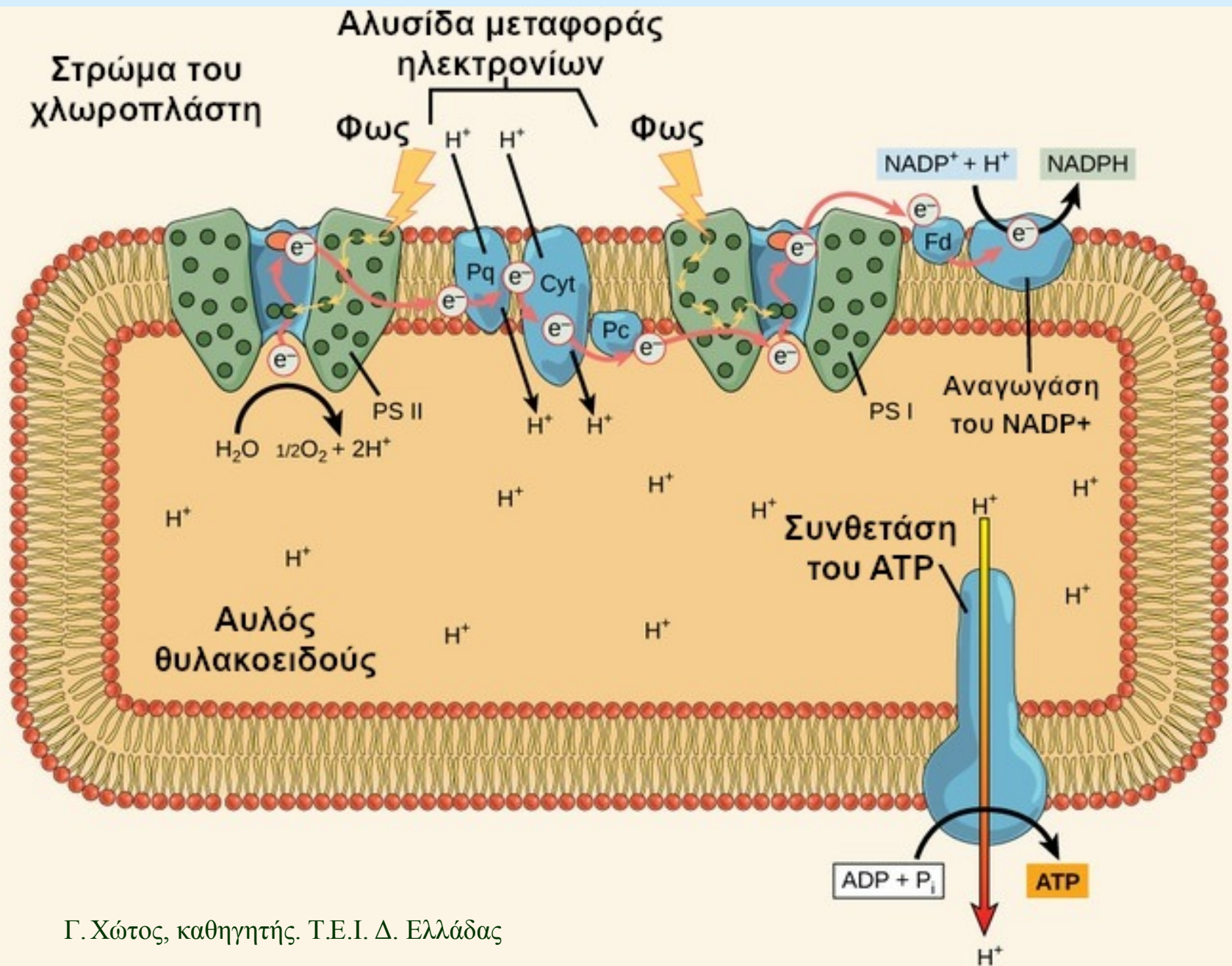
Πανόραμα διεργασιών φωτεινής φάσης



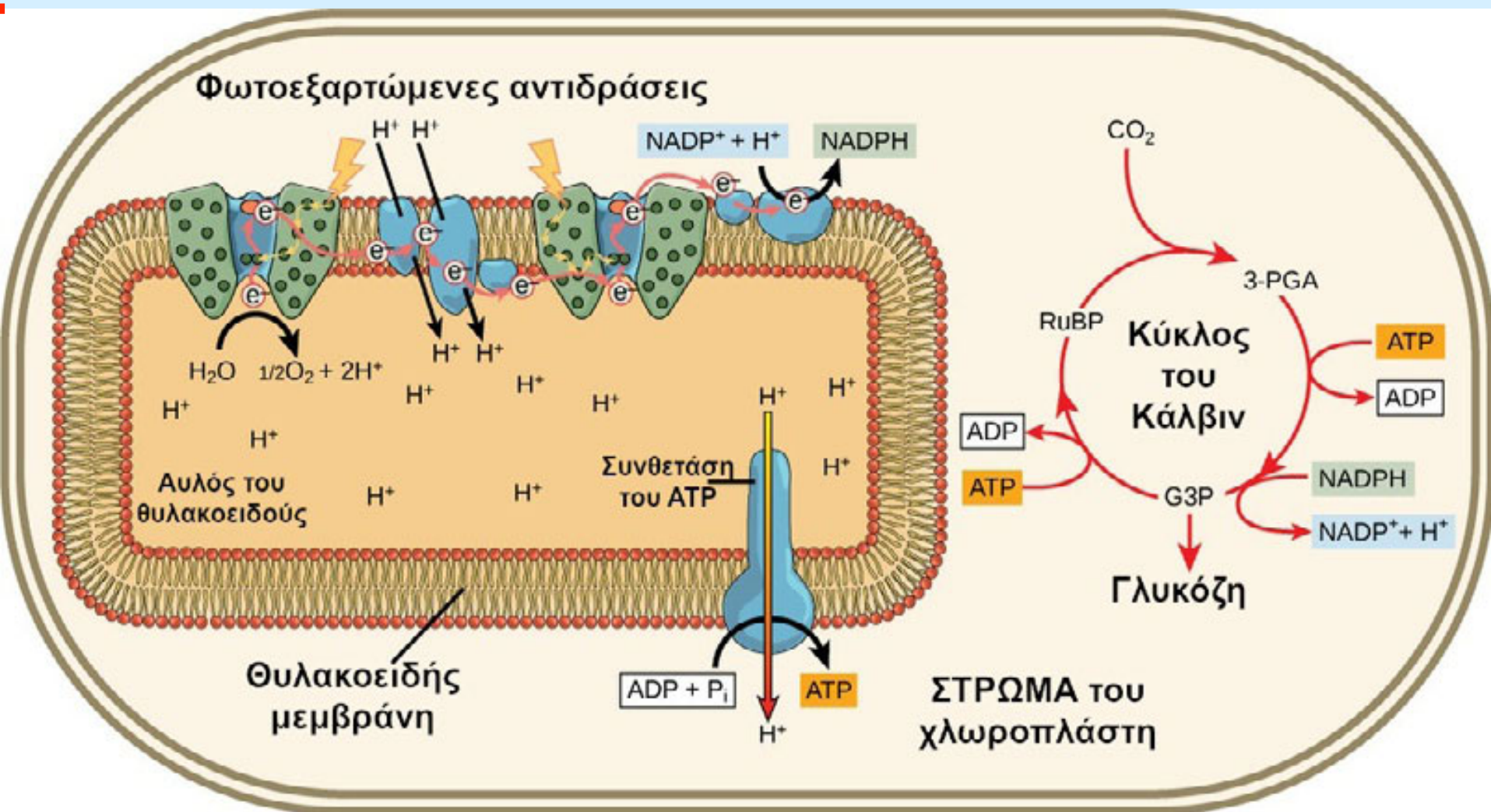
ΦΩΤΟΣΥΣΤΗΜΑ



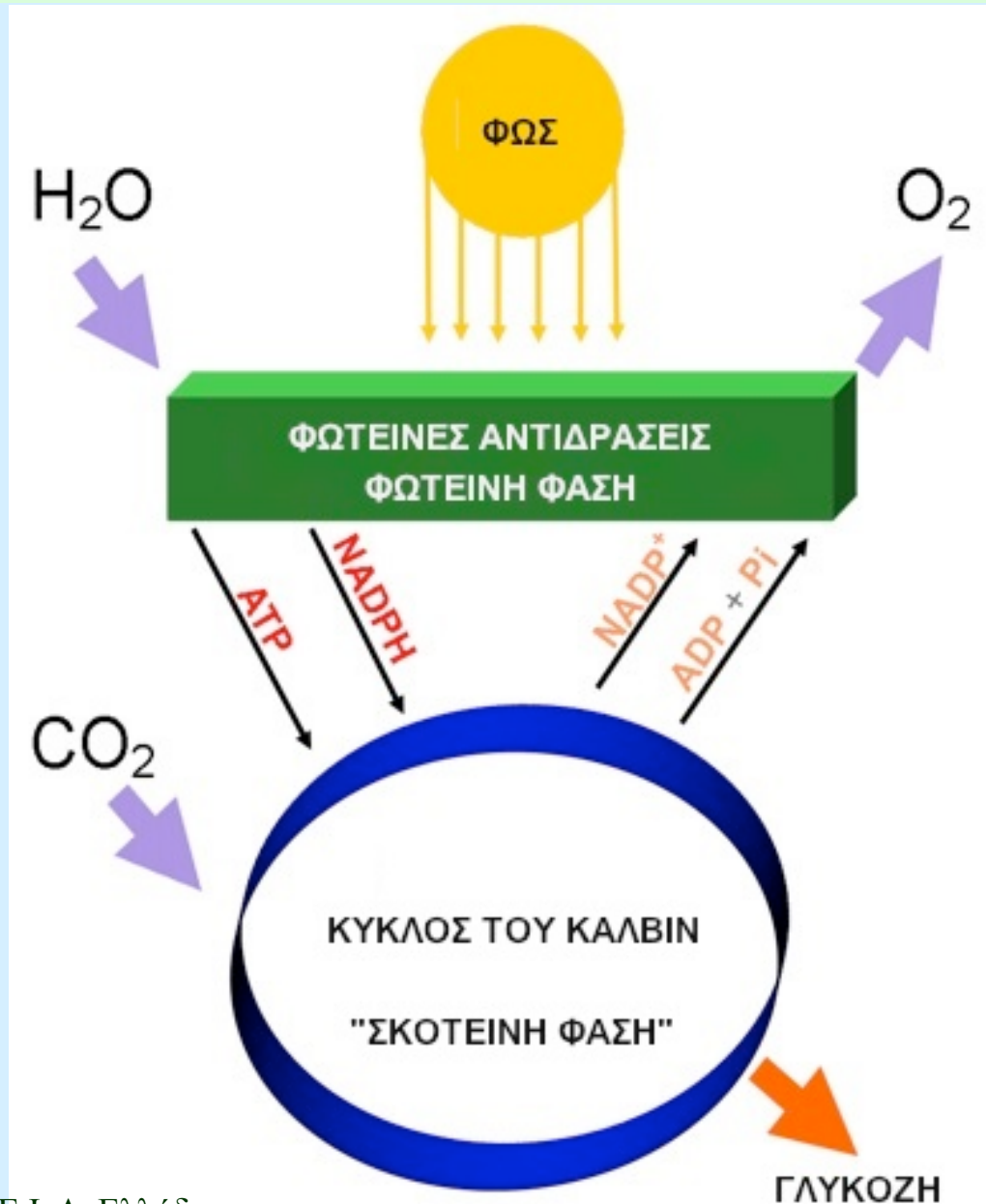
Φωτοσυστήματα στη θυλακοειδή μεμβράνη



