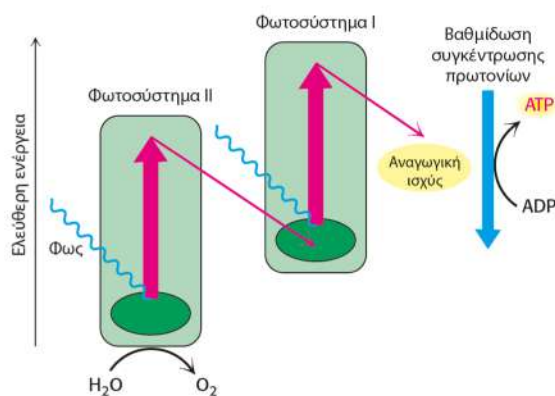


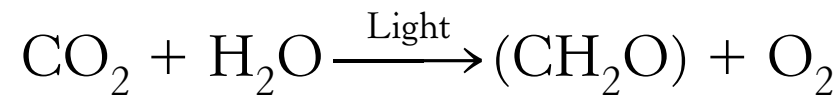
Βιοχημεία I

Κεφάλαιο 19

Οι φωτεινές αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης



Φωτοσύνθεση: μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε χημική ενέργεια



Υδατάνθρακες: Ενέργεια αλλά και ανθρακούχα μόρια για την σύνθεση βιομορίων

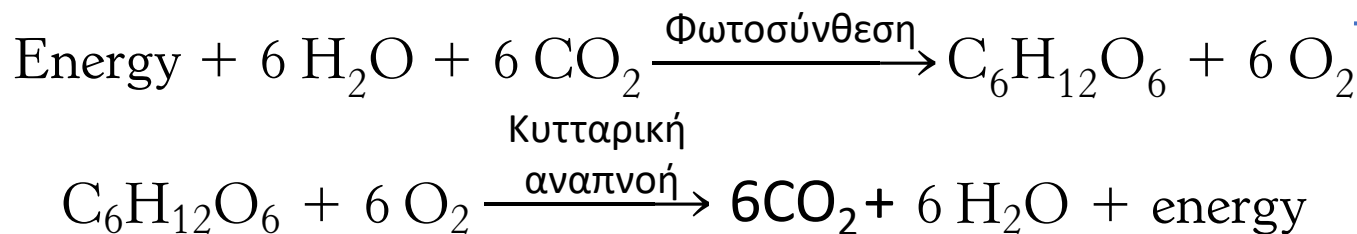
Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί ονομάζονται αυτότροφοι (μπορούν να συνθέσουν καύσιμα μόρια)

Οι οργανισμοί που προμηθεύονται ενέργεια μόνο από καύσιμα μόρια, ονομάζονται ετερότροφοι



19.0 Εισαγωγή

Η φωτοσύνθεση αποτελείται από δύο μέρη: τις φωτεινές αντιδράσεις και τις σκοτεινές αντιδράσεις (*κύκλος του Calvin*)



Οι διεργασίες της αναπνοής και της φωτοσύνθεσης **είναι χημικά αντίθετες**, αλλά οι βιοχημικές αρχές που διέπουν τις δύο διεργασίες **είναι ταυτόσημες**



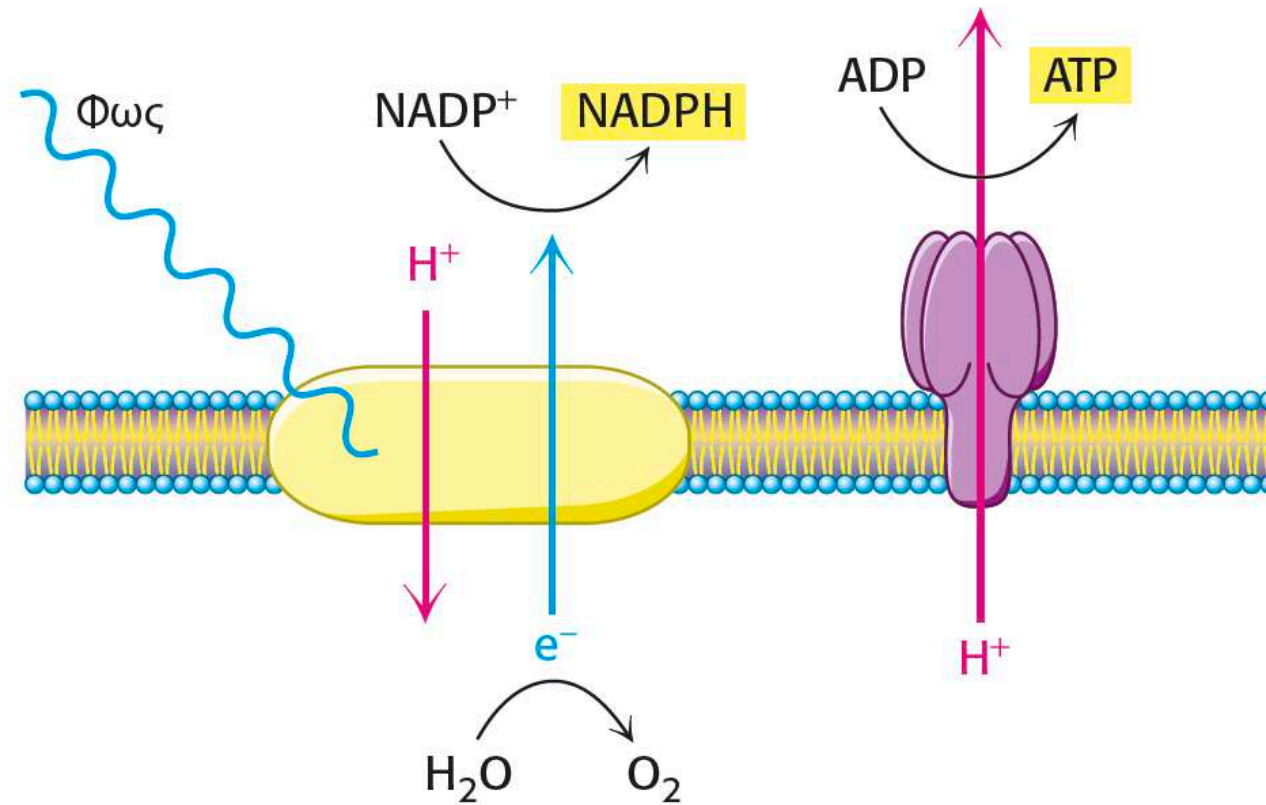
Παραγωγή e^- υψηλής ενέργειας



Η φωτοσύνθεση χρησιμοποιεί την φωτεινή ενέργεια ώστε να ωθήσει τα e^- από την κατάσταση χαμηλής στην κατάσταση υψηλής ενέργειας

19.0 Εισαγωγή

Οι αντιδράσεις που παίρνουν ενέργεια από το ηλιακό φως ονομάζονται φωτεινές αντιδράσεις



19.1 Η φωτοσύνθεση λαμβάνει χώρα στους χλωροπλάστες

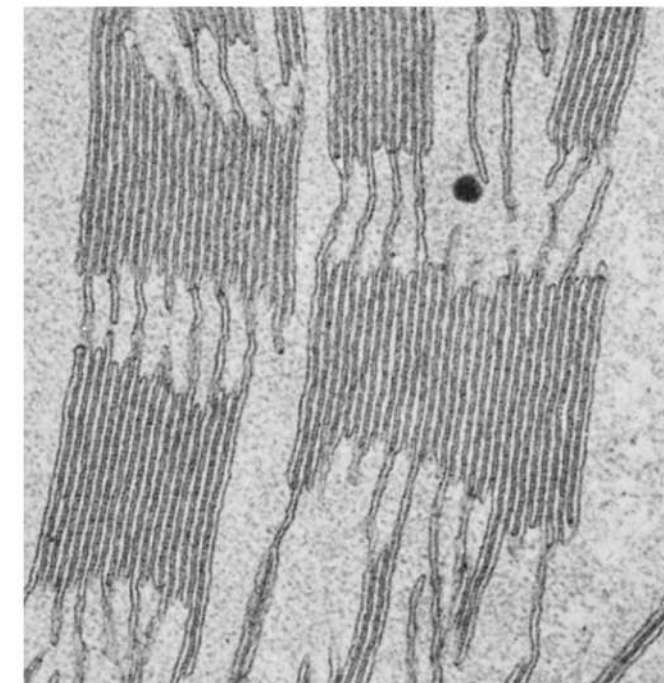
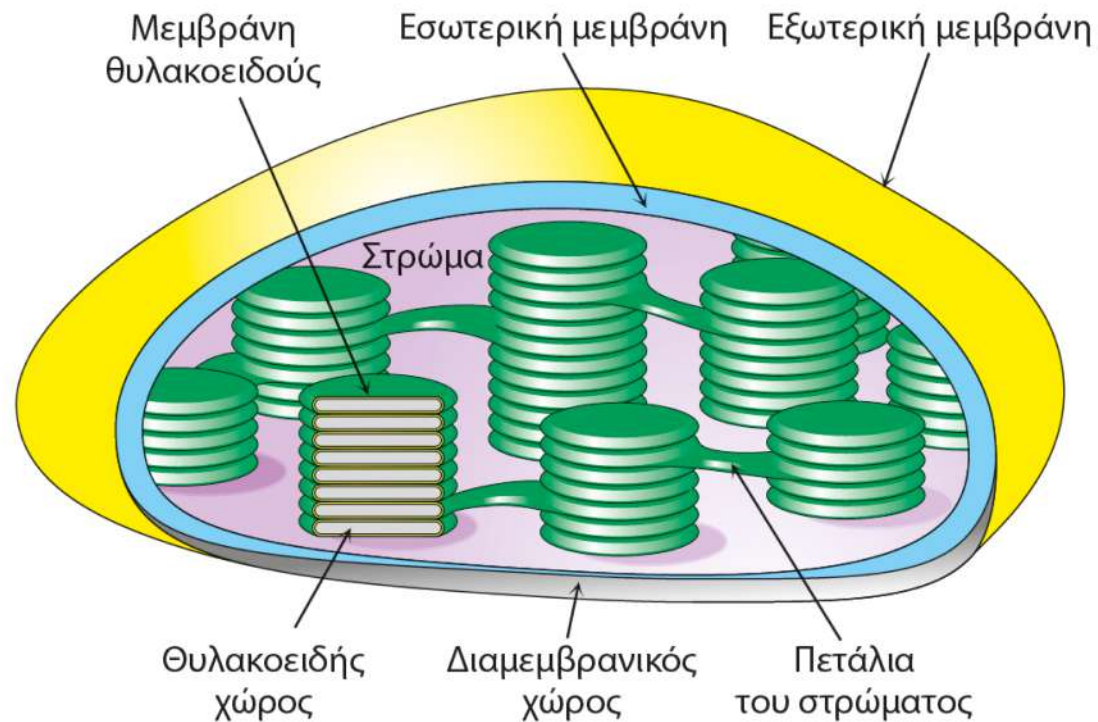
Όπως το μιτοχόνδριο, έτσι και ο χλωροπλάστης..

3 μεμβράνες

- Εξωτερική
- Εσωτερική
- Μembrάνη των θυλακοειδών

3 διαφορετικούς χώρους

- Διαμεμβρανικό
- Στρωματικό
- Θυλακοειδή χώρο



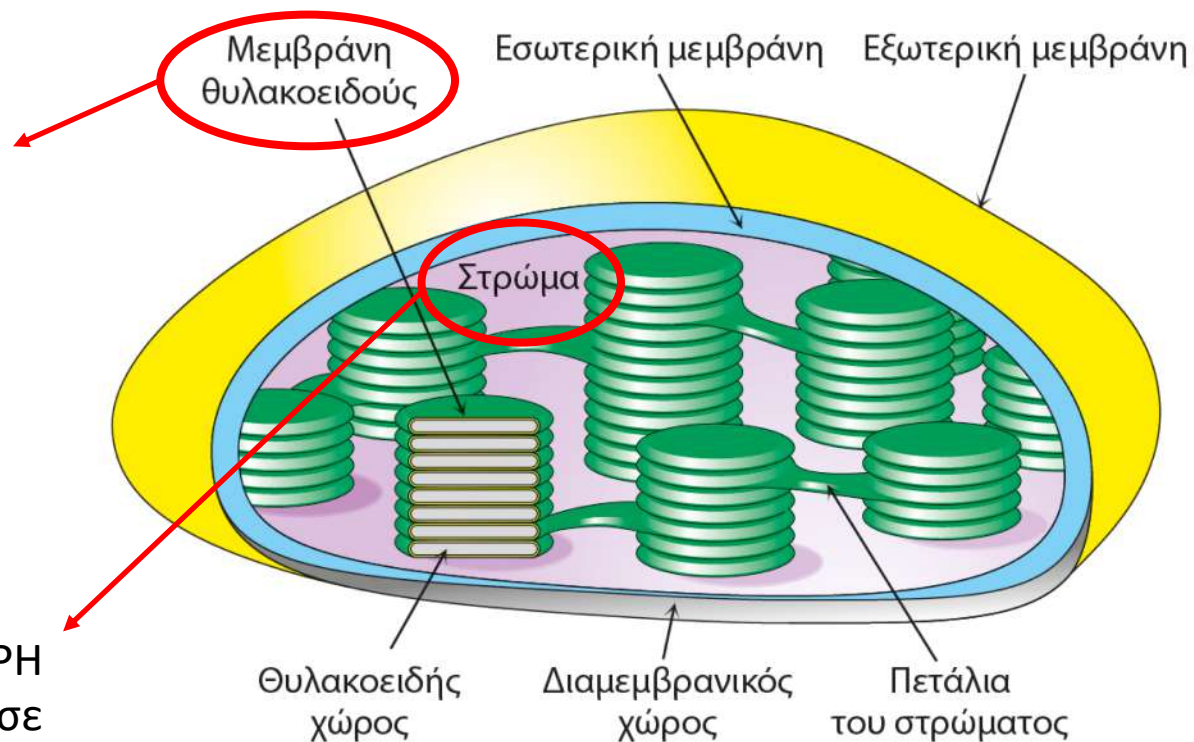
19.1 Η φωτοσύνθεση λαμβάνει χώρα στους χλωροπλάστες

Τα πρωταρχικά γεγονότα της φωτοσύνθεσης λαμβάνουν χώρα στις μεμβράνες των θυλακοειδών

Περιέχει συσκευές μετατροπής ενέργειας:

- φωτοσυλλεκτικές πρωτεΐνες
- κέντρα αντίδρασης
- αλυσίδες μεταφοράς e^-
- συνθάση της ATP

Περιέχει ένζυμα που χρησιμοποιούν NADPH και την ATP για να μετατρέψουν το CO_2 σε σάκχαρο

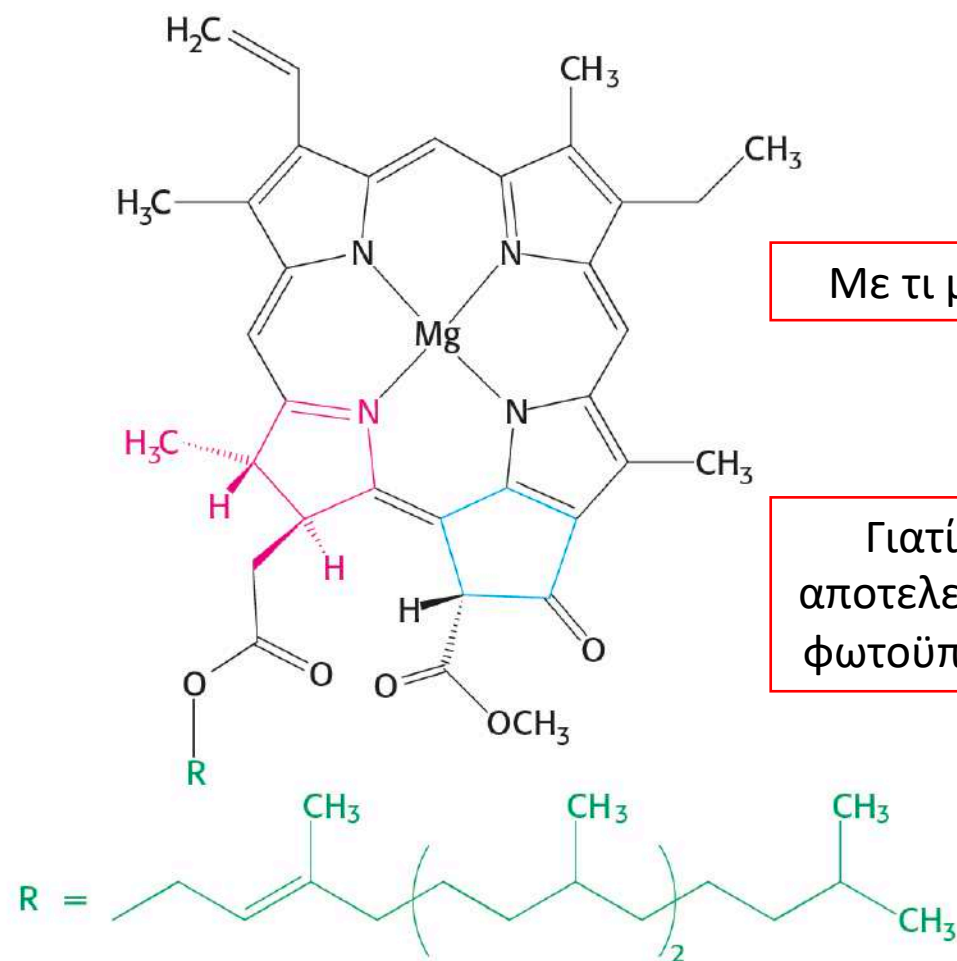


19.2 Η απορρόφηση φωτός από την χλωροφύλλη επάγει τη μεταφορά ηλεκτρονίων

Η δέσμευση του φωτός είναι το κλειδί στην φωτοσύνθεση

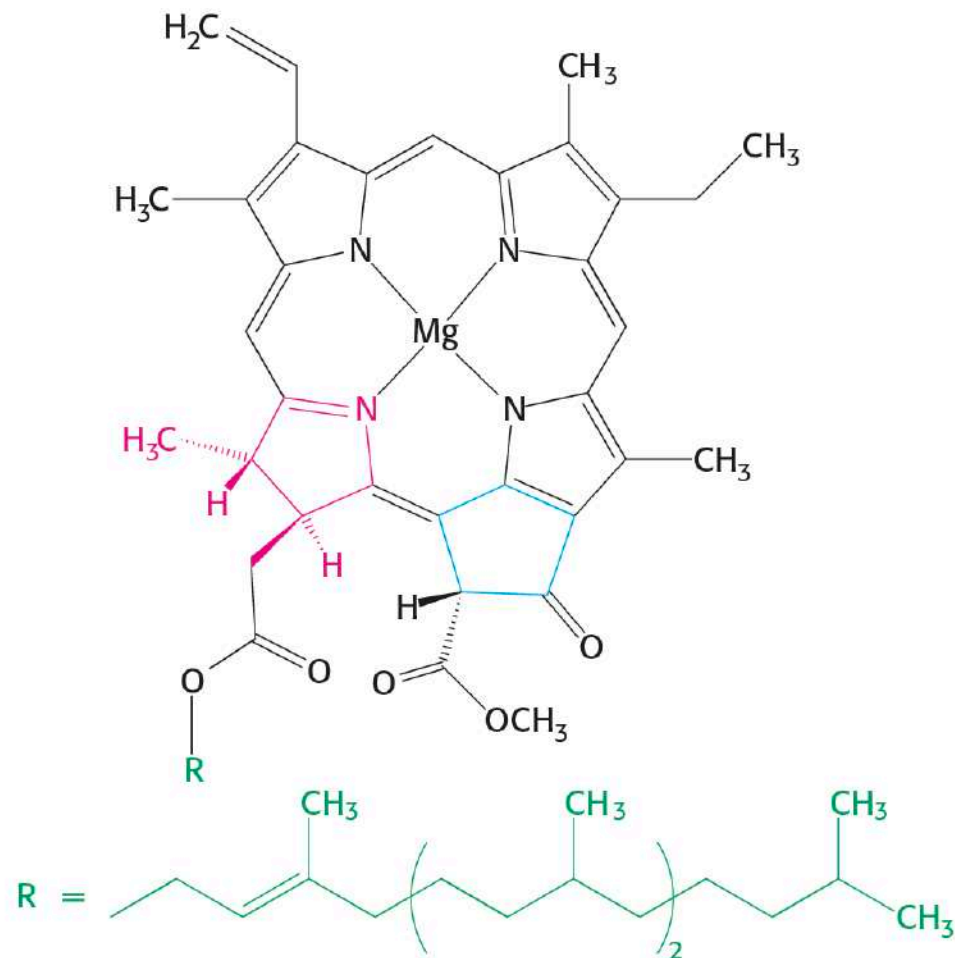
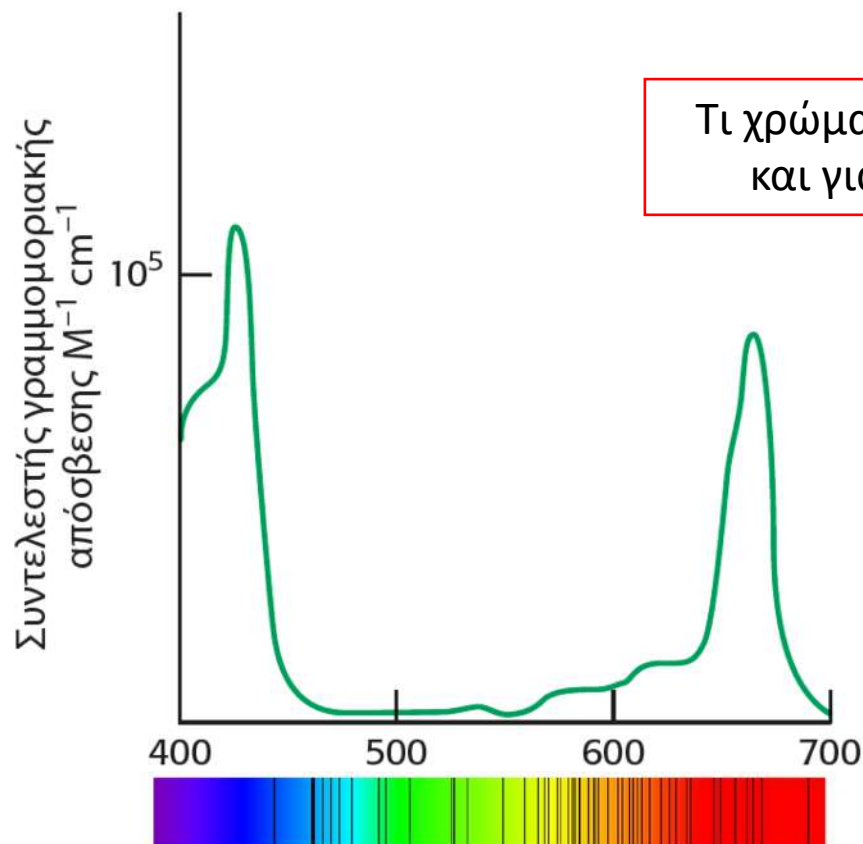
Ο κύριος φωτοϋποδοχέας στους χλωροπλάστες είναι η χρωστική **χλωροφύλλη α**

- Ένα κυκλικό τετραπυρρόλιο
- Σύμπλοκο συναρμογής με ένα κεντρικό ιόν μαγνησίου
- Ένα ανηγμένο δακτύλιο πυρρολίου
- Ένα επιπλέον πεντανθρακικό δακτύλιο
- Περιέχει φυτόλη (υδρόφοβη αλκοόλη 20 ατόμων C, εστεροποιημένη σε μια πλευρική αλυσίδα οξέος)



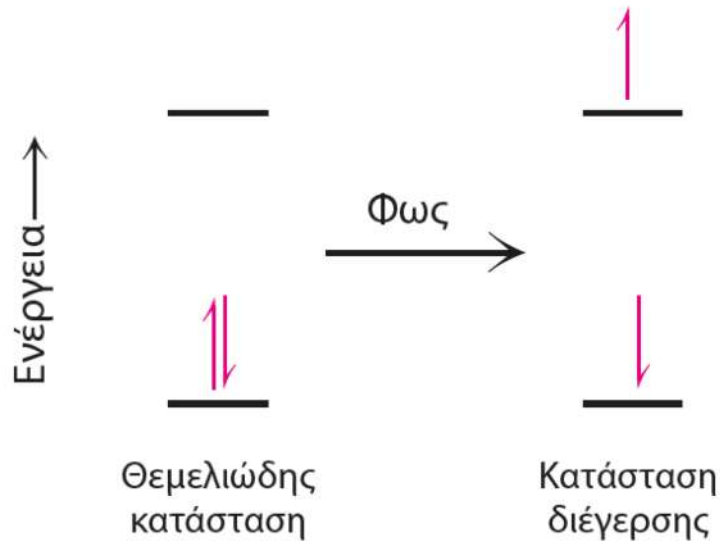
19.2 Η απορρόφηση φωτός από την χλωροφύλλη επάγει τη μεταφορά ηλεκτρονίων

Απορρόφηση φωτός από την χλωροφύλλη α

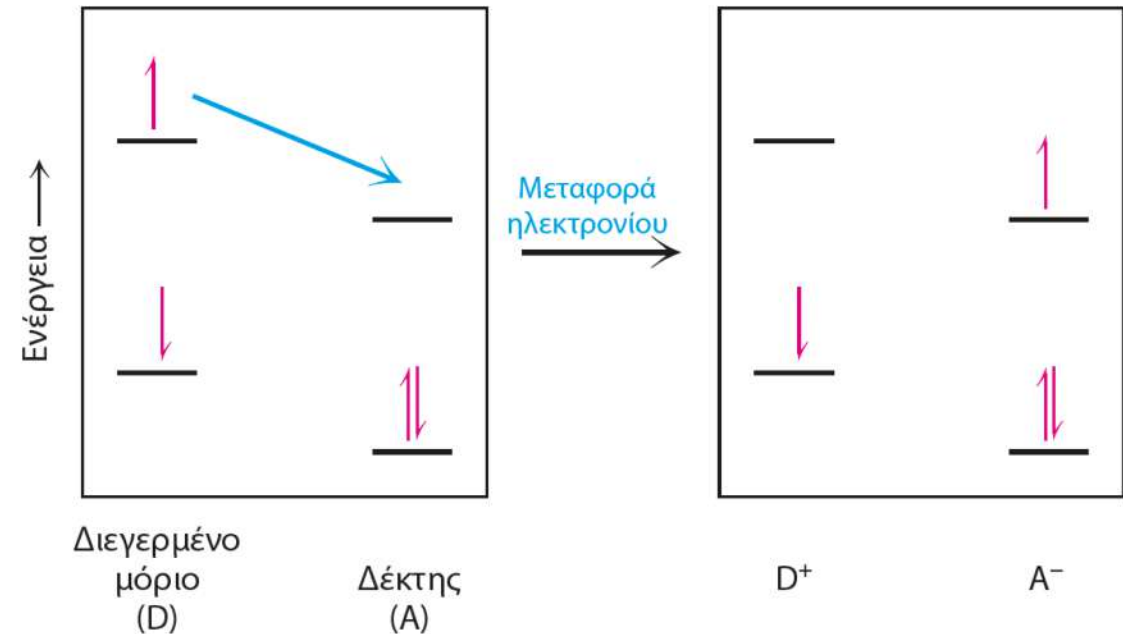


19.2 Η απορρόφηση φωτός από την χλωροφύλλη επάγει τη μεταφορά ηλεκτρονίων

Τι συμβαίνει όμως όταν απορροφά φως η χλωροφύλλη;



φωτοεπαγωγόμενος διαχωρισμός φορτίων



Κέντρο αντίδρασης

Οι συνιστώσες της φωτοσύνθεσης είναι διαρρυθμισμένες έτσι ώστε μεγιστοποιηθεί ο φωτοεπαγωγόμενος διαχωρισμός φορτίων και να ελαχιστοποιηθεί η μη παραγωγική επιστροφή του e⁻ στην θεμελιώδη κατάσταση