Τα φωτοσυστήματα στον χλωροπλάστη



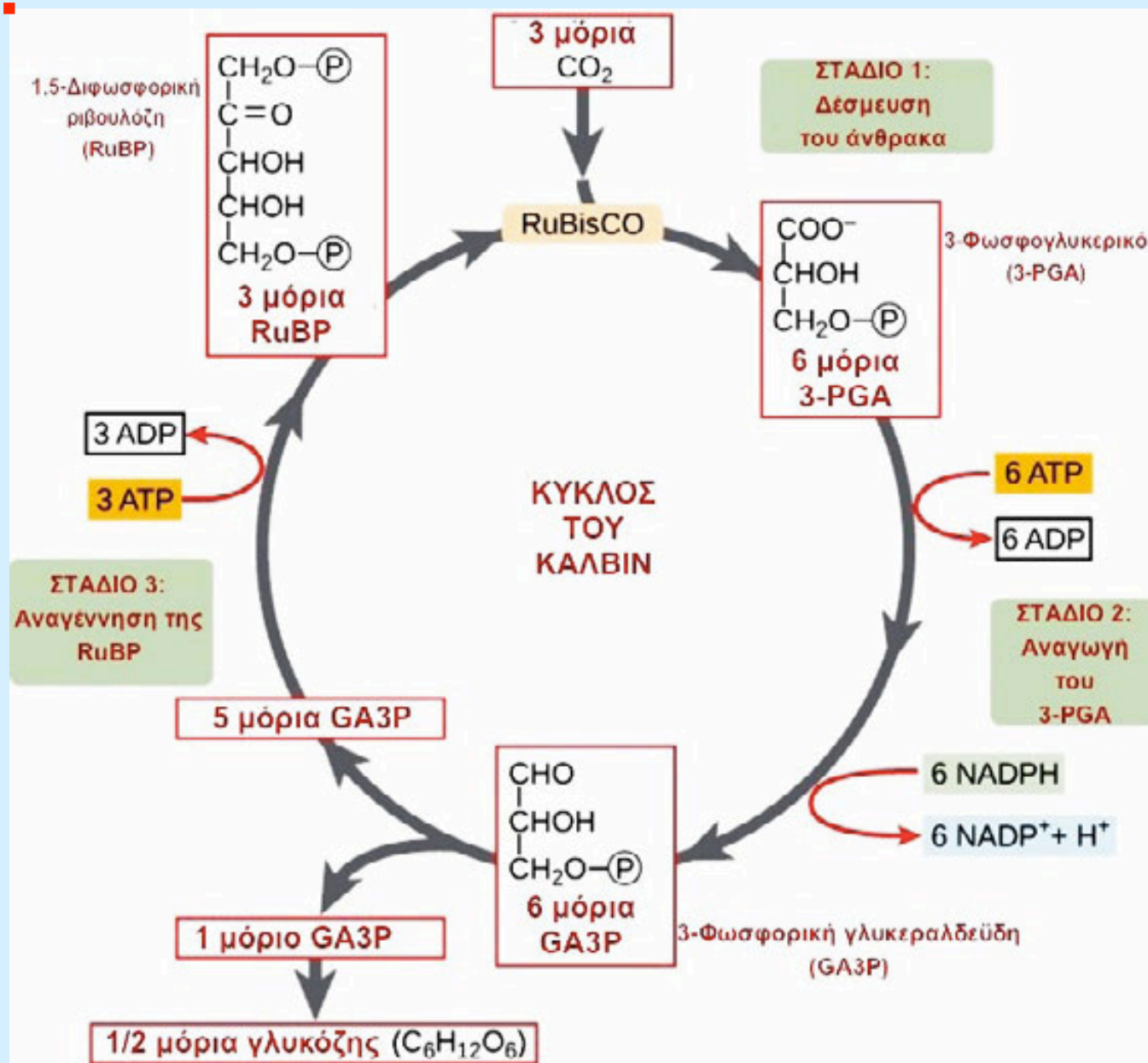
Ο «κύκλος» του Κάλβιν συνοπτικά



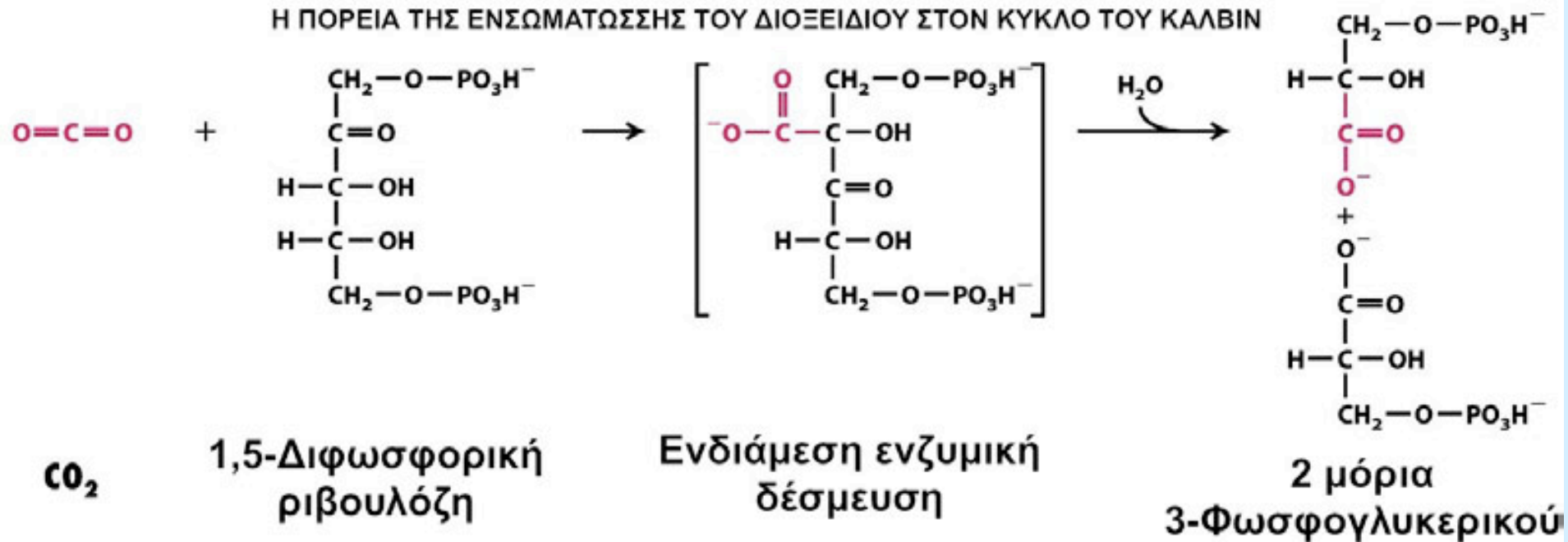
Κύκλος του Κάλβιν

- Δέσμευση άνθρακα (φωτοανεξάρτητη αντίδραση).
- C₃ φυτά και φύκη
- Συμβαίνει στο **στρώμα του χλωροπλάστη**.
- Χρησιμοποιεί **ATP** και **NADPH** από τη φωτεινή αντίδραση.
- Χρησιμοποιεί **CO₂**.
- Η παραγωγή 1 μορίου **γλυκόζης**: απαιτεί **6 γύρους** και **ξοδεύει 18 ATP και 12 NADPH**.