19.2 Η απορρόφηση φωτός από την χλωροφύλλη επάγει τη μεταφορά ηλεκτρονίων

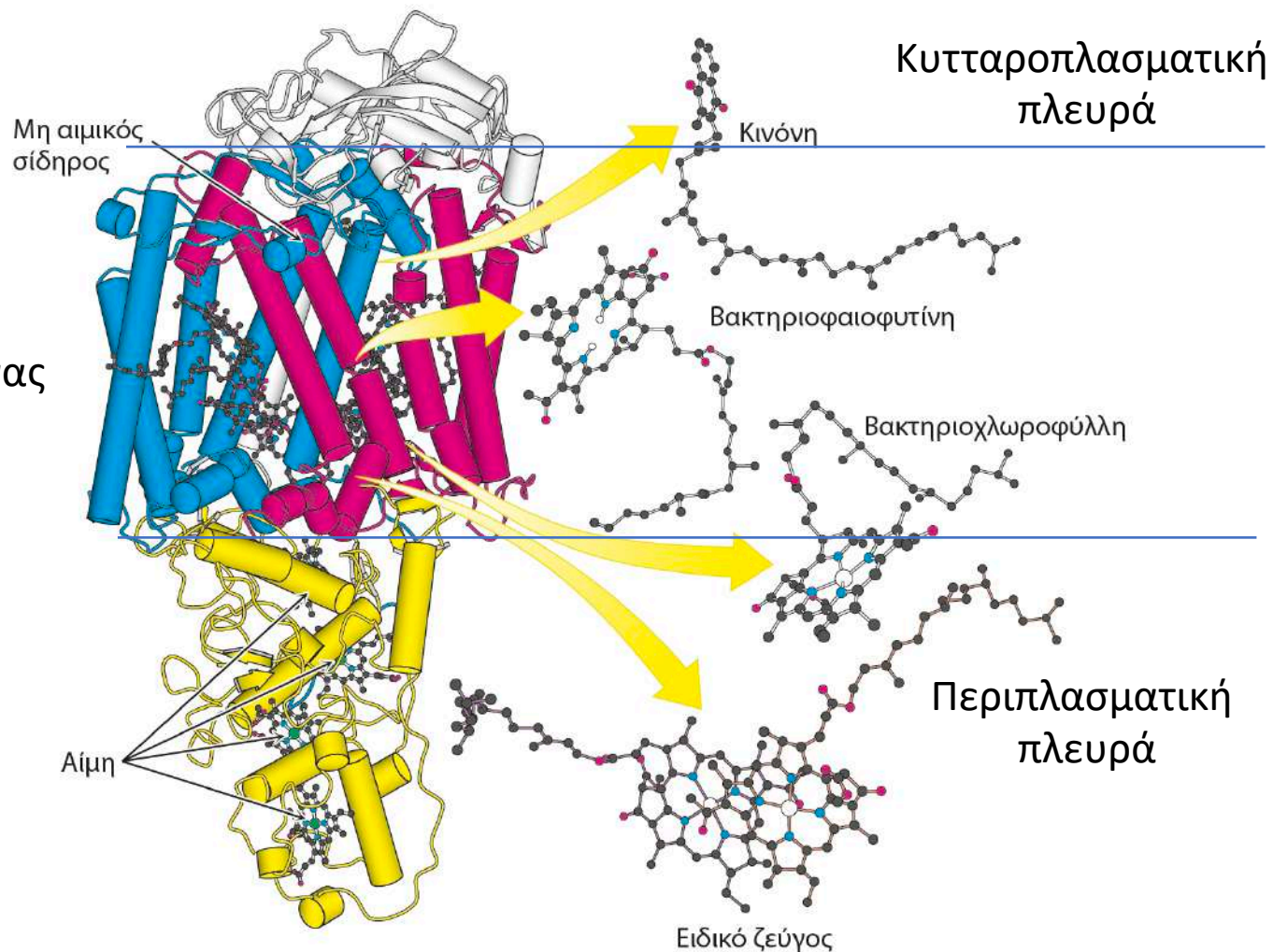
Βακτηριακό κέντρο φωτοσυνθετικής αντίδρασης

Τα πολυπεπτίδια:

- Υπομονάδα L
 - Υπομονάδα M
 - Υπομονάδα H
 - Υπομονάδα C (κυτόχρωμα τύπου c με 4 μόρια αίμης)
- Δομικός και λειτουργικός πυρήνας

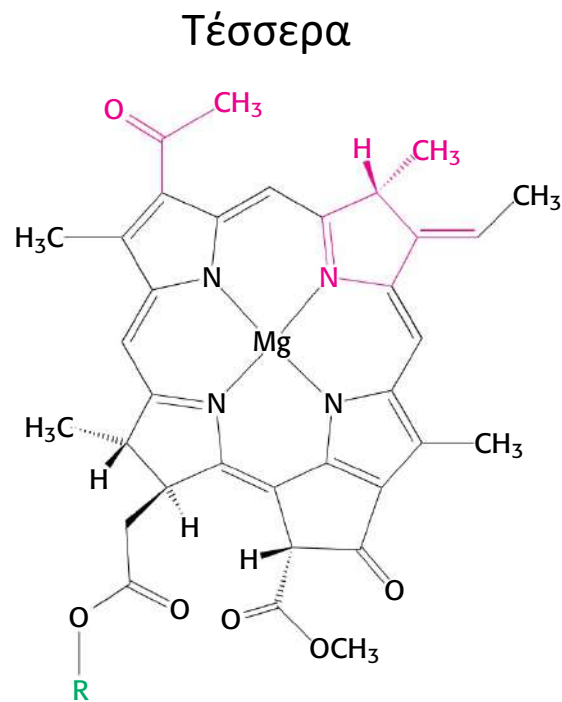
Είναι ομόλογο με τα πιο πολύπλοκα συστήματα των φυτών

Πολλές από τις παρατηρήσεις έχουν εφαρμογή στα συστήματα φυτών

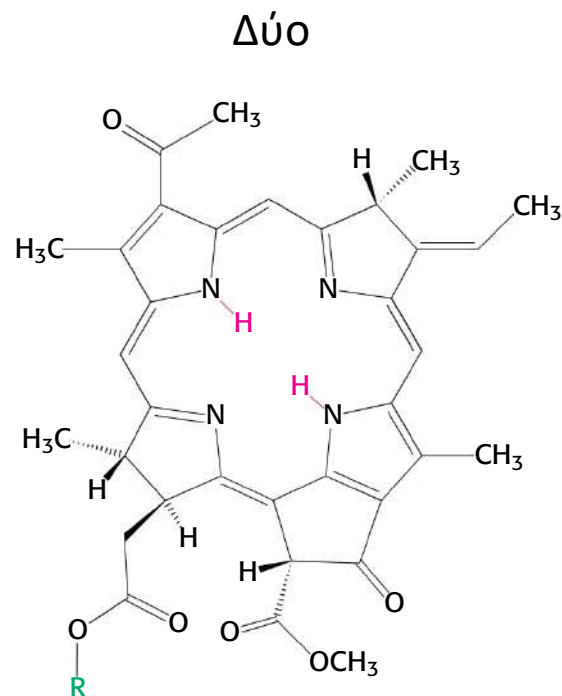


19.2 Η απορρόφηση φωτός από την χλωροφύλλη επάγει τη μεταφορά ηλεκτρονίων

Οι υπομονάδες L και M είναι συνδεδεμένες με:



Βακτηριοχλωροφύλλη b
(BChl-b)



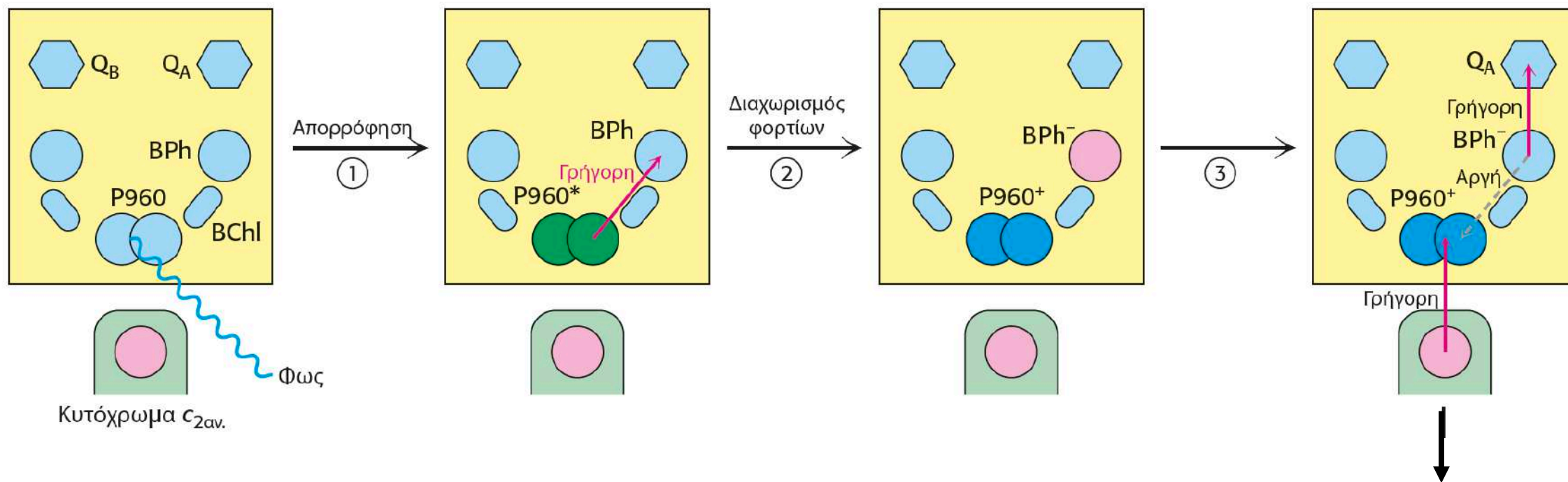
Βακτηριοφαιοφυτίνη
(BPh)

Δύο κινόνες (Q_A και Q_B)

Ένα Fe^{2+}

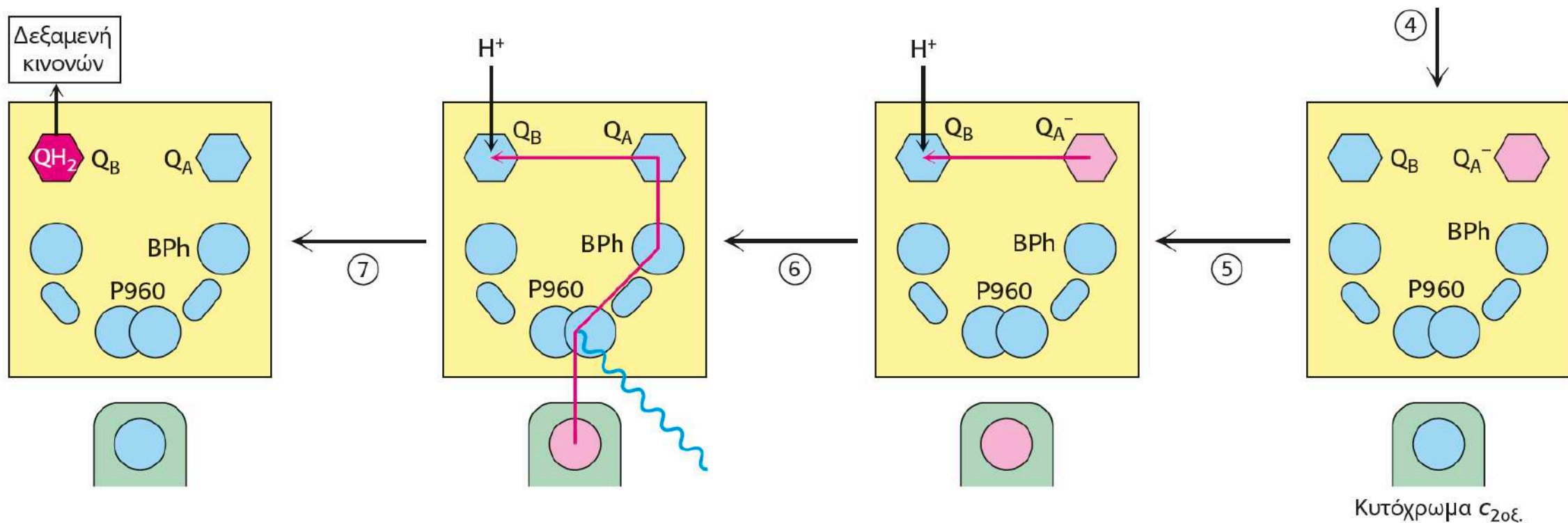
19.2 Η απορρόφηση φωτός από την χλωροφύλλη επάγει τη μεταφορά ηλεκτρονίων

Η αλυσίδα των ηλεκτρονίων στο βακτηριακό κέντρο φωτοσυνθετικής αντίδρασης



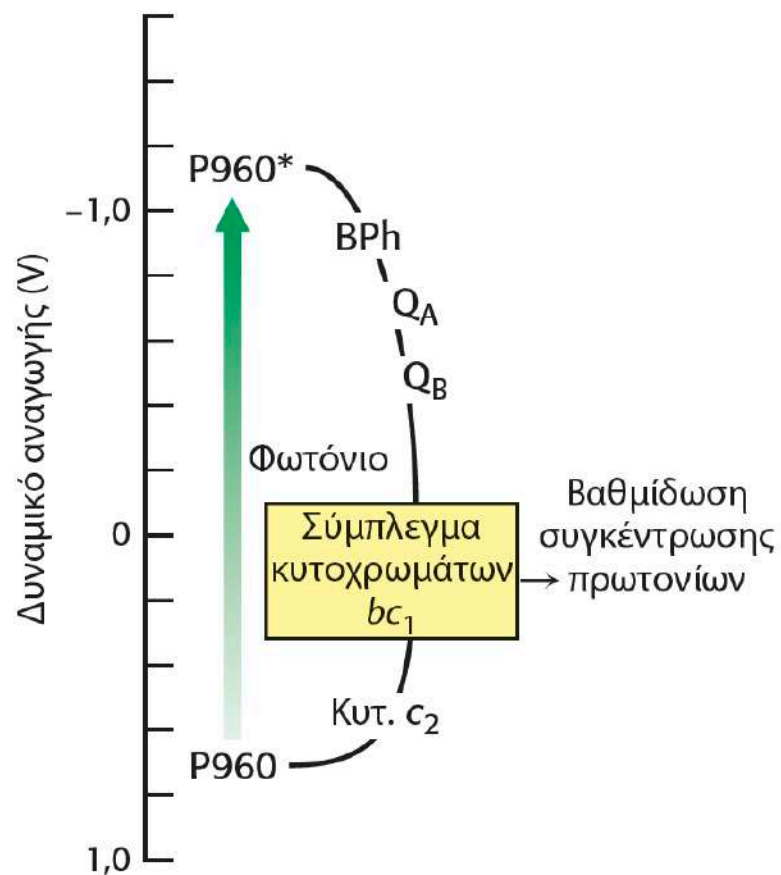
19.2 Η απορρόφηση φωτός από την χλωροφύλλη επάγει τη μεταφορά ηλεκτρονίων

Η αλυσίδα των ηλεκτρονίων στο βακτηριακό κέντρο φωτοσυνθετικής αντίδρασης



19.2 Η απορρόφηση φωτός από την χλωροφύλλη επάγει τη μεταφορά ηλεκτρονίων

Η κυκλική ροή των ηλεκτρονίων ανάγει το κυτόχρωμα στο κέντρο αντίδρασης



→ Ωθεί την παραγωγή ATP μέσω της δράσης της συνθάσης της ATP

19.3 Στη φωτοσύνθεση που παράγει O_2 , δύο φωτοσυστήματα παράγουν μια βαθμίδωση συγκεντρ. H^+ και $NADPH$

Τα δύο φωτοσυστήματα

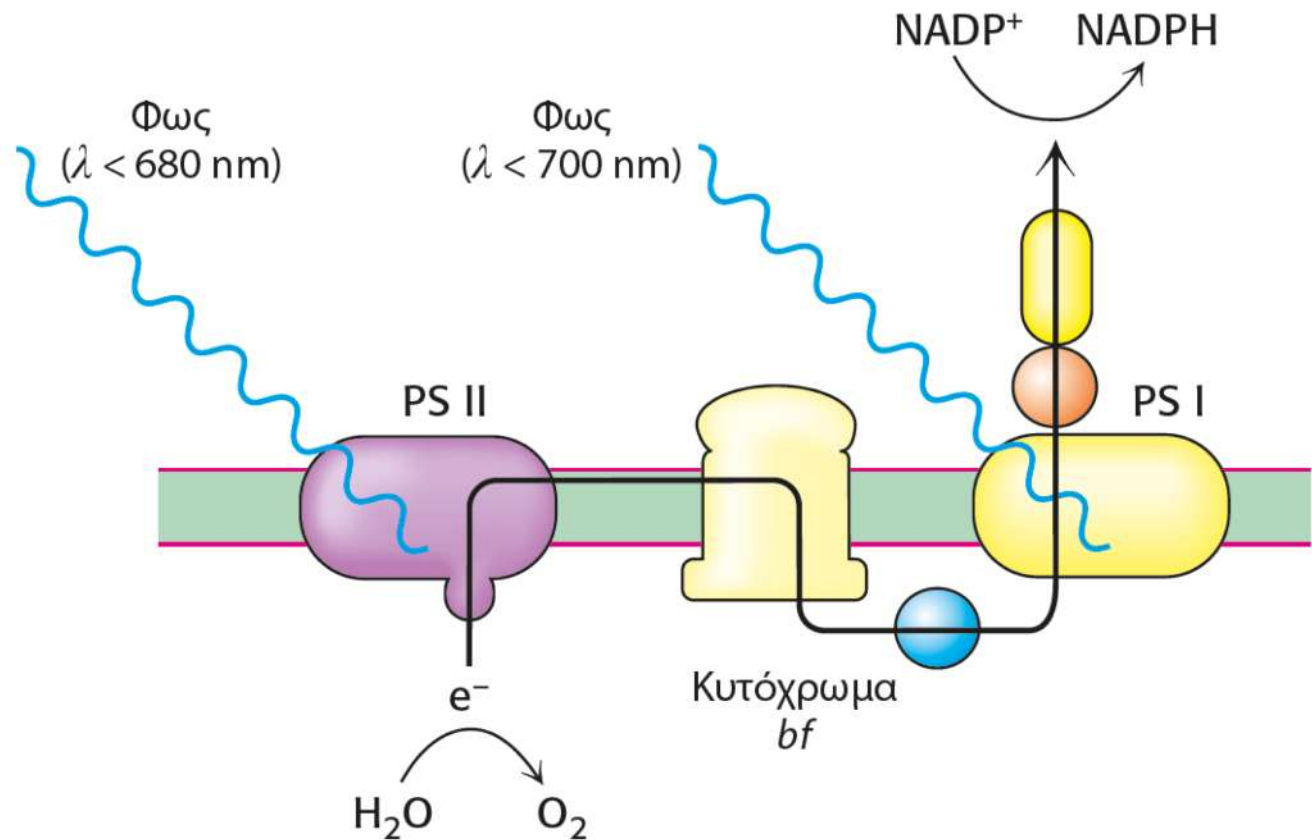
Οι φωτοσύνθεση στα πράσινα φυτά είναι πιο πολύπλοκη από ότι στα φωτοσυνθετικά βακτήρια

Και τα δύο χρειάζονται φως για να ενεργοποιήσουν ένα κέντρο αντίδρασης που αποτελείται από ειδικά ζεύγη

- P700 (φωτοσύστημα I)
- P680 (φωτοσύστημα II)

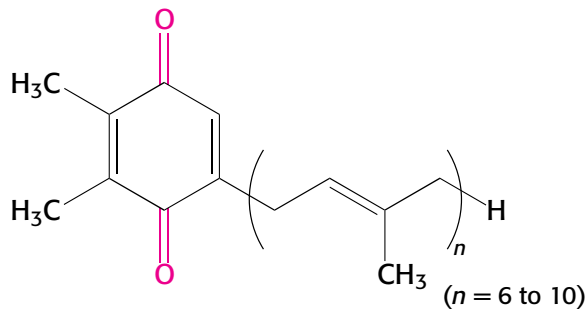
Χρησιμοποιούν αλυσίδες μεταφοράς e^-

Δεν είναι κυκλική η μεταφορά

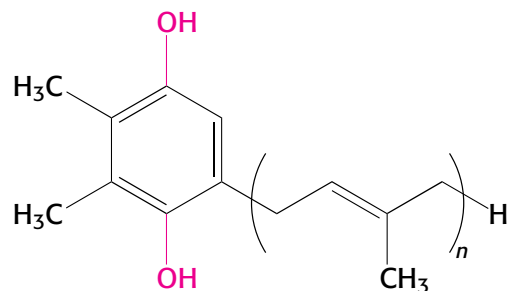


19.3 Στη φωτοσύνθεση που παράγει O₂, δύο φωτοσυστήματα παράγουν μια βαθμίδωση συγκεντρ. H⁺ και NADPH

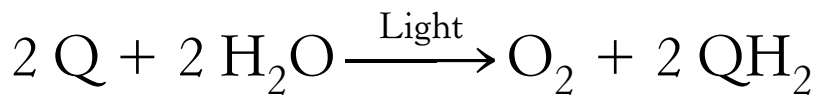
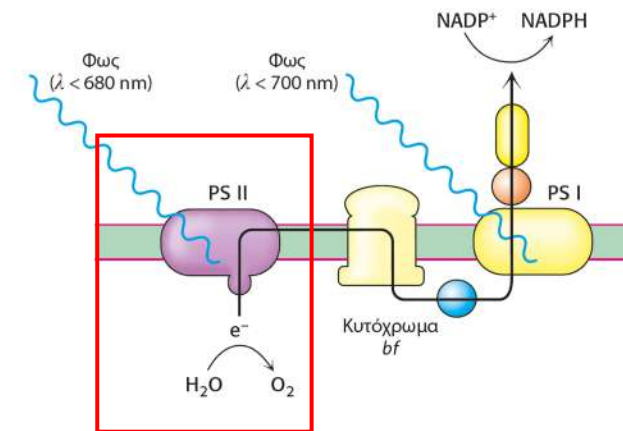
Τα φωτοσύστημα II μεταφέρει e⁻ από το H₂O στην πλαστοκινόνη και παράγει μια βαθμίδωση συγκέντρωσης H⁺



Πλαστοκινόνη
(οξειδωμένη μορφή, Q)



Πλαστοκινόλη
(ανηγμένη μορφή, QH₂)



Τα φωτοσύστημα II ωθεί την αντίδραση προς μια θερμοδυναμικά ενεργογόρο κατεύθυνση, χρησιμοποιώντας την ελεύθερη ενέργεια του φωτός

19.3 Στη φωτοσύνθεση που παράγει O_2 , δύο φωτοσυστήματα παράγουν μια βαθμίδωση συγκεντρ. H^+ και NADPH

Η δομή του φωτοσυστήματος II

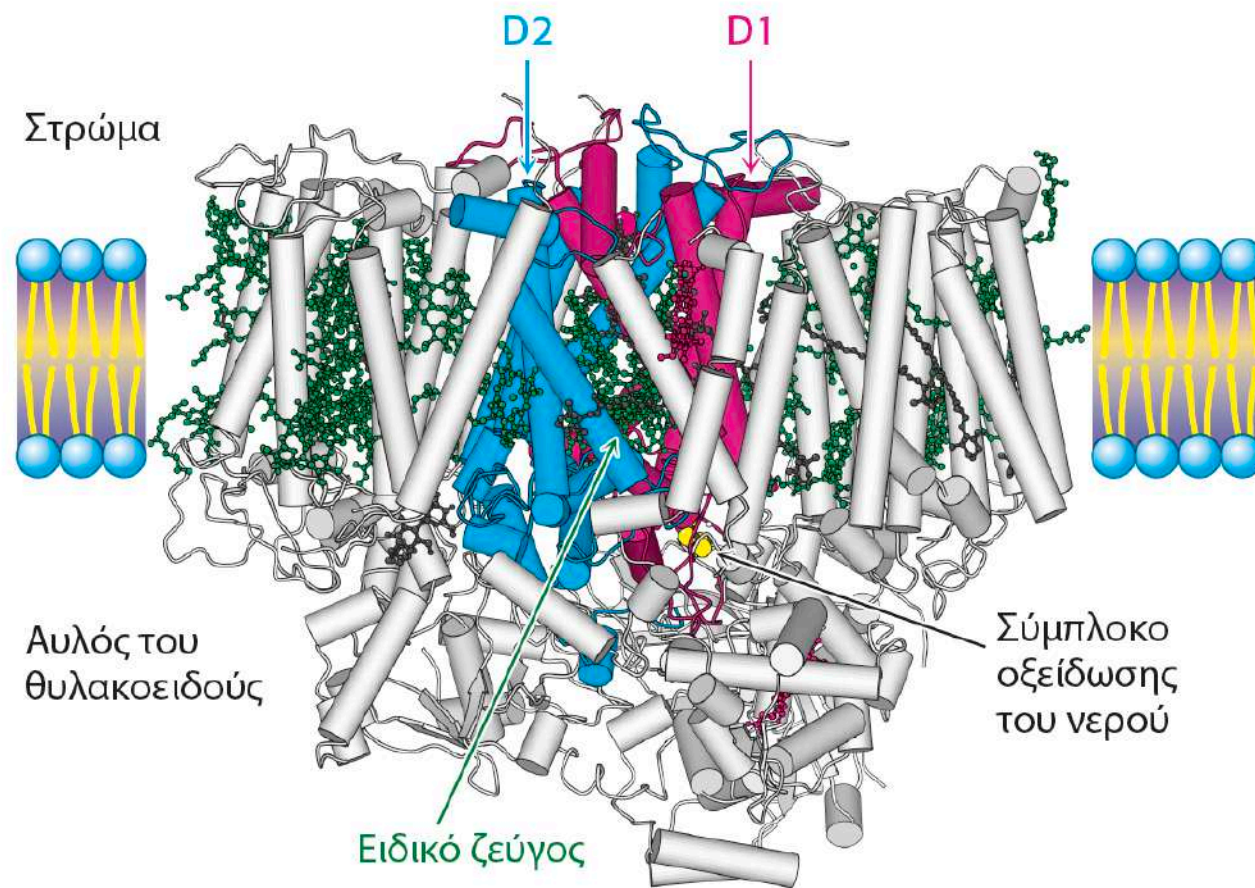
Μοιάζει αρκετά με το βακτηριακό κέντρο φωτοσυνθετικής αντίδρασης