Οι ενώσεις που συμμετέχουν στον «κύκλο» του Κάλβιν

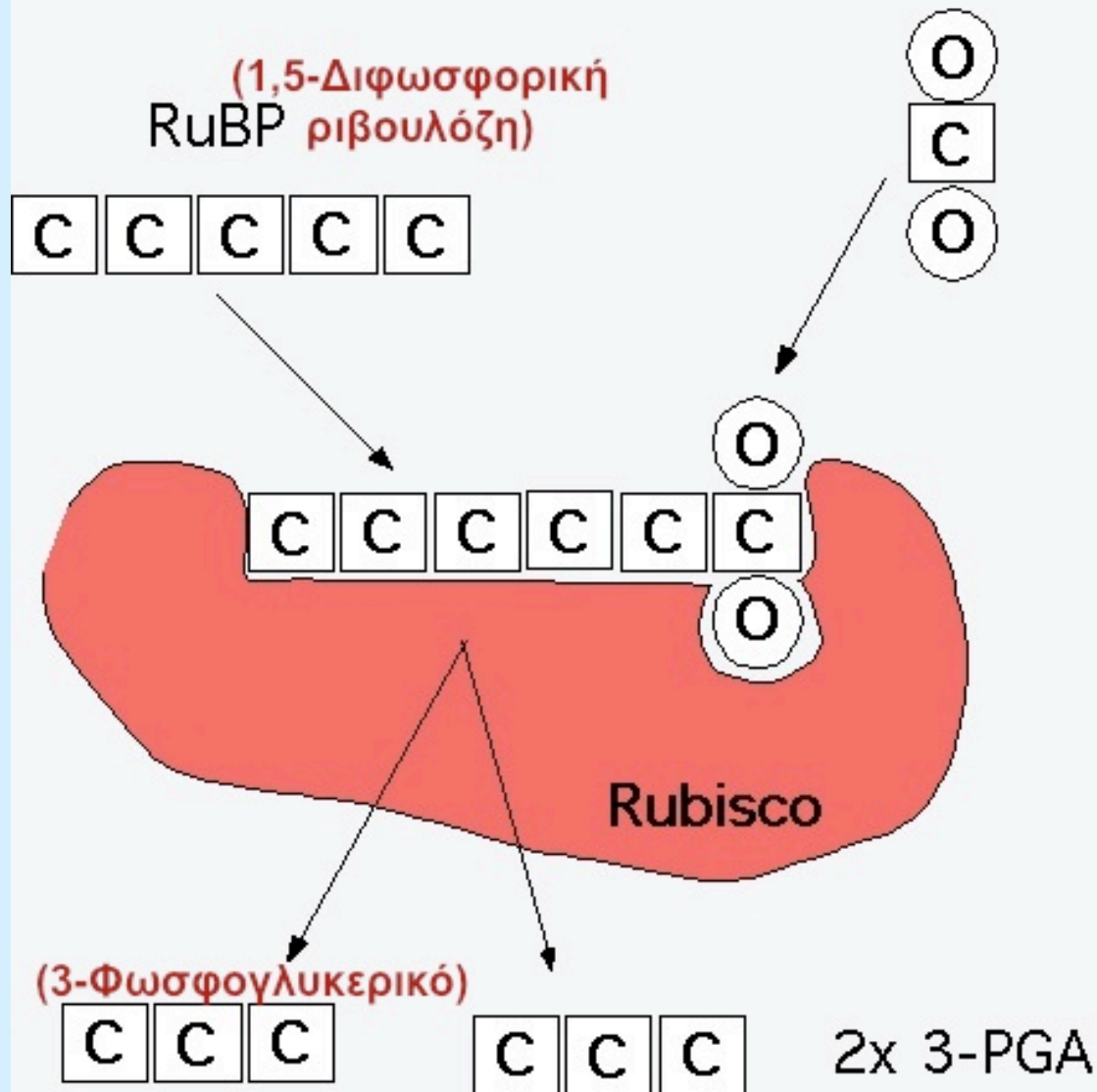


Η ενσωμάτωση του CO₂ στον κύκλο του Κάλβιν

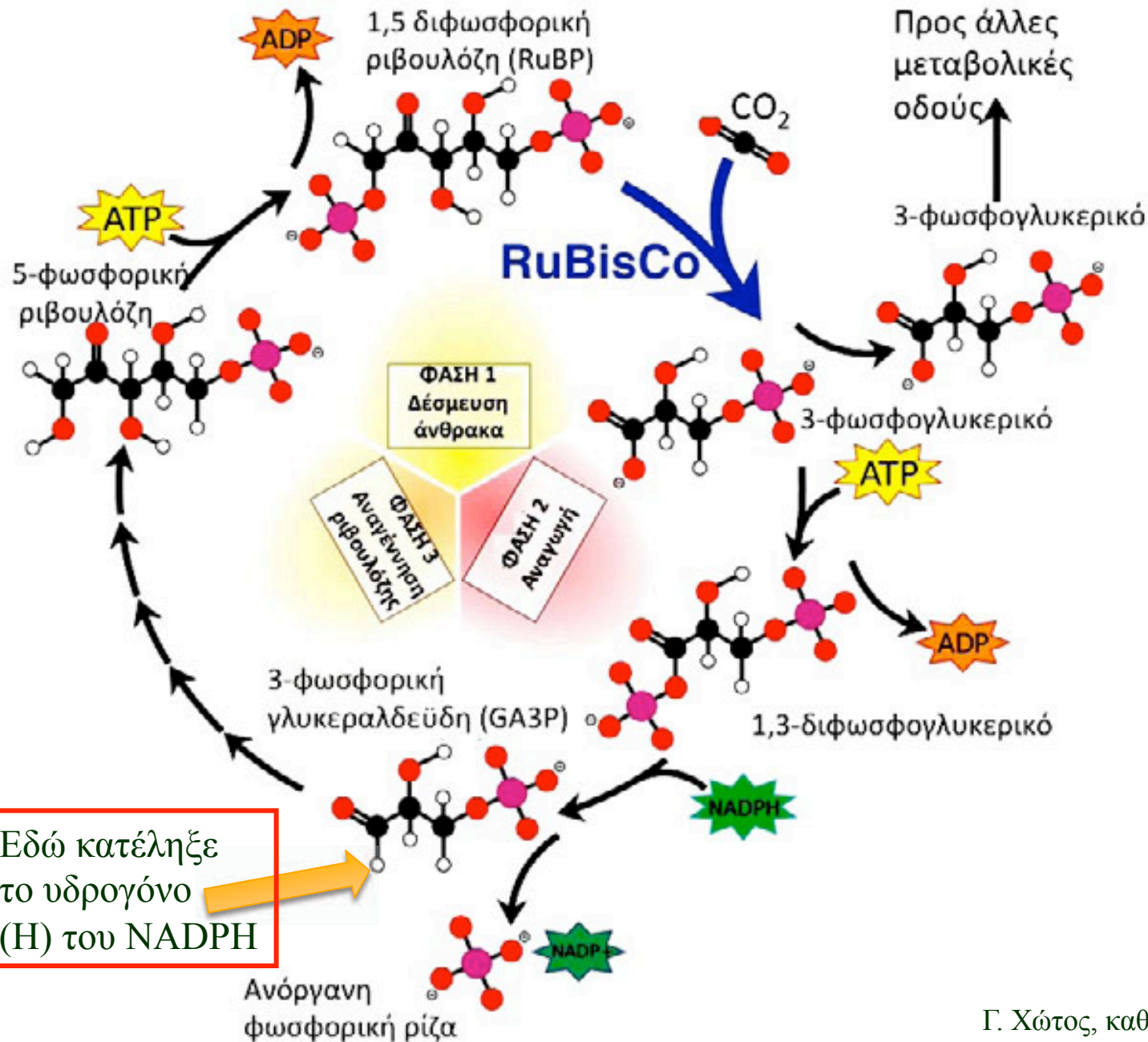


Η ενζυμική «δέσμευση» του CO₂

Καρβοξυλίωση του RuBP από Rubisco



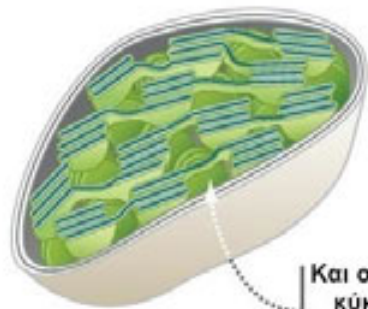
Η κατάληξη του «H» του NADPH



Ο κύκλος του Calvin συνοπτικώς

A) Ο κύκλος του Κάλβιν έχει τρεις φάσεις.