D1 και D2: πυρήνας

Επιπλέον υπομονάδες

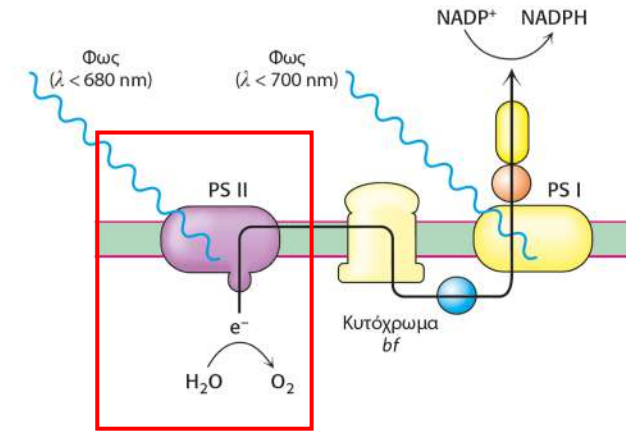
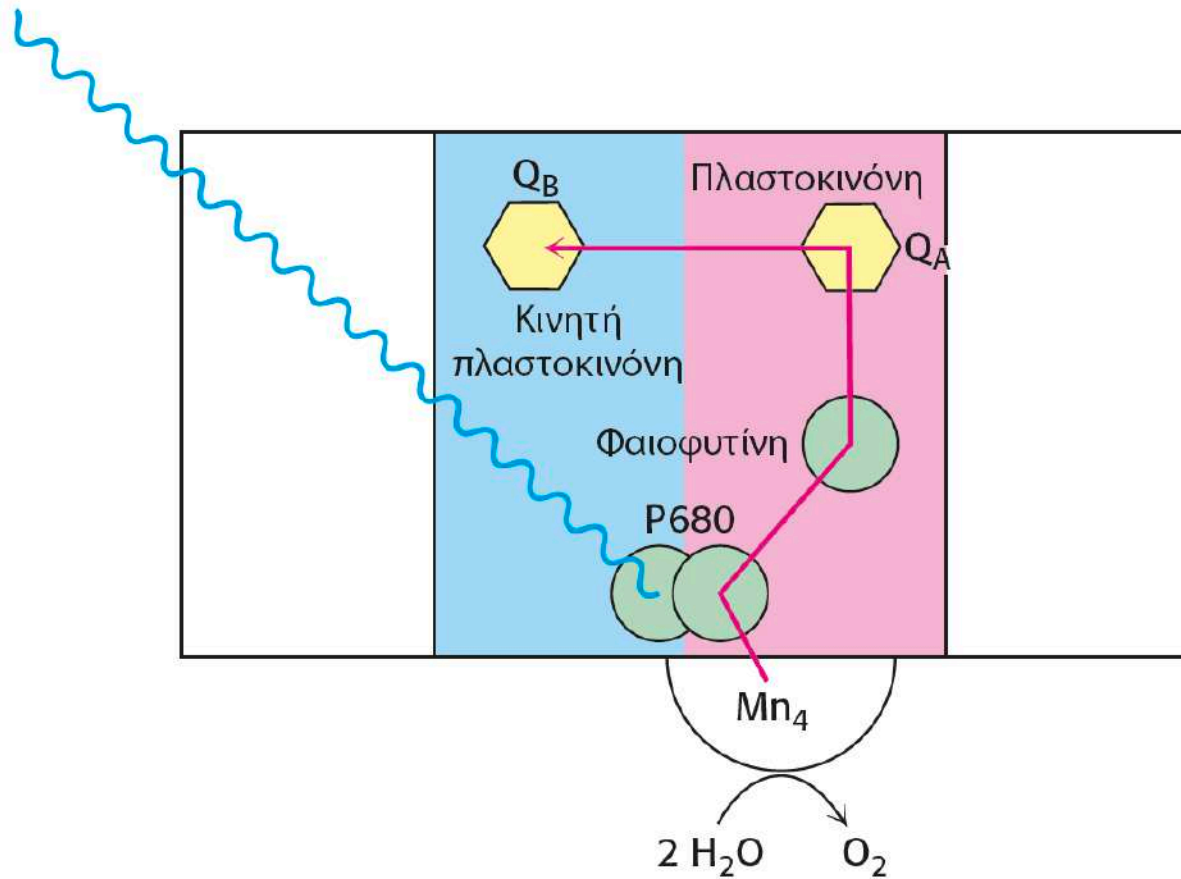
30 μόρια χλωροφύλλης

Αύξηση αποτελεσματικότητας με την οποία απορροφάται η ενέργεια τους φωτός και μεταφέρεται στο κέντρο αντίδρασης



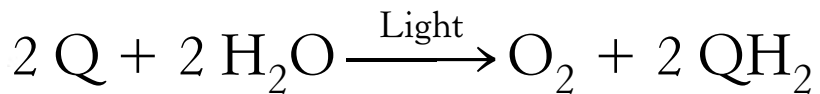
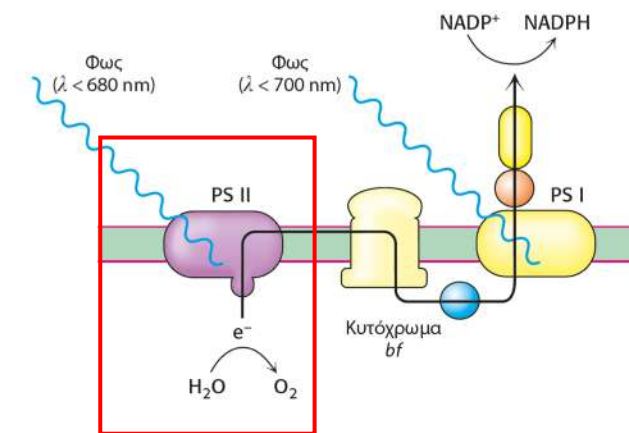
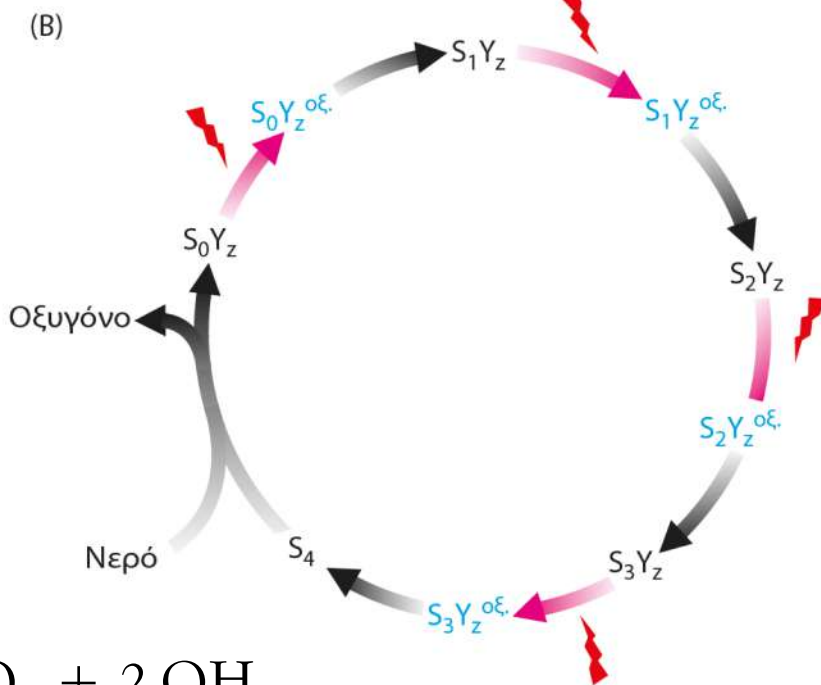
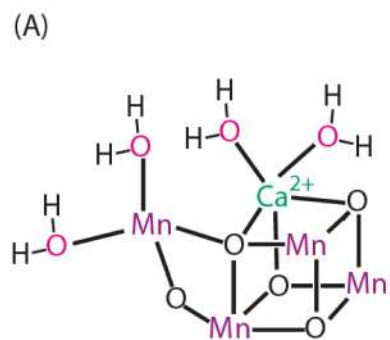
19.3 Στη φωτοσύνθεση που παράγει O₂, δύο φωτοσυστήματα παράγουν μια βαθμίδωση συγκεντρ. H⁺ και NADPH

Η ροή ηλεκτρονίων μέσω του φωτοσυστήματος II



19.3 Στη φωτοσύνθεση που παράγει O₂, δύο φωτοσυστήματα παράγουν μια βαθμίδωση συγκεντρ. H⁺ και NADPH

Η P680⁺, ένα πολύ ισχυρό οξειδωτικό μέσο, αφαιρεί ηλεκτρόνια από μόρια ύδατος προσδεμένα στο σύμπλοκο οξείδωσης του νερού (WOC) ή αλλιώς κέντρο μαγγανίου



19.3 Στη φωτοσύνθεση που παράγει O_2 , δύο φωτοσυστήματα παράγουν μια βαθμίδωση συγκεντρ. H^+ και NADPH

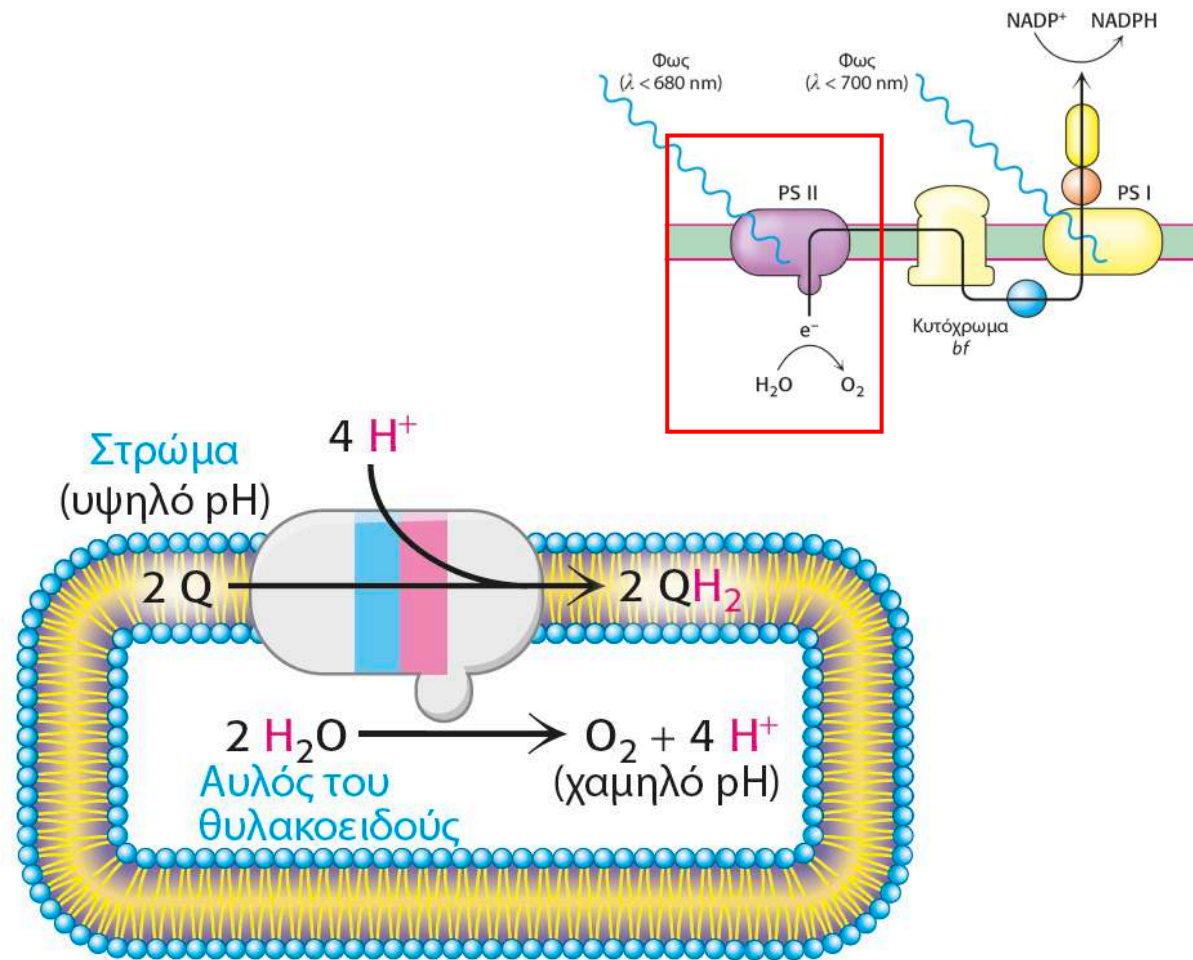
Κατεύθυνση της βαθμίδωσης συγκέντρωσης πρωτονίων

Η θέση της αναγωγής της κινόνης βρίσκεται στην πλευρά του στρώματος, ενώ το WOC (η θέση οξείδωσης του νερού) να βρίσκεται στον αυλό του θυλακοειδούς

$2H^+$ παράγονται από κάθε αναγωγή της πλαστικινόνης Q σε QH_2 προέρχονται από το στρώμα

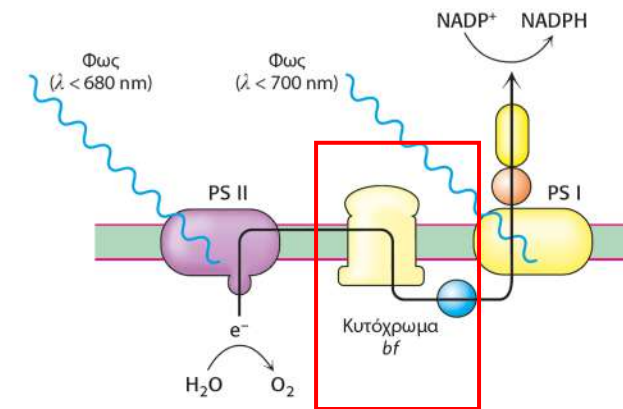
$4H^+$ παράγονται από την οξείδωση του νερού και απελευθερώνονται στον αυλό του θυλακοειδούς

Βαθμίδωση συγκέντρωσης H^+ μεταξύ των δυο πλευρών της μεμβράνης του θυλακοειδούς

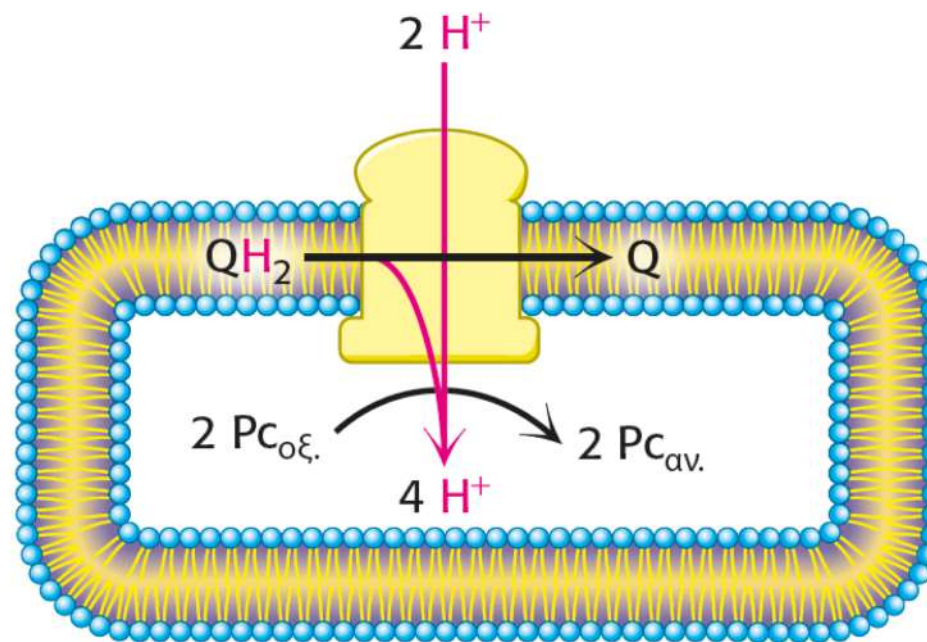


19.3 Στη φωτοσύνθεση που παράγει O₂, δύο φωτοσυστήματα παράγουν μια βαθμίδωση συγκεντρ. H⁺ και NADPH

Το σύμπλεγμα κυτοχρωμάτων bf συνδέει το φωτοσύστημα II με το φωτοσύστημα I



Μεταφορά ηλεκτρονίων από την πλαστοκινόλη (QH₂) στην πλαστοκυανίνη (Pc) μια μικρή διαλυτή πρωτεΐνη χαλκού



19.3 Στη φωτοσύνθεση που παράγει O₂, δύο φωτοσυστήματα παράγουν μια βαθμίδωση συγκεντρ. H⁺ και NADPH

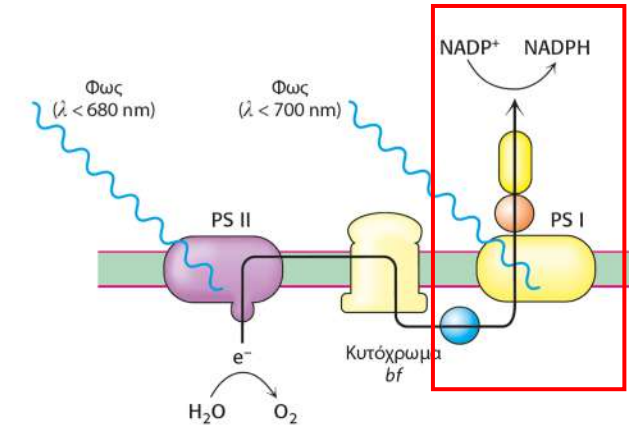
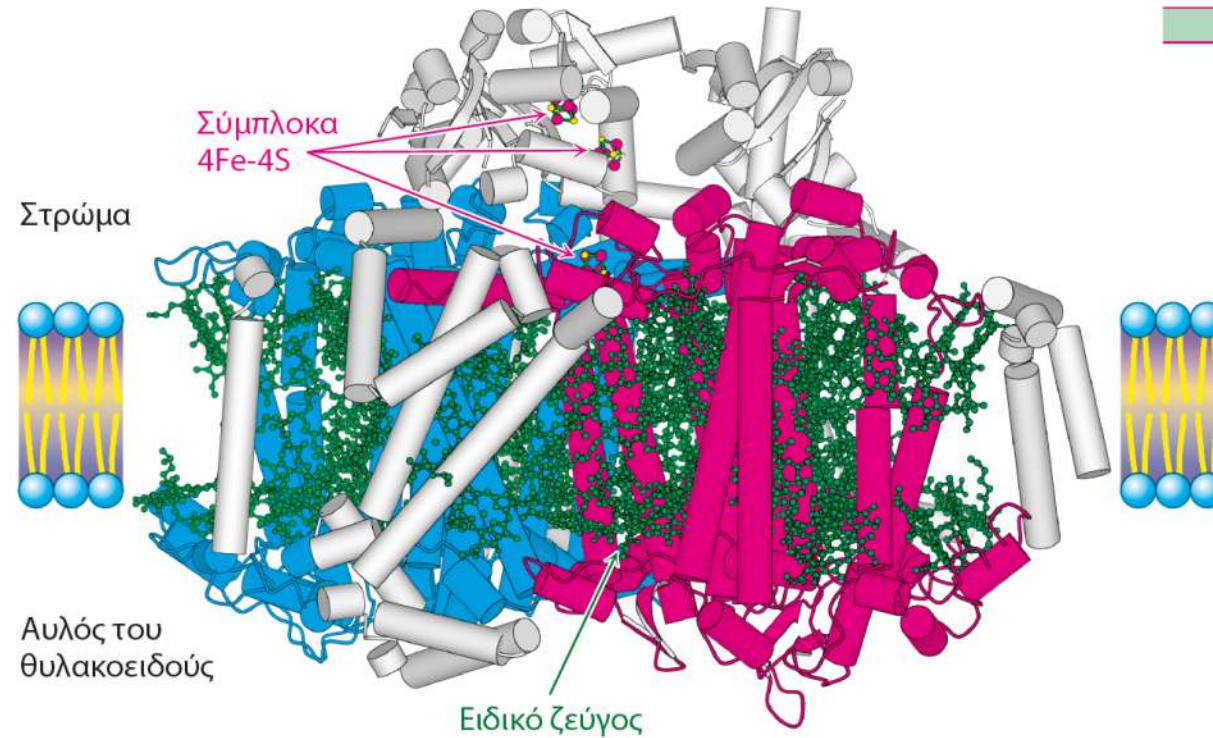
Το φωτοσύστημα I χρησιμοποιεί την ενέργεια του φωτός για να παράγει φερρεδοξίνη, ένα ισχυρό αναγωγικό μέσο

psaA και *psaB*: πυρήνας

Επιπλέον υπομονάδες

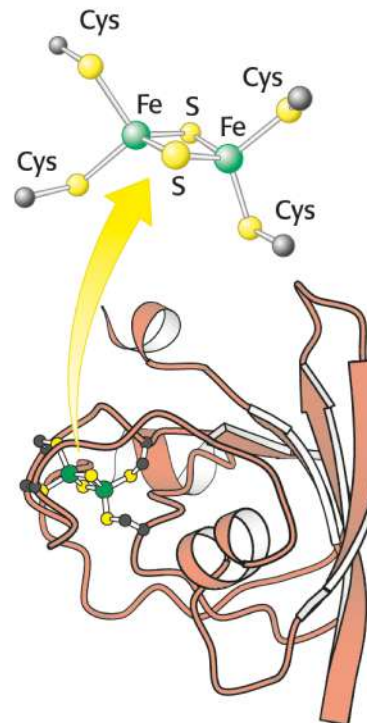
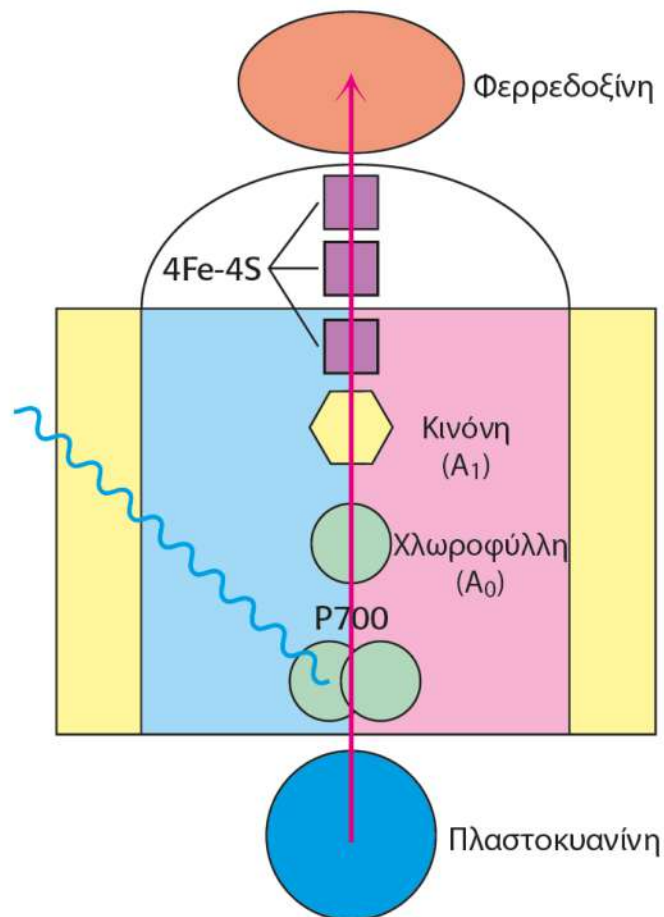
80 μόρια χλωροφύλλης

Άλλους οξειδοαναγωγικούς παράγοντες

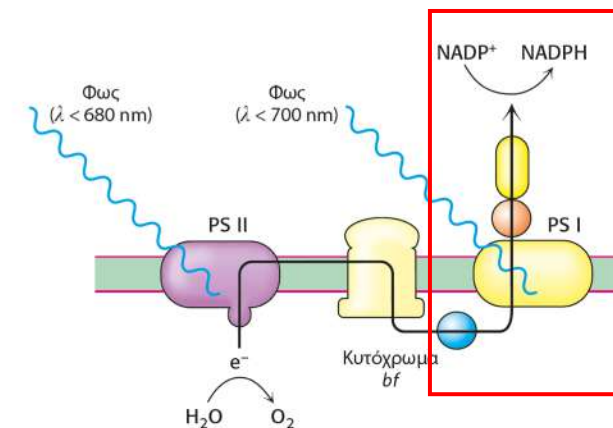


19.3

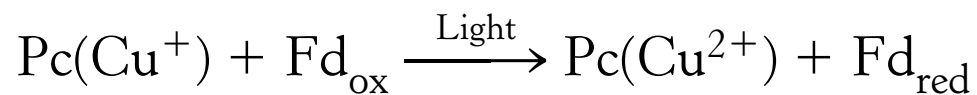
Το φωτοσύστημα I χρησιμοποιεί την ενέργεια του φωτός για να παράγει φερρεδοξίνη, ένα ισχυρό αναγωγικό μέσο



Δομή της φερρεδοξίνης (Fd)
2Fe-2S

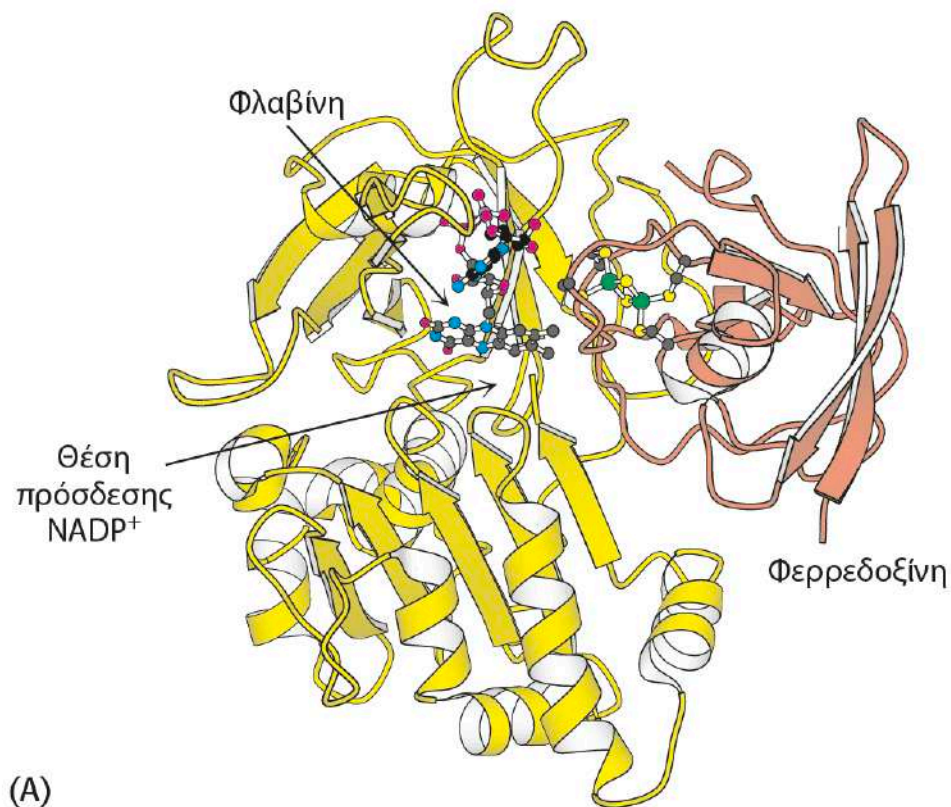


Μεταφέρει ηλεκτρόνια προς το NADP+

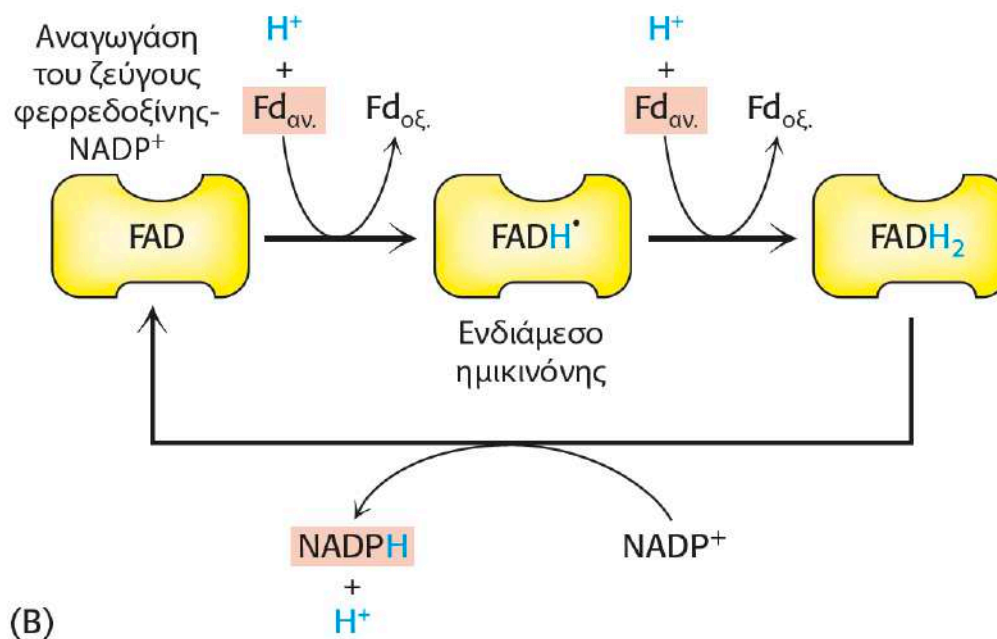


19.3 Στη φωτοσύνθεση που παράγει O₂, δύο φωτοσυστήματα παράγουν μια βαθμίδωση συγκεντρ. H⁺ και NADPH