B) Ενας κύκλος αντιδράσεων



Και οι τρεις φάσεις του κύκλου του Κάλβιν γίνονται στο στρώμα των χλωροπλαστών

1. Καθήλωση



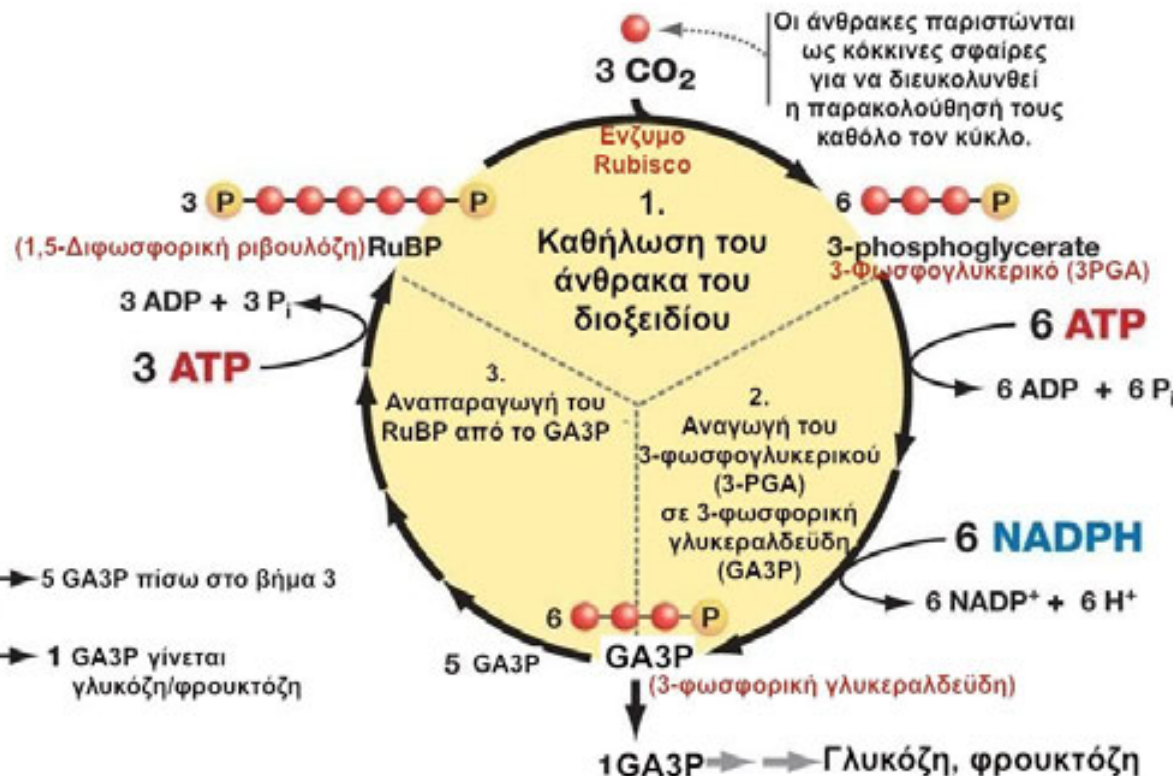
2. Αναγωγή



3. Αναπαραγωγή



© 2011 Pearson Education, Inc.



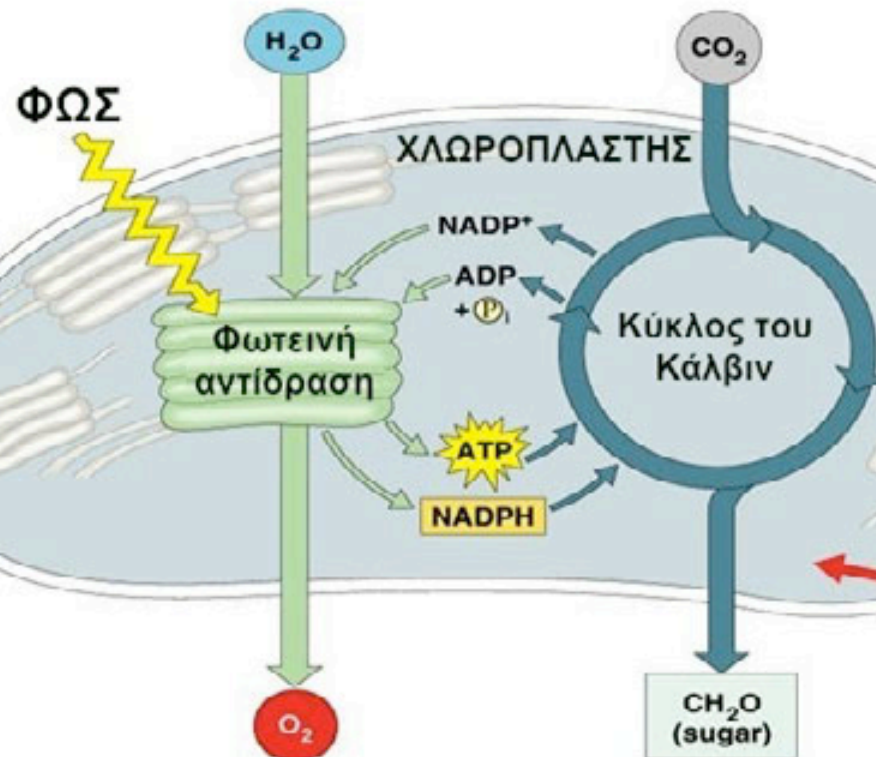
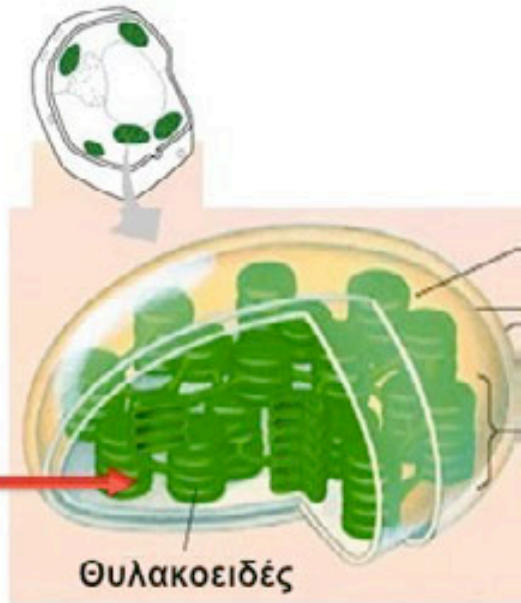
ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ

Δύο συστήματα αντιδράσεων:

(1) Η φωτεινή αντίδραση

- Η ενέργεια του φωτός συλλαμβάνεται από τη χλωροφύλλη

- Παράγονται NADPH και ATP στις μεμβράνες των θυλακοειδών



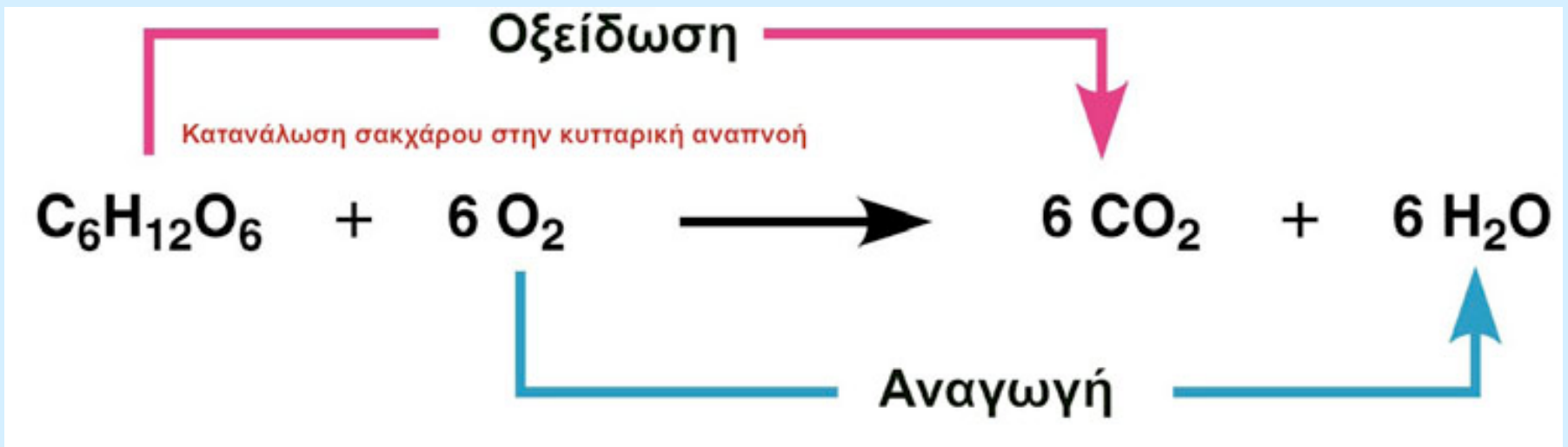
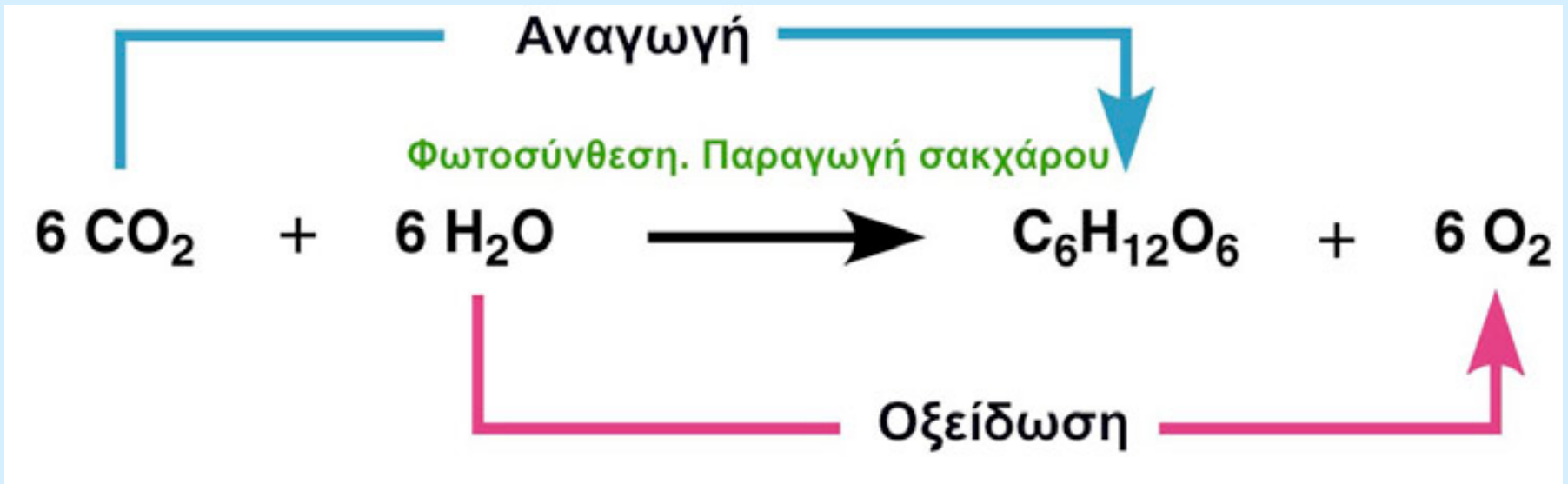
(2) Η "σκοτεινή" αντίδραση

- Στον κύκλο του Κάλβιν οι βιοχημικές αντιδράσεις μεταμορφώνουν το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα σε σάκχαρο. Γίνεται στο στρώμα του χλωροπλάστη

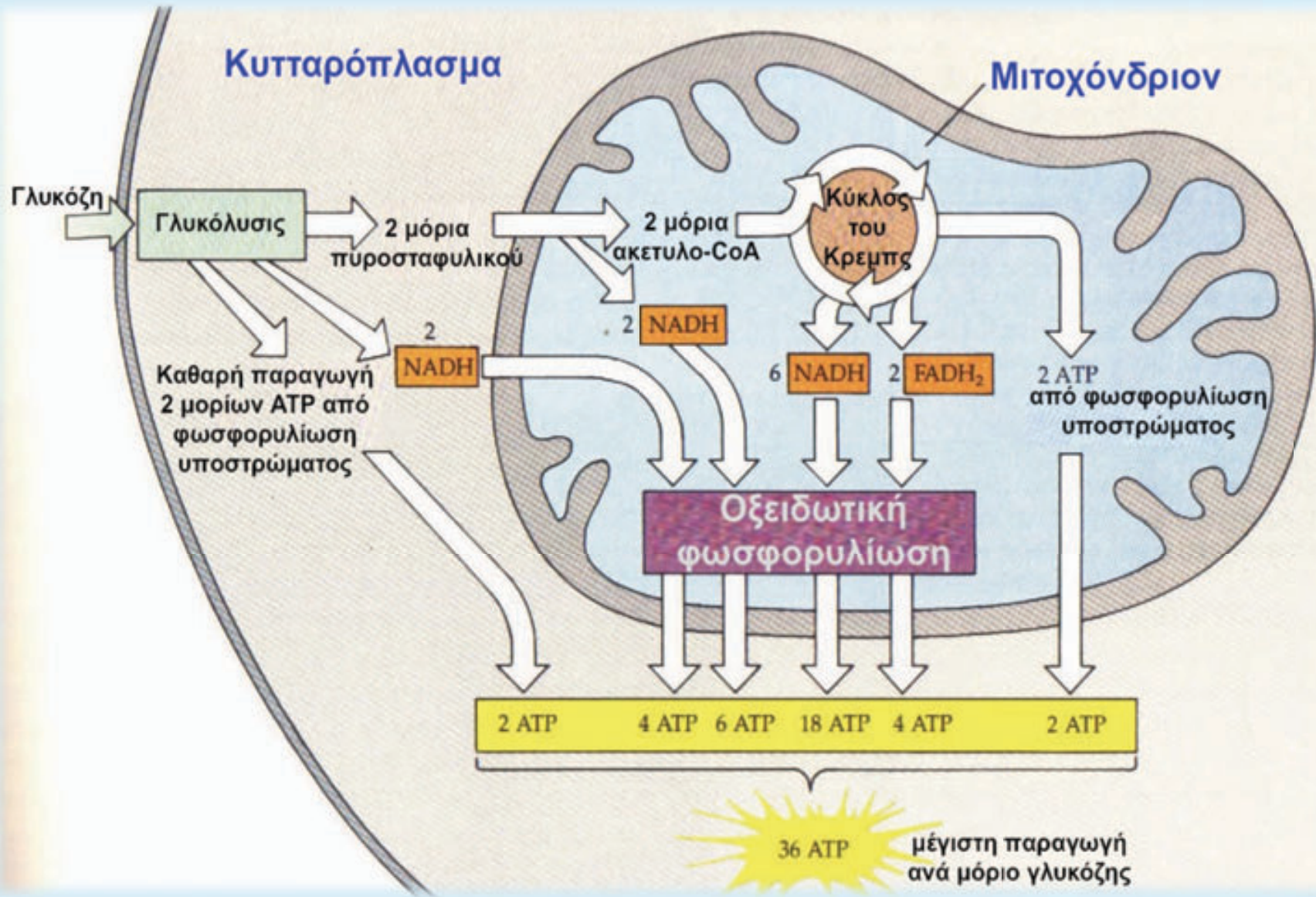
Φωτοσύνθεση και κυτταρική αναπνοή μια «άρρηκτη» σχέση