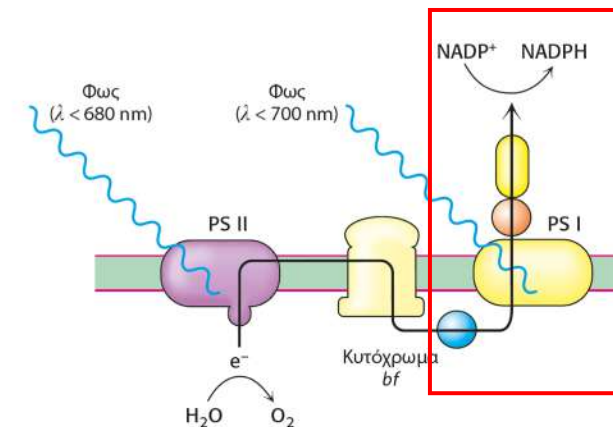
Η αναγωγή του ζεύγους φερρεδοξίνης-NADP⁺ μετατρέπει το NADP⁺ σε NADPH



(A)

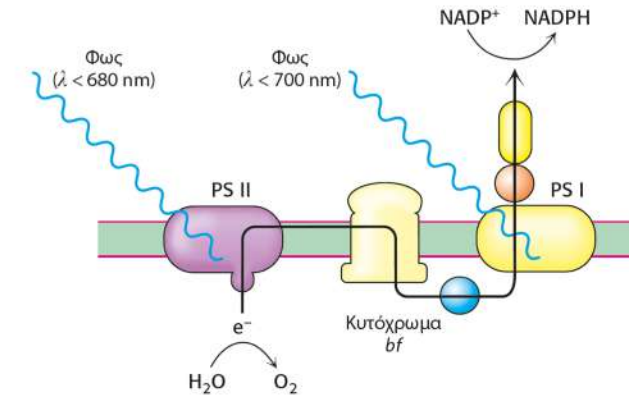
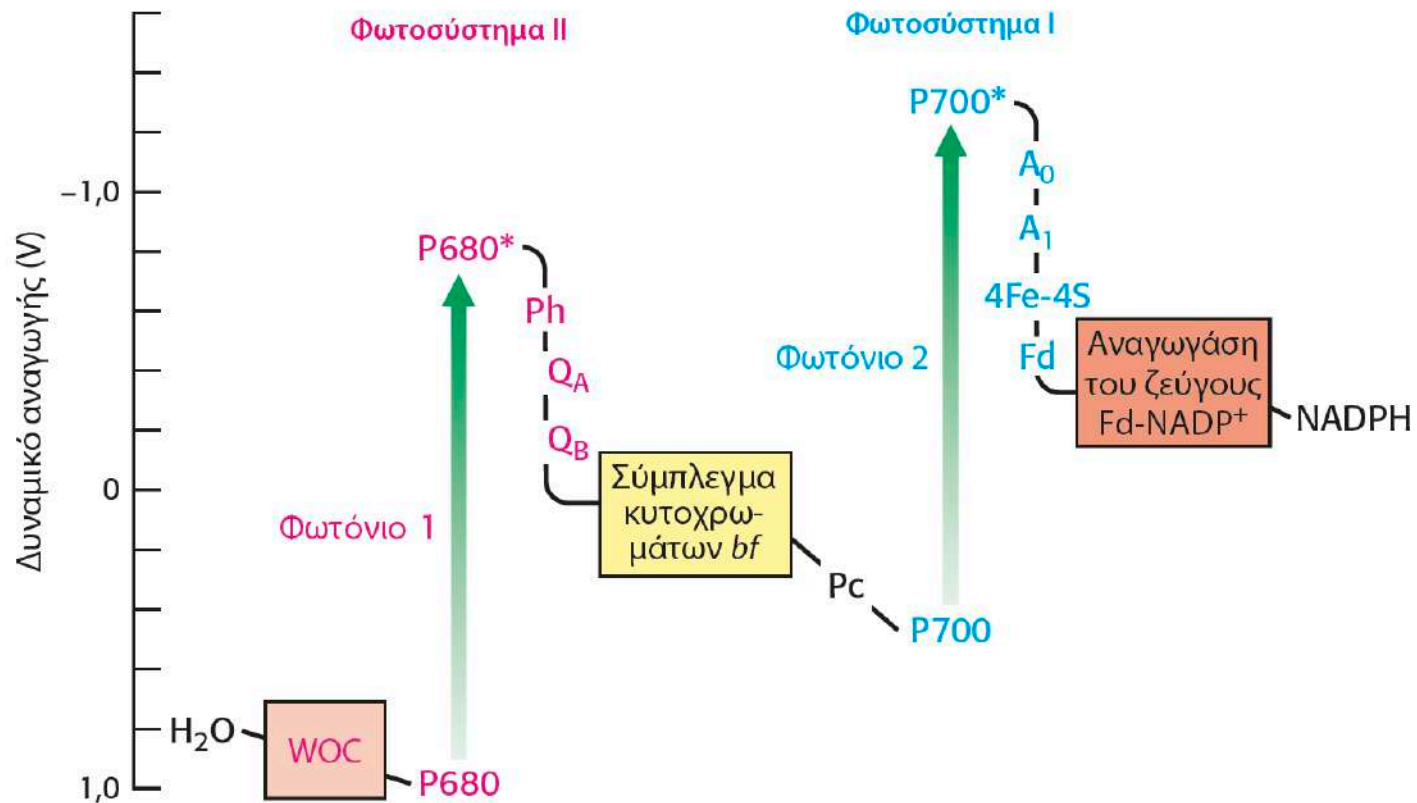


(B)



19.3 Στη φωτοσύνθεση που παράγει O₂, δύο φωτοσυστήματα παράγουν μια βαθμίδωση συγκεντρ. H⁺ και NADPH

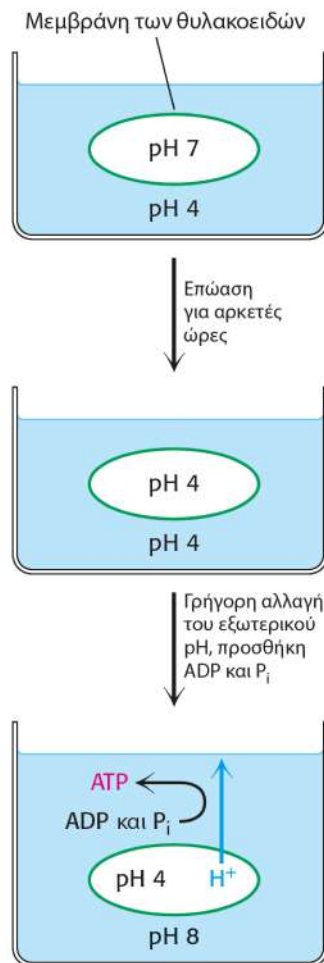
Η πορεία ροής των ηλεκτρονίων από το H₂O στο NADP⁺ στην φωτοσύνθεση



19.4 Η σύνθεση της ATP ωθείται από μια βαθμίδωση συγκέντρωσης H^+ μεταξύ των δύο πλευρών της μεμβράνης των θυλακοειδών

Η απόδειξη του Jagendorf

Πως θα μπορούσαν να συνθέσουν οι χλωροπλάστες ATP στο σκοτάδι;

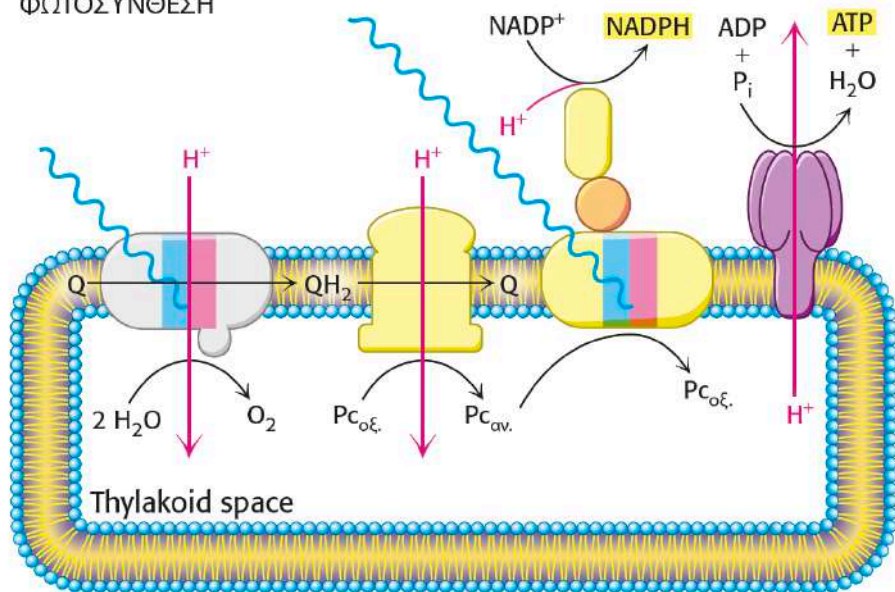


Ο σχηματισμός της ATP ωθείται από μια πρωτονιοκινητική δύναμη τόσο στην φωτοσφωρουλίωση τόσο και στην οξειδωτική φωσφορυλίωση

19.4 Η σύνθεση της ATP ωθείται από μια βαθμίδωση συγκέντρωσης H^+ μεταξύ των δύο πλευρών της μεμβράνης των θυλακοειδών

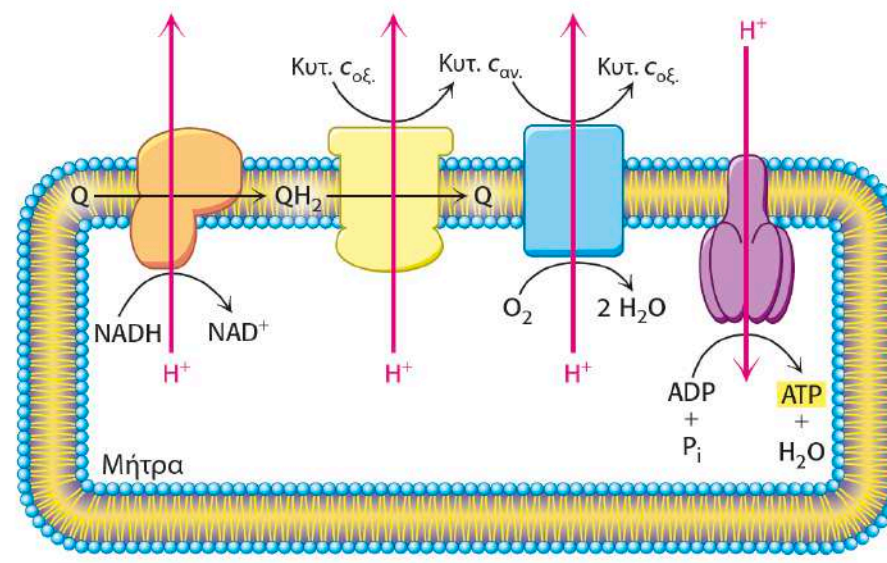
Η συνθάση της ATP των χλωροπλαστών μοιάζει πάρα πολύ με εκείνες των μιτοχονδρίων και των προκαρυωτικών οργανισμών

ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ



Στρώμα

ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΦΩΣΦΟΡΥΛΙΩΣΗ

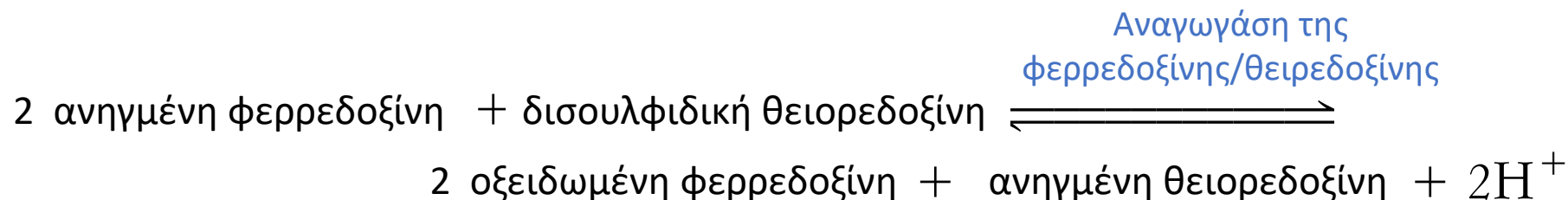


Διαμεμβρανικός χώρος

19.4 Η σύνθεση της ATP ωθείται από μια βαθμίδωση συγκέντρωσης H^+ μεταξύ των δύο πλευρών της μεμβράνης των θυλακοειδών

Η δραστηριότητα της συνθάσης της ATP των χλωροπλαστών ρυθμίζεται

- Για να υπάρξει μέγιστη δραστηριότητα, ένας ειδικός δισουλφιδικός δεσμός στην υπομονάδα γ πρέπει να αναχθεί σε δύο Cys
- Το αναγωγικό μέσσο είναι η ανηγμένη θειορεδοξίνη