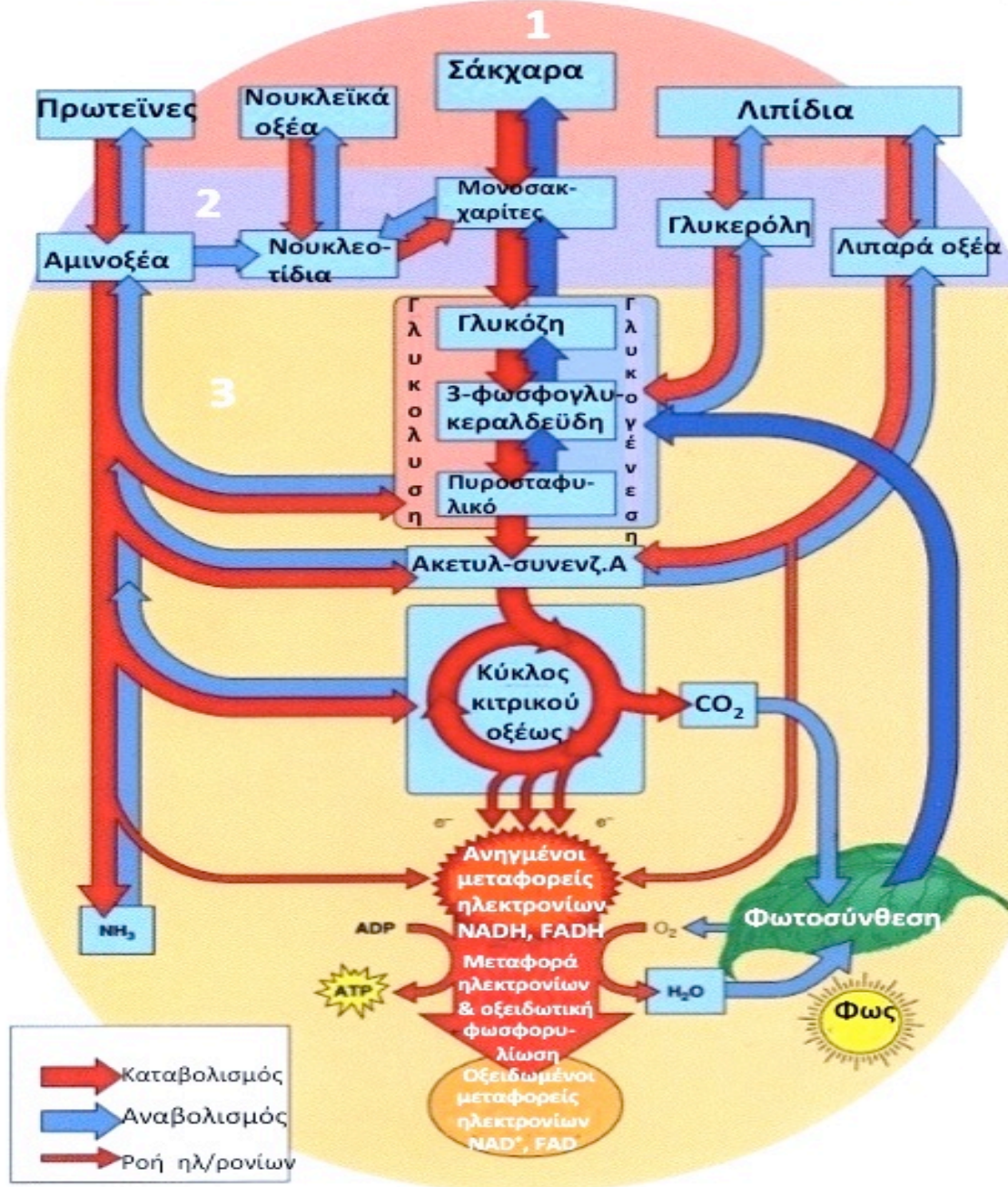
Οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις της ζωής