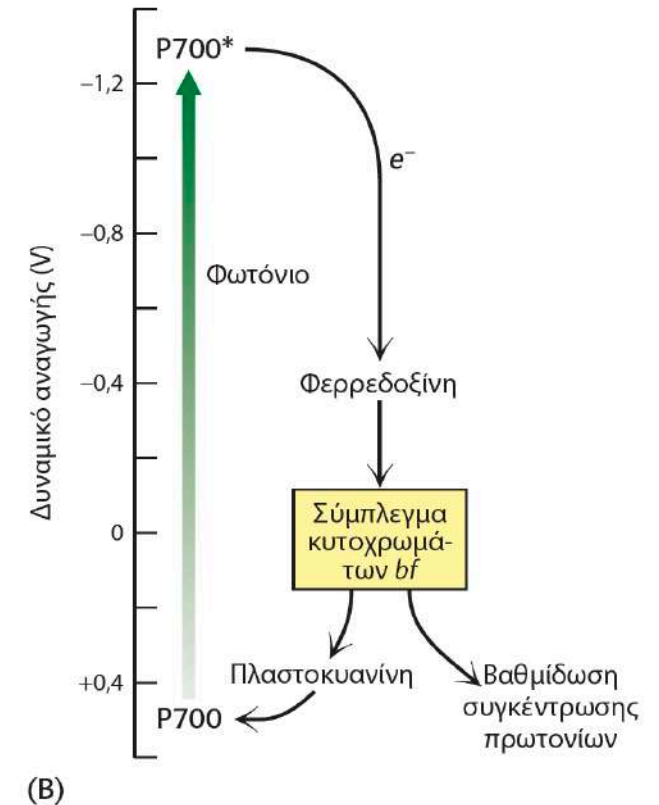
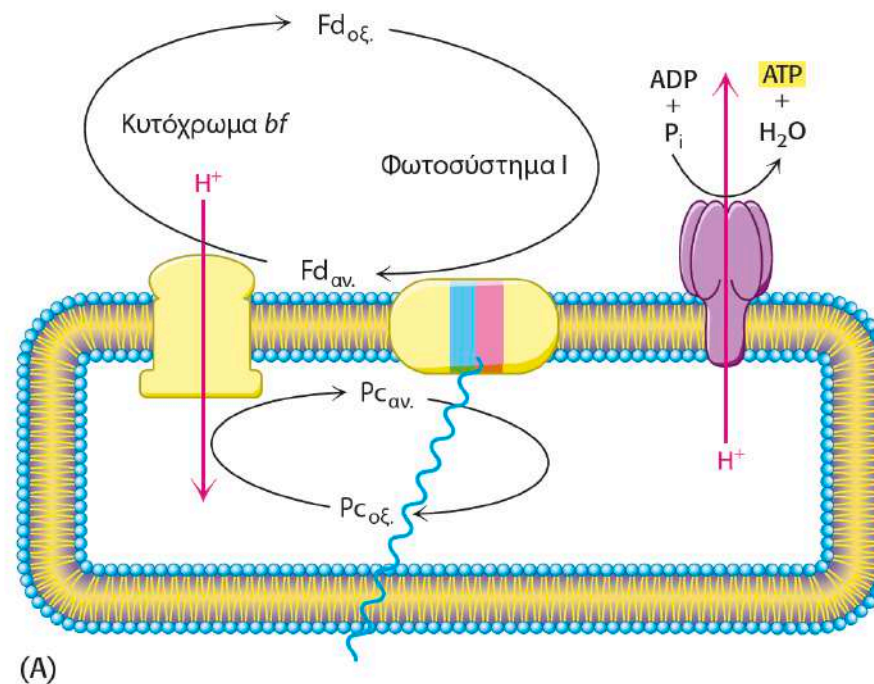
19.4 Η σύνθεση της ATP ωθείται από μια βαθμίδωση συγκέντρωσης H^+ μεταξύ των δύο πλευρών της μεμβράνης των θυλακοειδών

Η κυκλική ροή ηλεκτρονίων διαμέσου του φωτοσυστήματος I οδηγεί στην παραγωγή ATP αντί για NADPH

Δεν υπάρχει διαθέσιμο $NADP^+$

Υπάρχει πολύ NADPH

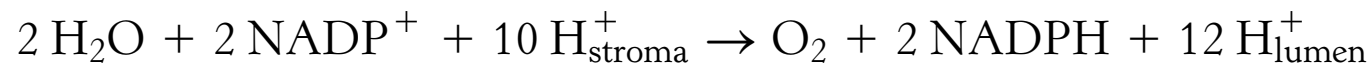
Κυκλική φυτοφωσφορυλίωση



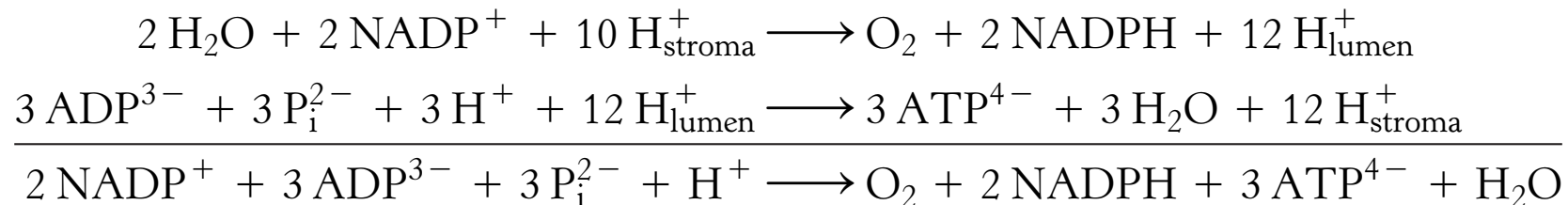
19.4 Η σύνθεση της ATP ωθείται από μια βαθμίδωση συγκέντρωσης H^+ μεταξύ των δύο πλευρών της μεμβράνης των θυλακοειδών

Η απορρόφηση οκτώ φωτονίων αποδίδει **ένα μόριο O_2 , δύο μόρια NADPH και τρία μόρια ATP**

Φωτεινές αντιδράσεις:

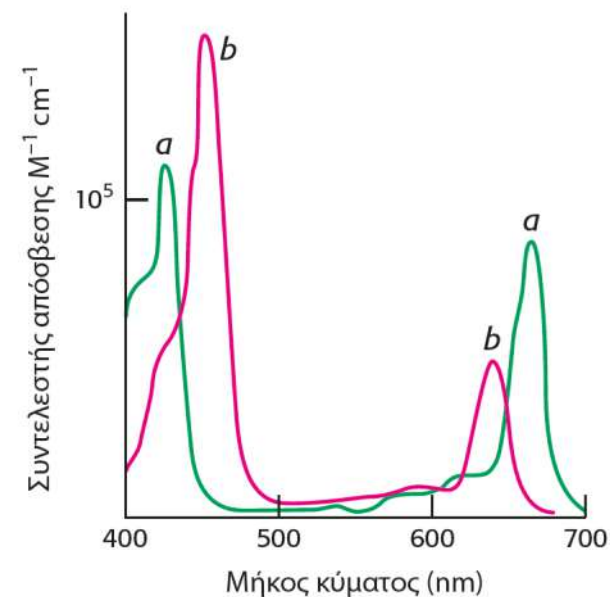
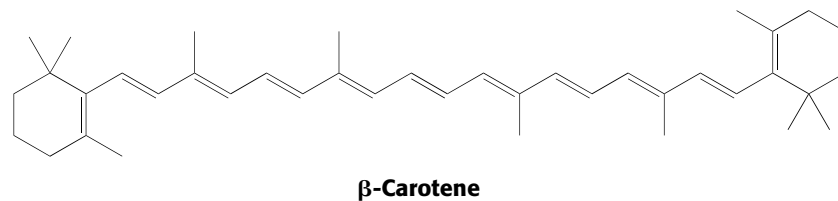
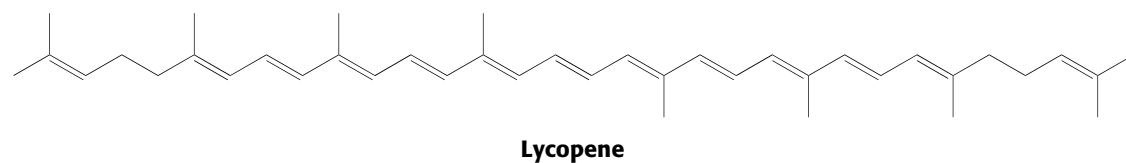
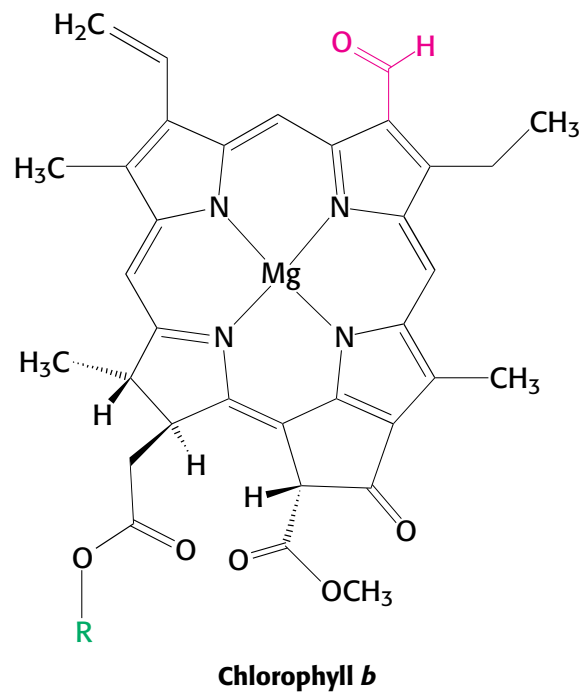


Συνολικά:



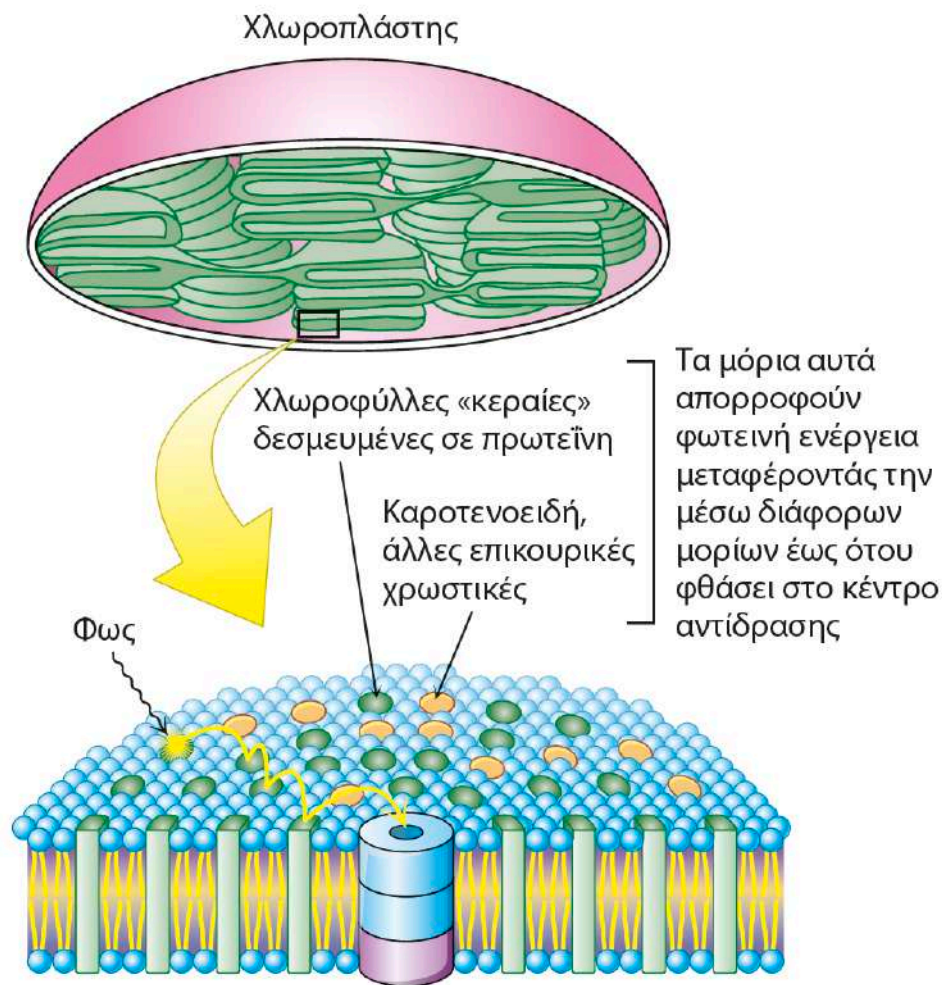
19.5 Επικουρικές χρωστικές διοχετεύουν ενέργεια στα κέντρα αντίδρασης

Η χλωροφύλλη b και τα καροτενοειδή



19.5

Μεταφορά ενέργειας από τις επικουρικές χρωστικές στα κέντρα αντίδρασης



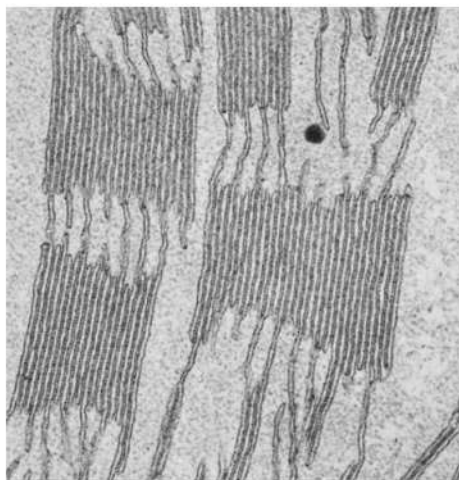
Κέντρο αντίδρασης
Εδώ η φωτοχημική αντίδραση μετατρέπει την ενέργεια ενός φωτονίου σε διαχωρισμό φορτίων, εκκινώντας ροή ηλεκτρονίων

19.5 Επικουρικές χρωστικές διοχετεύουν ενέργεια στα κέντρα αντίδρασης

Οι συνιστώσες της φωτοσύνθεσης είναι πολύ οργανωμένες

Οι στοιβαγμένες και μη στοιβαγμένες περιοχές

- Οι στοιβαγμένες (φωτοσύνστημα II) Γιατί;
- Μη στοιβαγμένες περιοχές(φωτοσύνστημα I και η συνθάση της ATP)



500 nm