1 μόριο γλυκόζης = 36 μόρια ATP



Πανόραμα κυτταρικού μεταβολισμού

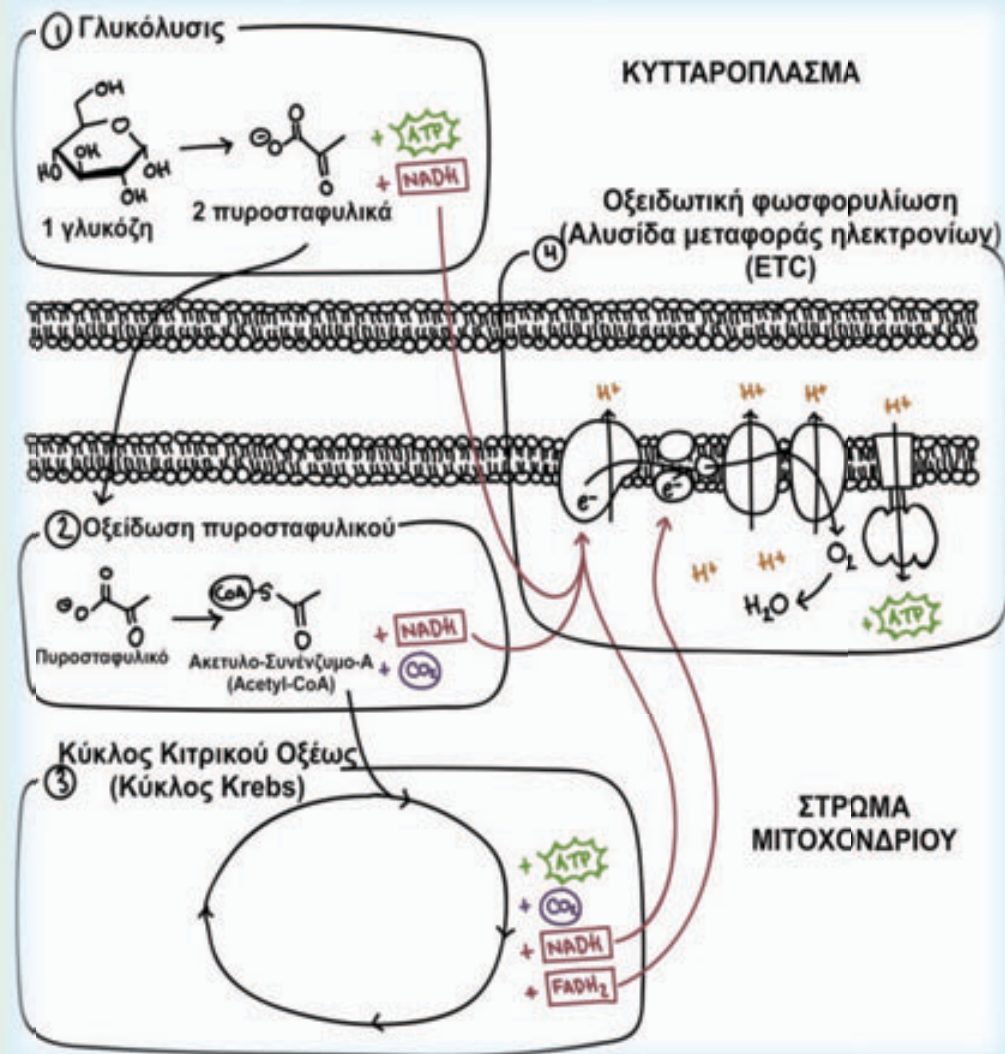
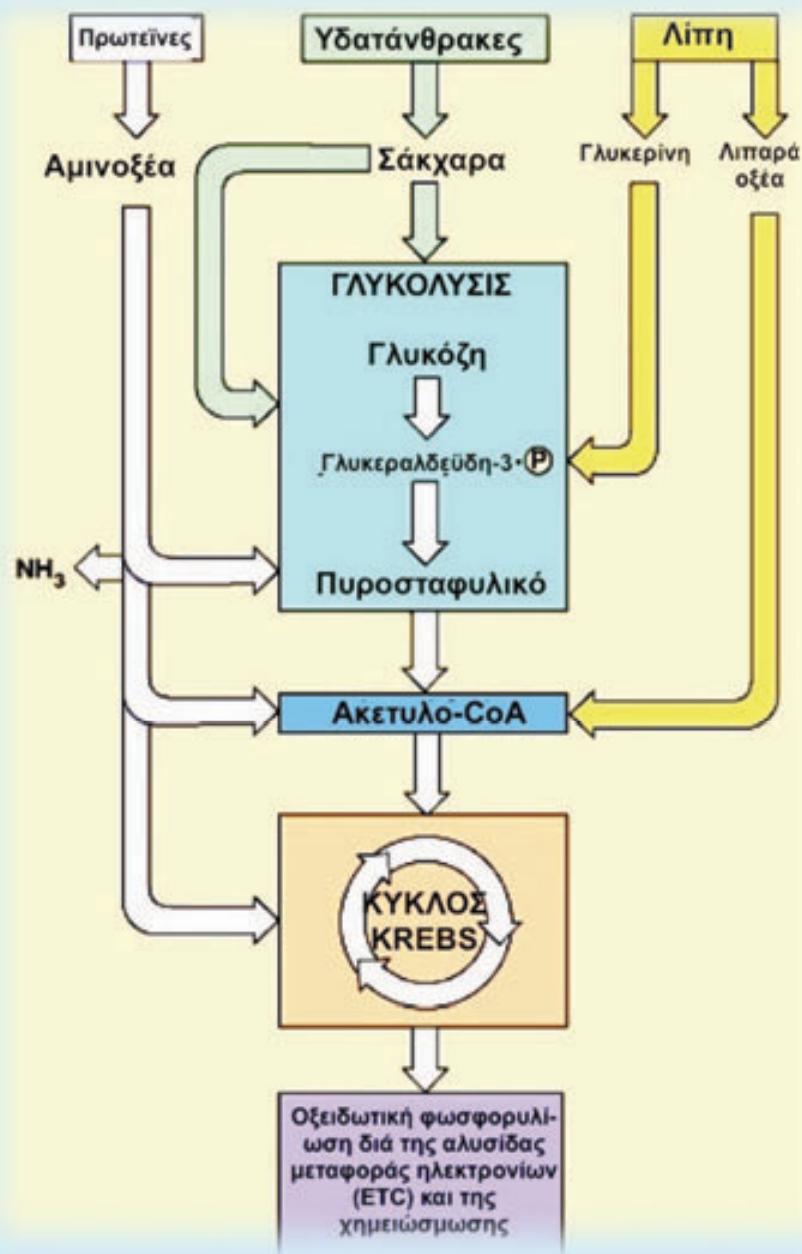


1: Τροφές

2: Μονομερή των τροφών

3: Μετασχηματισμοί ενέργειας και ύλης

Μεταβολισμός και μέρη του κυττάρου που συμβαίνει



Τα στοιχεία της ζωής

Στοιχείο	Μορφή διαθέσιμη για τα φύκη	% συμμετοχή του στην ξηρή κυτταρική μάζα	Κύρια λειτουργία
ΚΥΡΙΑ ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ (MACRONUTRIENTS)			
Ανθρακας	CO_2	45 %	Κύριο στοιχείο των οργανικών ενώσεων του φύκου (υδατάνθρακες, λίπη κ.ά.)
Οξυγόνο	O_2	45 %	Κύριο στοιχείο των οργανικών ενώσεων του φύκου
Υδρογόνο	H_2O	6 %	Κύριο στοιχείο των οργανικών ενώσεων του φύκου
Αζωτο	NO_3^- , NH_4^+	1,5 %	Συστατικό των νουκλεϊκών οξέων, πρωτεϊνών, ορμονών, χλωροφύλλης, συνενζύμων
Κάλιο	K^+	1,0 %	Συμπράγοντας (cofactor) στην πρωτεϊνική σύνθεση, ωσμωρύθμιση
Ασβέστιο	Ca^{++}	0,5 %	Σχηματισμός και σταθερότητα κυτταρικού τοιχώματος, διατήρηση μεμβρανοειδών δομών και διαπερατότητάς των, ενεργοποιεί ένζυμα, ρυθμιστής κυτταρικών αντιδράσεων σε ερεθίσματα
Μαγνήσιο	Mg^{++}	0,2 %	Συστατικό χλωροφύλλης, ενεργοποιητής πολλών ενζύμων
Φώσφορος	H_2PO_4^- , HPO_4^{--}	0,2 %	Συστατικό νουκλεϊκών οξέων, φωσφολιπιδίων, ATP, συνενζύμων
Θείο	SO_4^{--}	0,1 %	Συστατικό πρωτεϊνών, συνενζύμων
ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ (MICRONUTRIENTS)			
Χλώριο	Cl^-	0,01 %	Απαιτείται για τη φωτοσυνθετική διάσπαση του νερού, υδατικό ισοζύγιο
Σίδηρος	Fe^{+++} , Fe^{++}	0,01 %	Συστατικό κυτοχρωμάτων, ενεργοποιεί ένζυμα
Μαγγάνιο	Mn^{++}	0,005 %	Ενεργό στην αμινοξική σύνθεση, ενεργοποιεί ένζυμα απαιτούμενα στην φωτοσυνθετική διάσπαση του νερού
Βόριο	H_2BO^{--}	0,002 %	Συμπράγοντας στη σύνθεση χλωροφύλλης, πιθανώς εμπλέκεται στη μεταφορά υδατανθράκων και στη σύνθεση νουκλεϊκών οξέων, λειτουργία του κυτταρικού τοιχώματος
Ψευδάργυρος	Zn^{++}	0,002 %	Δράση στο σχηματισμό της χλωροφύλλης, ενεργοποιεί ένζυμα
Χαλκός	Cu^+ , Cu^{++}	0,001 %	Στοιχείο οξειδοαναγωγικών και βιοσυνθετικών της λιγνίνης (στα φυτά) ενζύμων
Νικέλιο	Ni^{++}	0,001 %	Συμπράγοντας ενζύμου στο μεταβολισμό του αζώτου
Μολυβδαίνιο	MoO_4^{--}	0,0001 %	Συμπράγοντας στην αναγωγή των νιτρικών, απαιτείται στη συμβιωτική λειτουργία με αζωτοδεσμευτικά βακτήρια